

ŠTÍTY NA RAŽBÁCH PRAŽSKÉHO METRA SHIELDS USED FOR DRIVING PRAGUE METRO TUNNELS

PETR HYBSKÝ

ABSTRAKT

V letošním roce uplyne pětapadesát let od prvního nasazení tunelovacího štítu na ražbách pražského metra, a je tudíž nabíledni ohlédnout se zpět a připomenout si štítové mechanismy, které se větší či menší měrou podílely na výstavbě traťových tunelů podzemních linek hlavního města České republiky. Každá z popsaných technologií vnesla do tras metra trvalý otisk odrážející tehdejší stav technologického poznání, společenské situace i politické orientace země. Závěr článku propojí vzpomínanou minulost s aktuální současností, neboť i na chystaném úseku metra trasy D je počítáno s nasazením metody mechanizovaného tunelování.

ABSTRACT

This year, fifty-five years will pass since a tunnelling shield was first used for driving the Prague metro tunnels, and it is therefore time to look back and remember the shield mechanisms that, to a greater or lesser extent, participated in the construction of the running tunnels of the underground lines of the capital of the Czech Republic. Each of the described technologies left a lasting mark on the metro routes, reflecting the current state of technological knowledge, the social situation and the political orientation of the country. The conclusion of the paper links the remembered past to the current present, since the planned section of the metro line D is also expected to use the mechanised tunneling method.



Obr. 1 Pražská podzemní dráha, stanice Vyšehrad
Fig. 1 Prague underground, Vyšehrad station

1. ÚVOD

„Praha bude mít metro,“ zvěstoval dne 10. srpna 1967 oblíbený večerník československé metropole a ústy kamelotů bylo dále v ulicích hlášáno zásadní rozhodnutí, které nejenže uzavřelo mnohaleté diskuze o způsobu řešení podzemní hromadné dopravy v Praze (obr. 1), ale zároveň na dalších několik desetiletí ovlivnilo obor zdejšího podzemního stavitelství, které se tehdy nacházelo v určitém mezidobí – stagnaci. Fakticky totiž skončilo dlouho trvající období klasických tunelářských metod, od ražby posledního tunelu již uplynula delší doba. Zkušenosti tunelářů odešli na odpočinek a mladí neměli kde sbírat zkušenosti.

Bylo nasnadě, že pro ražbu tunelů pražského metra bude potřeba nasadit nové, v prostředí místního podzemního stavitelství dosud

1. INTRODUCTION

“Prague will have a subway,” announced the popular evening newspaper of the Czechoslovak metropolis on August 10, 1967, and through the mouths of camelots, a fundamental decision was further announced in the streets, which not only terminated many years of discussions about how to solve underground mass transport in Prague (Fig. 1), but at the same time affected for the next several decades the field of local underground construction, which at that time was in a certain interim period of stagnation. In fact, the long-lasting period of classical tunneling methods had ended; a long time had already passed since the excavation of the last tunnel. Experienced tunnelers went to rest and young ones had nowhere to gather experience.

It was obvious that for the excavation of the Prague metro tunnels it would be necessary to apply new methods, previously unknown in the local underground construction environment. These were adopted from the Soviet Union in compliance with the political orientation of the country at the time. For tunnels excavated in rock and rock types with longer-term excavation stability, the ring method was chosen, and for excavating in the environment of soils, semi-rock and sections with low overburden, where it was necessary to reduce surface settlement as much as possible, the non-mechanised shielding method was chosen.

2. NON-MECHANISED SHIELD COMPLEX KM34

The first shield complex for the Prague metro with the designation KM34 was purchased in 1968. Its assembly also began



Obr. 2 Štítová část nemechanizovaného komplexu KM34 (1978)
Fig. 2 Shield part of the non-mechanised complex KM34 (1978)

nepoznané metody. Ty byly ve shodě s tehdejší politickou orientací země převzaty ze Sovětského svazu. Pro tunely ražené ve skalních horninách a v horninách s dlouhodobější stabilitou výrubu byla zvolena prstencová metoda a pro ražbu v prostředí zemin, polskalních hornin a úseků s nízkým nadložím, kde bylo třeba v co největší míře redukovat sedání povrchu, byla vybrána metoda nemechanizovaného štítování.

2. NEMECHANIZOVANÝ ŠTÍTOVÝ KOMPLEX KM34

První štítový komplex pro pražské metro s označením KM34 byl zakoupen v roce 1968, kdy rovněž započala i jeho montáž ve stavební komoře poblíž Štětkovy ulice. Komplex byl sestaven na počátku roku 1969, kdy započala ražba 454 m dlouhého tunelu trasy C ke stanici Pražského povstání. Úvodní zaškolení posádek probíhalo ve spolupráci se sovětskými pracovníky.



Obr. 5 Prorážka pod kostelem sv. Pankráce
Fig. 5 Breakthrough under St. Pankrac church



Obr. 3 Pracovníci na čelbě nemechanizovaného štítu
Fig. 3 Workers at excavation face of the non-mechanised shield



Obr. 4 Montáž tunelového ostění erektorem v nemechanizovaném štítu
Fig. 4 Assembly of tunnel lining by an erector in the non-mechanised shield

in a construction chamber near Štětková Street. The complex was assembled at the beginning of 1969, when the excavation of the 454m long tunnel of Line C in the direction of the Pražského Povstání station began.

The KM34 complex (Fig. 2), which according to eyewitnesses conceptually corresponded to the technologies of 1910, was composed of three basic parts. The front part was made up of a non-mechanised ŠČN-1S shield, behind it was attached a TU 3 Gp tunnel lining erector and a TN 16 Gp grouting gantry. The method of tunnel construction using the KM34 complex was labeled as “shielding, cyclic-flow” in contemporary literature. The workers used hand-held tools and pneumatic hammers to break the rock on the face. The stability of incoherent ground was ensured by hydraulic sheeting cylinders using timber sheeting elements (Fig. 3). The broken rock was loaded in the lower part of the shield with a front-end wheel loader onto cars running on a rail track with a gauge of 600mm. After completing the excavation progress to the distance of one or two excavation rounds and moving the shield forward, the tunnel lining rings were assembled using the TU 3 Gp erector (Fig. 4). Its fixation into the rock environment was subsequently ensured by back grouting. Grout was pumped behind the lining by a device located on the TN 16 Gp platform. The ring lining was circular, with an outer diameter of 5.5m and an inner diameter of 5.1m. The segments on the first mined tunnels of the Prague metro were made of cast iron.

Komplex KM34 (obr. 2), který ústy pamětníků koncepčně odpovídal technologiím roku 1910, byl složen ze tří základních částí. Přední část tvořil nemechanizovaný štít ŠČN-1S, v závěsu za ním byl připojen ukladač tunelového ostění (erektor) TU 3 Gp a injektážní plošina TN 16 Gp. Metoda výstavby tunelu komplexem KM34 byla v dobové literatuře označena jako „štítová, cyklicko-proudová“. Rozpojování horniny na čelbě prováděli dělníci havířskými ručními nástroji a pneumatickými klady. Stabilita nesoudržných hornin byla zajišťována pažicemi hydraulickými válci za použití dřevěných pažicích prvků (obr. 3). Rozpojená hornina se ve spodní části štítu nakládala čelním kolovým nakladačem do vozů kolejové drážky rozchodu 600 mm. Po vyražení záběru na délku jednoho nebo dvou postupů a dopředném posunu štítu byly pomocí ukladače TU 3 Gp montovány prstence tunelového ostění (obr. 4). Jeho fixaci do horninového prostředí následně zajišťovala výplňová injektáž, která se za ostění čerpala ze zařízení umístěného na plošině TN 16 Gp. Prstencové ostění bylo kruhové, vnějšího průměru 5,5 m a vnitřního 5,1 m. Segmenty na prvních ražených tunelech pražského metra byly litinové.

Tab. 1 Základní technické parametry nemechanizovaného komplexu KM34

KM34 – základní technické parametry	
Hmotnost	145 t
Délka	21 m
Průměr výrubu	5,5 m
Celková přitlačná síla	1 862 t
Pažicí hydroválce	20 ks
Posun ukladače	kráčivý, hydromechanický s maximálním krokem 1,47 m



3D grafika stroje KM34 (viz tab. 1)

3D graphics of KM34 machine (See Table 1)

Průměrný měsíční postup na ražbách prvního tunelu činil 54,5 m. Po dokončení tunelu byl štít přestěhován zpět do stavební komory, ze které byla ražena druhá tunelová trouba. Přesun štítu byl uvažován ještě před prorážkou, kdy v úvalu přicházela úplná nebo částečná demontáž a nová montáž. Technici firmy Metrostav však přišli s řešením přesunu štítu bez demontáže. Ojedinelé řešení, které ve výsledku přineslo výrazné časové a finanční úspory, připravovali do nejmenších detailů a kupříkladu Ing. Ermín Stehlík si tehdy zhotovil papírový model ve zmenšeném měřítku a doma si na něm zkoušel různé scénáře přesunu. Na druhém tunelu bylo dosaženo průměrně-

Table 1 Basic technical parameters of the non-mechanised KM34 complex

KM34 – Basic technical parameters	
Weight	145t
Length	21m
Excavated diameter	5,5m
Total thrust	1 862t
Bracing hydraulic cylinders	20 pcs
Erector shifting	walking, hydromechanical with maximum steps of 1.47m

The average monthly excavation advance rate of the first tunnel was 54.5m. After the completion of the tunnel, the shield was moved back to the construction chamber, from which the second tunnel tube was driven. Moving the shield was considered even before the breakthrough, when complete or partial disassembly and reassembly were considered. Metrostav technicians, however, came up with a solution to move the shield without disassembly. The unique solution, which resulted in significant time and financial savings, was prepared down to the smallest detail and, for example, Ing. At that time, Ing. Ermín Stehlík made a paper model on a reduced scale and tried different transport scenarios on it at home. On the second tunnel, an average monthly advance of 67.6m was achieved. The breakthroughs of both tunnels took place in close proximity to a Gothic monument – the St. St. Pankrac church (Fig. 5), which was not significantly affected by the excavation.

Another part of the first stage of Line C, which was driven by a non-mechanised shield, was the interstation section Pankrác (then Mládežnická) – Budějovická, where the shield was moved again without dismantling. Here, the miners faced the demanding technical task of driving the tunnel just 120cm below the foundations of a five-story building in Pacovská street. To reduce subsidence, the heading was braed with wooden lagging, and the workers thus tried the procedures already applied by the famous Marc Isambard Brunel in London when driving the tunnel under the Thames. The building being passed under was continuously monitored for seven days by a device that was developed specifically for the Prague metro. The subsidence averaged 7mm in total, and apart from hairline cracks on the basement walls, there were no other signs of failure. The shield successfully arrived at the Budějovická station and once again it was possible to shift the maximum values of the monthly advance rates to 79m (on the right-hand tunnel), or 80m (on the left-hand tunnel).

For the construction of both running tunnels between the Hlavní nádraží and Florenc (then Sokolovská) stations, a second tunnelling sheet was purchased in the USSR. The right-hand tunnel to the Hlavní nádraží station was driven on a down gradient through made-ground and gravel sands of the Maniny terrace with significant inflows of groundwater, the level of which, when not reduced, extended 3.5 to 4m into the tunnel cross-section. In order to lower the water table, 42 wells were excavated in the railway yard of the Masaryk station, which continuously pumped the groundwater and lowered its table by 2m. Despite this measure, the inflow rate at the tunnel face was 7 to 9 litres per second. During the construction of this section, for the first time, the shield was not moved for the excavation of the adjacent tunnel tube, but was rotated in the roofed chamber of the Florenc station.

The era of non-mechanised shields continued from the first stage of Line C to the second one, then to Lines A and B. It lasted until the early nineties of the twentieth century (graph 1). During that time, over 18km of running tunnels were driven with non-mechanised

ho měsíčního postupu 67,6 m. Prorážky obou tunelů proběhly v těsném sousedství gotické památky – kostela sv. Pankráce (obr. 5), která ražbou nebyla výrazně ovlivněna.

Další částí první etapy trasy C, která byla ražena nemechanizovaným štítem, byl mezistaniční úsek Pankrác (tehdy Mládežnická) – Budějovická, kam byl štít přesunut opět bez demontáže. Raziče zde čekal náročný technický úkol podejít pouhých 120 cm pod základy pětipodlažní budovy v Pacovské ulici. Pro redukci poklesů byla čelba pažena dřevěnými pažinami a pracovníci si tak vyzkoušeli postupy, které aplikoval již slavný Marc Isambard Brunnel v Londýně při ražbě tunelu pod Temží. Podcházený dům byl nepřetržitě monitorován po dobu sedmi dní přístrojem, který byl vyvinut speciálně pro pražské metro. Poklesy činily v celku průměrně 7 mm a kromě vlasových trhlinek na suterénních zdech se neprojevily žádné jiné znaky porušení. Štít úspěšně dorazil do stanice Budějovická a opětovně se podařilo posunout maximální hodnoty měsíčních postupů na 79 m (na pravém tunelu), resp. 80 m (na tunelu levém).

Pro výstavbu obou traťových tunelů mezi stanicemi Hlavní nádraží a Florenc (tehdy Sokolovská) byl v SSSR zakoupen druhý razičí štít. Pravý tunel do stanice Hlavní nádraží byl ražen úpadně v navážkách a ve štěrkopiscích maninské terasy se značnými přítoky podzemní vody, jejíž hladina za nesníženého stavu zasahovala 3,5 až 4 m do průřezu tunelu. Aby se hladina podzemní vody snížila, bylo v kolejisti Masarykova nádraží vyhloubeno 42 studní, které nepřetržitě podzemní vodu čerpaly a snižovaly její hladinu o 2 m. Přes toto opatření činil přítok na čelbě tunelu 7 až 9 litrů za vteřinu. Při výstavbě tohoto úseku poprvé nebylo užito přesunu štítu pro ražbu sousední tunelové trouby, ale bylo provedeno otočení štítu v zastropené komoře stanice Florenc.

Éra nemechanizovaných štítů pokračovala z první etapy trasy C na druhou etapu, posléze na trasu A i B. Trvala až do raných devadesátých let dvacátého století (graf 1). Za tu dobu bylo nemechanizovanými štíty vyraženo přes 18 km traťových tunelů a jejich působení bylo opravdu pestré. Připomeňme následující aspekty:

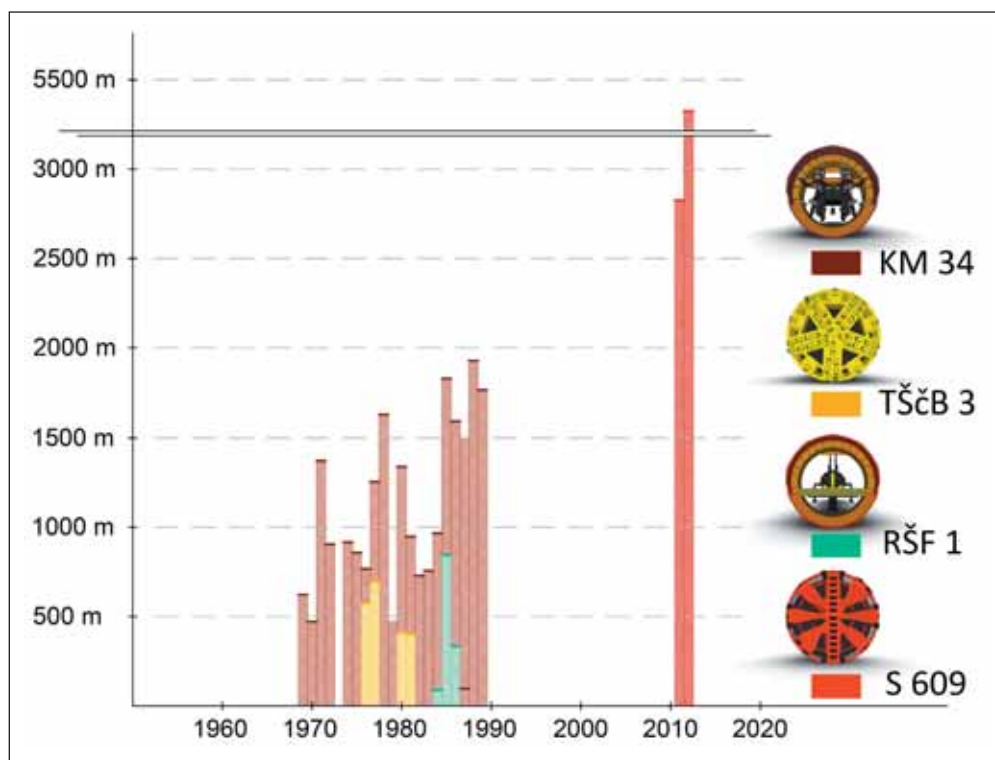
- montáže a demontáže štítů byly prováděny jak v hloubených jámách, tak v ražených montážních komorách v podzemí;
- pro stěhování štítů k ražbám následných úseků byl úspěšně aplikován postup stěhování štítu bez jeho demontáže, v některých částech byla provedena obrátka ve tvaru písmene U (tzv. U-turn); autentické záběry jednoho z přesunů bez rozebrání štítu byly použity ve filmu „Lidé z metra“;
- podařilo se těsně (s distancí jen několika desítek decimetrů) podejít nejrůznější objekty – obytné domy, průmyslové objekty, dálnici D1 bez vyloučení provozu;
- při ražbách v ulici Sinkulova byl během výstavby dočasně vystěhován podcházený obytný dům a provozovna;
- štíty byly používány nejen v zeminách, své uplatnění našly i v pevných skalních horninách za současného používání trhacích

shields, and their work was truly diverse. Let us recall the following aspects:

- assembly and disassembly of the shield were carried out both in dug pits and in assembly chambers excavated underground;
- for moving the shields to excavate the subsequent sections, the procedure of moving them without dismantling was successfully applied, in some parts a turn in the shape of the letter U (so-called U-turn) was carried out; authentic film footage of one of the moves without disassembling the shield was used in the film "Lidé z metra";
- various objects were successfully passed under at a distance of only a few tens of decimetres – residential buildings, industrial buildings, the D1 highway without blocking traffic);
- during the excavations in Sinkulova Street, a residential building and a workshop building were temporarily emptied during construction;
- shields were used not only in soil, they also found their application in solid rock during the simultaneous use of blasting, which, according to contemporary evaluations, did not cause significant damage to the structure of the shield;
- different types of lining were used to support the tunnel excavation – initially cast iron ring lining used due to the low overburden, high density development on the surface and small directional radii during shielding; in later years, there was a significant shift to reinforced concrete segments, initially imported from Hungary, later produced in Prefa Lužec;
- the highest monthly performance in driving tunnels with non-mechanised shields was achieved in 1989, 117m in August and even 142m in November.

3. TŠČB-3 MECHANISED SHIELD

An important and still unique technology was applied (not only) during the passage under the Vltva river bed on the first section of line A. It involved the construction of tunnels with a compressed concrete lining – also referred to as a final compressed concrete



Graf č. 1 Přehled výkonů ražeb štíty v jednotlivých rocích

Graph No. 1 Overview of performance of shields driving tunnels in individual years

prací, ty podle dobového vyhodnocení nezpůsobovaly výraznější škody na konstrukci štítu;

- pro vyztužení tunelů byly používány různé druhy ostění – zprvu litinové prstencové ostění zabudovávané z důvodu nízkého nadoží, husté zástavby na povrchu a malých směrových poloměrů při štítování; v pozdějších letech se výrazněji přecházelo na dílce železobetonové, zpočátku dovážené z Maďarska, později vyráběné v Prefě Lužec;
- nejvyšších měsíčních výkonů při ražbách nemechanizovanými štíty bylo dosaženo v roce 1989, v srpnu 117 m a v listopadu dokonce 142 m.

3. MECHANIZOVANÝ ŠTÍT TŠČB-3

Významná a dodnes unikátní technologie byla uplatněna (nejen) při podchodu koryta řeky Vltavy na prvním úseku trasy A. Jednalo se o stavbu tunelů s lisovaným ostěním – též označovaným jako definitivní ostění z presbetonu. Československo se podle dostupných informací tehdy stalo druhou zemí na světě, kde byla tato technologie při ražbách metra užitá.

Princip lisovaného betonu pro ostění tunelů byl patentován již počátkem 20. století hned v několika zemích – Německu (1910), Francii (1911) či Rusku (1912). Jedním z prvních tunelů postavených tímto způsobem byl ražený kolektorový tunel pod řekou Oise ve Francii o průměru 2,63 m s tloušťkou ostění 23 cm. Betonová směs se za bednění ukládala ručně.

Německá firma Halinger postavila tímto způsobem na začátku 20. století několik tunelů malých rozměrů. Pro větší dopravní tunely se však metoda nerozšířila, neboť nebylo v tehdejších technických možnostech ji mechanizovat. To se podařilo až ve druhé polovině šedesátých let v zemích Sovětského svazu díky zařízení s přestavným bedněním. V letech 1972–1973 bylo tunelovacím strojem konstruovaným analogicky podle schématu TŠČB-3 proraženo 825 m hydrotechnického tunelu stavby Velkého stavropolského kanálu.

V září roku 1973 se uskutečnila montáž prototypu razicího komplexu TŠČB-3 na odváděcím tunelu algetské nádrže v Gruzii. Pro získání zkušeností se montáži zúčastnila skupina pracovníků Metrostavu, neboť dva identické stroje byly zakoupeny pro pražské metro, kam byly o rok později dodány.

Velkou technickou výzvou představovala samotná montáž obou komplexů, neboť ty dorazily v podobě neoznačených dílů doplněných velmi skromnou dokumentací. Zaskvěl se tehdy Ing. Hřebíček, který se velmi zasloužil o to, že se štíty podařilo dát dohromady. Kompletace probíhala v montážní komoře poblíž Mánesova mostu, odkud oba stroje razily směrem ke stanici Staroměstská.

lining. According to available information, Czechoslovakia then became the second country in the world where this technology was used in the excavation of subway.

The principle of compressed concrete for tunnel linings was already patented at the beginning of the 20th century in several countries – Germany (1910), France (1911) and Russia (1912). One of the first tunnels built in this way was the 2.63m diameter tunnel under the Oise river in France, with 23cm-thick lining. The concrete mixture was placed behind the formwork manually.

The German company Halinger built several small tunnels in this way at the beginning of the 20th century. However, the method did not spread for larger transport tunnels, as it was not possible to mechanise it at the time. This was only achieved in the second half of the 1960s in the countries of the Soviet Union thanks to equipment with adjustable formwork. In the years 1972–1973, 825m of the hydrotechnical tunnel of the Great Stavropol canal was carried out with a tunneling machine constructed analogously according to the TŠČB-3 scheme.

In September 1973, a prototype of the tunnelling complex TŠČB-3 was assembled on the discharge tunnel of the Alget reservoir in Georgia. To gain experience, a group of Metrostav workers participated in the installation, as two identical machines were purchased for the Prague metro, where they were delivered a year later.

The actual assembly of both complexes represented a major technical challenge, as they were supplied in the form of unmarked parts accompanied by very modest documents. At that time, Ing. Hřebíček distinguished himself by bringing the shields together. Completion took place in the assembly chamber near the Mánes bridge, from where both machines drove the tunnels in the direction of the Staroměstská station.

Much attention was paid to the first passage under the Vltava river. Geological survey revealed six fault zones. These were treated by grouting before the excavation by the mechanised shields. Two grouting methods were applied – from a ship by fans of grouting boreholes and from geological tunnels built in advance in the profile of the right-hand tunnel. They were grouted chemically with urea-formaldehyde resin hardened with phosphoric acid (which creates an artificial resin – aminoplast).

The TŠČB-3 mechanised shield (as the terminology of the time referred to it) already had the features of contemporary tunneling machines (Fig. 6). The cutting head fitted with disc cutters (Fig. 7) disintegrated the rock on the face. The rock was then loaded by scoping buckets onto a belt conveyor, which carried it to the loading point at the end of the mechanism. Behind the shield there were two rings – a gripper ring (anchoring the machine) and a pressing ring



Obr. 6 Strojník na mechanizovaném štítu TŠČB-3
Fig. 6 Machine operator of mechanised shield TŠČB-3



Obr. 7 Řezná hlava mechanizovaného štítu TŠČB-3
Fig. 7 Cutting head of the mechanised shield TŠČB-3

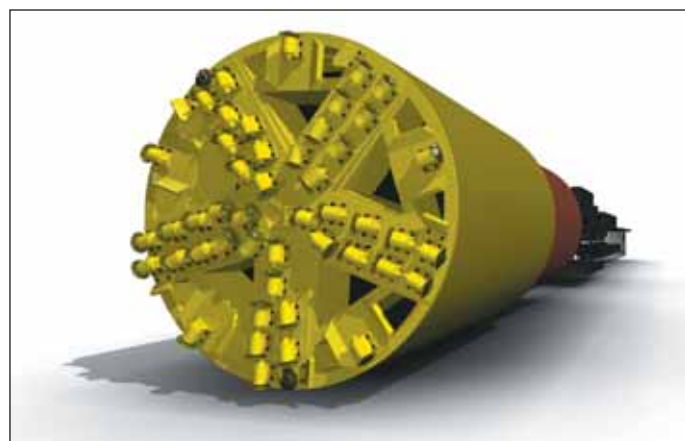
Prvnímu podchodu Vltavy byla věnována velká pozornost. Geologickým průzkumem bylo zjištěno šest poruchových zón. Tyto byly před ražbami mechanizovaných štítů injektovány, a to dvojnásobným způsobem – z lodí vějířů injekčních vrtů a z v předstihu vybudované geologické „průzkumné“ stoly umístěné v profilu pravého tunelu. Injektovány byly chemicky močovinoformaldehydovou pryskyřicí vytvrzovanou kyselinou fosforečnou (čímž vzniká umělá pryskyřice – aminoplast).

Mechanizovaný štít (jak jej označovala dobová terminologie) TŠČB-3 měl již znaky současných tunelovacích strojů (obr. 6). Řezná hlava (obr. 7) osazená valivými dláty rozpojovala horninu na čelbě. Hornina byla dále naběracími lopatami zaváděna na pásový dopravník, který ji vynášel na nakládací místo na konci mechanismu. Za štítem byly dva prstence – rozpěrný (rozepření stroje) a lisovací (pro lisování betonu). Za oběma prstenci se nacházela bednicí sekce pro lisovaný beton (obr. 8). Každým cyklem vznikl prstenec ostění z lisovaného monolitického betonu o tloušťce 300 mm, délce 600 mm, vnitřním průměru 5100 mm a vnějším průměru 5700 mm. Stroj měl dále závěs (tehdy nazývaný záštitový komplex) s technologiemi. Osádka stroje čítala 12 pracovníků s tím, že složení pracovní čety bylo následující:

- 1 strojník štítu;
- 1 strojník záštitového komplexu;
- 1 strojník na přestavbě bednicích sekcí;
- 5 razičů pro výrobu lisovaného betonu a pro naložení a odvoz rubaniny;
- 1 provozní elektrikář systému pohonů a synchronizace;
- 1 provozní elektrikář pro silnoproudé rozvody;
- 1 provozní údržbář – hydraulik;
- 1 provozní údržbář – strojař.

Tab. 2 Základní technické parametry mechanizovaného komplexu TŠČB-3

TŠČB-3 – základní technické parametry	
Hmotnost	640 t
Délka	76,8 m
Průměr výrubu	5,7–5,8 m
Počet bednicích sekcí	10 × 0,6 m
Počet řezných disků	50 + 5 kopírovacích (obvodové)
Nominální kroučící moment	3 089 kNm
Otáčky řezné hlavy	0,5–3 ot/min
Přítlak řezné hlavy	600 t
Max. tlak při lisování betonu	147,1 N



3D grafika stroje TŠČB-3 (viz tab. 2)

3D graphics of TŠČB-3 machine (See Table 2)

(for compressing concrete). Behind both rings there was a formwork section for compressed concrete (Fig. 8). Each cycle created a ring of monolithic compressed concrete lining with a thickness of 300mm, a length of 600mm, an inner diameter of 5100mm and an outer diameter of 5700mm. In addition, the machine had a back-up (then called a back-up complex) with technologies. The machine crew consisted of 12 workers, with the composition of the gang as follows:

- 1 shield operator;
- 1 back-up complex operator;
- 1 operator for rebuilding of formwork sections;
- 5 miners for production of compressed concrete and for the loading and removal of muck;
- 1 operational electrician of the drives and synchronisation system;
- 1 operational electrician for heavy-current distributions;
- 1 operational maintenance worker – hydraulics;
- 1 operational maintenance worker – machine attendant.

Table 2 Basic technical parameters of the mechanised complex TŠČB-3

TŠČB-3 – basic technical parameters	
Weight	640t
Length	76.8m
Excavated diameter	5.7–5.8m
Number of formwork sections	10 × 0.6m
Number of disc cutters	50 + 5 copying (circumferential)
Nominal torque	3089kNm
Cutter head rotation speed	0.5–3 rev/min
Cutter head thrust	600t
Max. pressure at compressing concrete	147.1N

The first shield that passed under the bottom of the Vltava broke through to Staroměstská station. It was pulled through it and continued to the Můstek station, where it was dismantled. The second machine on the left-hand tunnel tube was supposed to proceed according to the same scenario, but due to time reasons, with regard to the construction preparedness of the running tunnels for the laying of trackwork, it was already dismantled at the Staroměstská station. During the first deployment of mechanised shields, the interested builders gradually introduced new procedures, work organisation or structural changes of the shield complexes themselves. Thus, regular repair shifts were introduced for the repair and maintenance of shields. They fell on Saturdays. For the concrete, which was initially lowered into the underground through a shaft in carts, boreholes were gradually carried out on the route of the tunnel behind the shield. To ensure the quality of the concrete, dosed individual components were brought from the batching plant, and water was added only on the construction site just before the mixture was lowered underground. Peripheral discs were put out of operation on the cutting head, as their operation was not necessary even in the smallest directional arcs with values of 350–400m.

All the experience and modifications of the shield were used during the second re-deployment of the complex, namely on the left-hand tunnel of the IB route in the section between the Můstek – Florenc stations, with pushing it through the Náměstí Republiky station. That was 1980. Particular attention was paid to continuous operation, precise daily maintenance and planned preventative repairs in order to avoid unplanned downtime. The miners managed to achieve the highest monthly advance of 90.5m in the section. Perhaps as if it wanted to live up to the slogan that it should end

První štít, který podešel dno Vltavy, se prorazil do stanice Staroměstská. Tou byl protažen arazil dále ke stanici Můstek, kde byl demontován. Druhý stroj na levé tunelové troubě měl postupovat podle stejného scénáře, ale z časových důvodů s ohledem na stavební připravenost traťových tunelů pro pokládku kolejových svršků byl demontován již ve stanici Staroměstská. Během prvního nasazení mechanizovaných štítů zainteresovaní stavitelé postupně přinášeli nové postupy, organizaci práce či konstrukční změny samotných štítových komplexů. Byly tak zavedeny pravidelné opravárenské směny na opravy a údržby štítů, jež připadaly na sobotu. Pro beton, který byl zprvu spouštěn do podzemí šachtou ve vozících, byly postupně prováděny vrty na trase tunelu za štítem. Pro zajištění kvality betonu byly z betonárky přiváženy nadávkované jednotlivé složky, voda se doplňovala až na stavbě těsně před spouštěním směsi do podzemí. Na řezné hlavě byly vyraženy obvodové disky, neboť jejich činnost nebyla nutná ani v nejmenších směrových obloucích o hodnotách 350–400 m.

Veškeré zkušenosti a úpravy štítu byly využity při druhém, opětovném nasazení komplexu, a to na levém tunelu trasy IB v úseku mezi stanicemi Můstek – Florenc, s průtahem přes stanici Náměstí Republiky. To se psal rok 1980. Dbalo se zejména na nepřetržitý provoz, precizní denní údržbu a plánované preventivní opravy proto, aby nedocházelo k neplánovaným prostojům. Na úseku se podařilo dosáhnout nejvyššího měsíčního postupu o hodnotě 90,5 m.

Snad jako by se chtělo dostat heslu, že končit se má v nejlepším, byla i tato ražba pověstnou labutí písní mechanizovaných štítů TŠČB-3 na pražském metru. Tunely z lisovaného betonu jsou dodnes v provozu v rámci tras A a B; a vizuálně prokazují uspokojivou kvalitu bez výrazných trhlin, průsaků či jiných defektů v konstrukci ostění, které z podstaty provádění není žádným způsobem vyztuženo ani izolováno proti průsakům podzemní vody.

4. RAZICÍ ŠTÍT S FRÉZOU RŠF-1

Vynalézavost je vlastnost Čechům vlastní, což v podobě nejrůznějších technických zařízení prokázali nespočetkrát. Není proto překvapením, že již od prvních ražeb nemechanizovanými štíty, které byly pro zúčastněný dělnický personál opravdovou dřinou, se inženýři zabývali myšlenkami, jak dělníkům jejich práci co nejvíce usnadnit. Jak v co největší míře omezit lidskou práci a nahradit ji prací strojní.

Spolupráce 30 podniků a organizací vedená společností Metrostav začala přinášet kontury, které se postupně začaly zhmotňovat v montážních dílnách Metrostavu ve výsledný produkt – první tunelovací štít metra zkonstruovaný v Československu.

Po svém odzkoušení byl štít v březnu roku 1985 z dílen po částech přesunut k sestavení do montážní komory o průměru 7,8 m a délce 10 m, s navazujícím traťovým tunelem. Jeho nasazení bylo naplánováno na levý traťový tunel trasy B ze stanice Florenc do stanice Křižíkova. Spouštění dílů bylo prováděno v šachtě na spojnici tras B–C a touto spojkou byly díly do montážní komory dopravovány. Dne 15. 6. 1985 byla základní montáž dokončena a byly zahájeny komplexní funkční zkoušky. O necelý měsíc později byla zahájena samotná ražba, během níž byl dopředu postupující štít doplňován o závěs, na kterém byla kupříkladu traťplošina či montážní plošina lutnového tahu. Prvních 6 m tunelu bylo vyztuženo litinovými segmenty, další část již podle projektu ostěním železobetonovým.

V říjnu 1985 pokračovala ražba v režimu komplexních funkčních zkoušek pod zatížením se současným závěsem osádek. Je zaznamenáno, že během ověřovacího provozu bylo na štítovém komplexu provedeno celkem 94 změn a doplňků.

Jak vlastně první československý tunelovací štít vypadal? Jednalo se o štít s frézou (obr. 9 a 10), pročež se dočkal označení RŠF-1. Jako



Obr. 8 Bednicí sekce mechanizovaného štítu TŠČB-3
Fig. 8 Formwork section of the mechanised shield TŠČB-3

in the best, this excavation was also the proverbial swan song of the TŠČB-3 mechanised shields on the Prague metro. compressed concrete tunnels are still in operation today as parts of Lines A and B; they visually demonstrate satisfactory quality without significant cracks, leaks or other defects in the construction of the lining, which, due to the nature of the execution, is not reinforced or waterproofed against groundwater in any way.

4. RŠF-1 TUNNELLING SHIELD WITH ROADHEADER

Ingenuity is characteristic of the Czechs. They have demonstrated it countless times in the form of various technical devices. It is therefore not surprising that from the first drives with non-mechanised shields, which were a real toil for the laboring personnel involved, engineers were concerned with ideas on how to make the work as easy as possible for the laborers. How to limit human work as much as possible and replace it with machine work. The cooperation of 30 companies and organisations led by Metrostav began to gain contours, which gradually began to materialise in Metrostav's fabrication workshops into the final product – the first subway tunnelling shield constructed in Czechoslovakia.

After its testing, in March 1985, the shield was moved from the workshops in parts to be assembled in an assembly chamber with a diameter of 7.8m and a length of 10m, with a connecting running tunnel. Its deployment was planned for the left-hand running tunnel of Line B from the Florenc station to the Křižíkova station. The lowering of the parts was carried out in a shaft on the branch connecting Line B to Line C. The parts were transported to the assembly chamber through this branch. On June 15, 1985, the basic assembly was completed and comprehensive functional tests began. Less than a month later, the actual tunnel excavation began, during which the advancing shield was supplemented with a backup, on which, for example, there was a transformer platform or an assembly platform for the ventilation duct. Initial 6m of the tunnel were stabilised with cast iron segments, the following part with a reinforced concrete lining according to the design.

In October 1985, tunnel excavation continued in the regime of comprehensive functional tests under the load with simultaneous crew training. It is recorded that a total of 94 changes and additions were made to the shield complex during the verification operation. What did the first Czechoslovak tunneling shield actually look like? It was a shield with a roadheader (Fig. 9, 10). For its the Czech name it received the designation RŠF-1. The SŽN-1S shield body was used, from which the internal partitions were removed and were replaced by a massive lower partition serving as a supporting bridge for placing the roadheader, segment erector and work platform. In

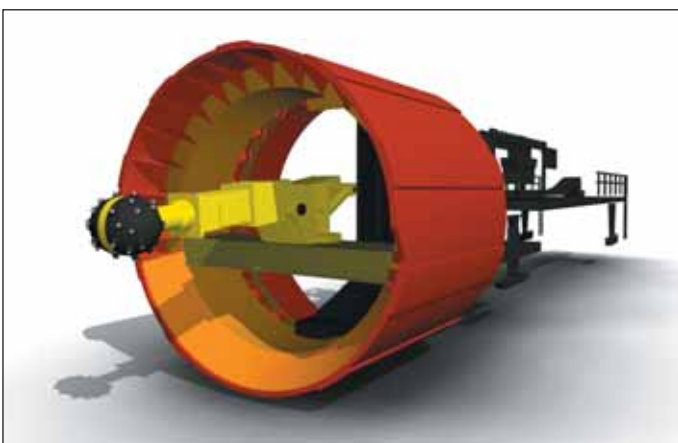


Obr. 9 Štít s frézou RŠF-1
Fig. 9 Shield with roadheader RŠF-1

štítu bylo užito těleso SČN-1S, ze kterého byly odstraněny vnitřní přepážky, jež byly nahrazeny mohutnou spodní přepážkou sloužící jako podpůrný most pro uložení frézy, ukladače ostění a pracovní plošiny. V zadní části štítu byl vsazen těsnicí prstenec sloužící jednak k opření tlačných válců a roznesení jejich silových účinků na ostění a zároveň k utěsnění mezikruží při výplňové injektáži. Rubaninu vynášel ze štítu hřeblový dopravník na dopravník pásový, který byl dále veden k výsypné stanici do vozíků kolejové drážky. Kromě dalších technologií byl závěs vybaven dopravní drážkou pro přisun dílců ostění k ukládači.

Tab. 3 Základní technické parametry razicího štítu s frézou RŠF-1

RŠF 1 – základní technické parametry	
Hmotnost	198 t
Délka	24 m
Průměr výrubu	5,6 m +/- 20 cm
Pracovní posuv frézy	1000 mm
Otáčení a naklápění ramene	± 45°
Pracovní tlak hydrauliky	4–16 MPa
Instalovaný příkon	270 kW



3D grafika stroje RŠF-1 (viz tab. 3)
3D graphics of RŠF-1 machine (See Table 3)

Štítem RŠF-1 bylo na ražených úsecích trasy B dosaženo průměrného měsíčního výkonu 79,92 m, nejvyšší měsíční výkon byl 164 m, což byl do té doby výkon historicky nejvyšší. Chystal se vývoj dalších štítů československé proveniencí. V plánu byl štít RŠF-2, který měl být podle tehdejších předsevzetí „doplňen o další nové myšlenky tak, aby byl postaven na průměrný měsíční výkon 120–140 m, v maximech 200 m“. K jeho výrobě však už nedošlo. Naše země v srdci



Obr. 10 Práce na čelbě štítu RŠF-1
Fig. 10 Work at the heading of RŠF-1 shield

the rear part of the shield, a sealing ring was inserted, serving both to prop the thrust cylinders and spread their force effects on the lining, and at the same time to seal the annulus during backfill grouting. The muck was removed from the shield by a scraper conveyor onto a belt conveyor, which was then led to the dumping station into the cars on a rail track. In addition to other technologies, the backup was equipped with a transport track for the supply of segments to the erector.

Table 3 Basic technical parameters of the tunnelling shield with roadheader RŠF-1

RŠF 1 – basic technical parameters	
Weight	198t
Length	24m
Excavated diameter	5.6m +/- 20cm
Roadheader working stroke	1000mm
Arm rotation and tilting	± 45°
Working pressure of hydraulic system	4–16MPa
Installed power input	270kW

With the RŠF-1 shield, an average monthly output of 79.92m was achieved on the driven sections of Line B, the highest monthly output was 164m, which was the historically highest output in history up to that time. The development of other shields of Czechoslovak provenance was about to take place. The plan included the RŠF-2 shield, which, according to the resolutions at the time, was to be „supplemented with other new ideas so that it would be built for an average monthly output of 120–140m, with a maximum of 200m“. However, its production never took place. Our country, in the heart of Europe, underwent a change in the political system and, in short order, a disintegration, and since the mid-nineties, the New Austrian Tunneling Method (NATM) has found its place in the limelight of tunnel construction methods.

5. EARTH PRESSURE BALANCE SHIELDS S-609, S-610

The wave of political upheavals that swept through Central, Eastern and South-Eastern Europe had an impact on various areas of life, including underground construction. In our country, railway, road and urban transport tunnels, which had been terminated in the previous period, started to be built again. The biggest change that characterises the local post-revolutionary era of underground construction was the adoption of the NATM, which established itself as the most widely used method of realisation of mined underground

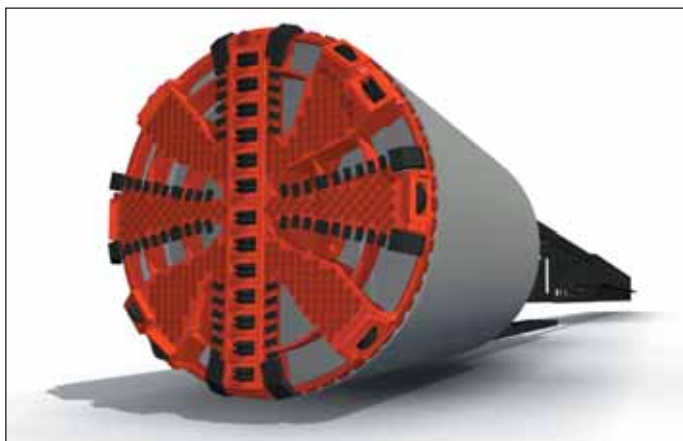
Evropy prošla změnou politického systému a v krátkém sledu také rozpadem a od poloviny devadesátých let si místo na výsluní metod výstavby tunelů našla Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM).

5. ZEMINOVÉ ŠTÍTY S-609, S-610

Vlna politických převratů, která se prohnala střední, východní a jihovýchodní Evropou, měla dopad do nejrůznějších oblastí života, oblast podzemních staveb nevyjímaje. V tuzemsku se opět začaly stavět železniční, silniční a městské dopravní tunely, které byly v předchozím období odstaveny na vedlejší koleje. Největší změnou, která charakterizuje zdejší porevoluční éru podzemního stavitelství, bylo osvojení si NRTM, jež se etablovala v nejpoužívanější způsob realizace ražených podzemních děl v ČR. NRTM si našla své místo i na stavbách pražského metra a jejím prostřednictvím bylo možné razit mj. dvoukolejné traťové úseky či jednolodní stanice; a pro metodu štítování již nebyl prostor. Na její navrácení se na pražské metro bylo třeba počkat do roku 2011, na výstavbu pátého provozního úseku trasy A mezi stanicemi Dejvická a Nemocnice Motol.

Tab. 4 Základní technické parametry razicího štítu S-609

S-609 – základní technické parametry	
Hmotnost	800 t
Délka	102 m
Průměr výrubu	6,06–6,1 m
Počet řezných disků	21 ks
Nominální krouticí moment	4400 kNm
Otáčky řezné hlavy	max. 3 ot/min
Přítlak tlačných válců	38 926 kN
Instalovaný výkon	1850 kVa



3D grafika stroje S-609 (viz tab. 4)
3D graphics of S-609 machine (See Table 4)

Zde byly nasazeny dva zeminové štíty vyrobené německou firmou Herrenknecht pod sériovými čísly S-609 a S-610 (obr. 11). Štíty se skládaly z části štítové, dlouhé 8,5 m a části závěsné délky 93 m. V části štítové byly prováděny veškeré operace spojené s cykly ražby – tj. rozpojování horniny pomocí řezné hlavy, podpírání čelby upravenou zeminou, odtěžování zeminy a zajištění výrubu segmentovým ostěním (obr. 12). V části závěsu, kterou tvořilo sedm závěsných vozů, byly veškeré technologie potřebné k provozu a ovládání štítu, zařízení pro manipulaci se segmenty, pro injektáž mezikruží mezi výrubem a segmenty, pro čerpání důlních vod, větrání, prodlužování pásových dopravníků, zázemí pro pracovní četu apod. Štíty byly vybaveny množstvím počítačových jednotek a sledovacích čidel, které sbíraly nejrůznější data o stavu stroje, ale nepřímou také o chování horninového prostředí či množství vyplňové injektáže vně



Obr. 11 Štít S-610 ve stanici Bořislavka (2012)
Fig. 11 Shield S-610 in the Bořislavka station (2012)

works in the Czech Republic. The NATM also found its place in the construction of the Prague metro and it was possible to drive, among other things, double-track tunnel sections or one-vault stations; and there was no longer room for the shield driving method. Its return to the Prague metro had to wait until 2011, for the construction of the fifth operational section of route A between the Dejvická and Nemocnice Motol stations.

Table 4 Basic technical parameters of tunnelling shield S-609

S-609 – basic technical parameters	
Weight	800t
Length	102m
Excavated diameter	6.06–6.1m
Number of cutter discs	21 pcs
Nominal torque	4400kNm
Cutterhead rotation speed	max. 3 rev/min
Thrust cylinders pressure	38,926kN
Installed power input	1850kVa

Two earth pressure balance shields manufactured by the German company Herrenknecht under the serial numbers S-609 and S-610 were deployed here (Fig. 11). The shields consisted of a shield part, 8.5m long, and a 93m long backup. In the shield part, all operations connected with excavation cycles were carried out – i.e. rock disintegration using a cutting head, supporting the face with treated soil, removing the soil and securing the excavation with segmental lining (Fig. 12). In the backup part, which consisted of seven backup cars, there were all the technologies needed to operate and control the shield, equipment for handling segments, for grouting the annulus between the excavated surface and the segments, for pumping mine water, ventilation, extending belt conveyors, facilities for the work crew, etc. The shields were equipped with a number of computer units and tracking sensors that collected all kinds of data about the condition of the machine, but also indirectly about the behaviour of the rock environment or the amount of backfill grouting outside the lining. The machine was operated from the so-called pilot's cabin (Fig. 13), which contained a control panel and four screens displaying operating data, navigation, muck consistency, etc. In line with the fact that mechanised tunneling at the beginning of the 21st century has developed into a comprehensive method in which shields are only one element of a whole set of technologies, it is also necessary to mention all the accompanying technologies that were used on



Obr. 12 Montáž ostění erektorem na stroji S-609
Fig. 12 Assembly of lining by erector on S-609 machine



Obr. 13 Strojník v pilotní kabině zeminového štítu S-609
Fig. 13 Machine operator in pilot's cabin of earth pressure balance shield S-609

ostění. Stroj byl obsluhován z tzv. pilotní kabiny (obr. 13), která obsahovala řídicí pult a čtveřici obrazovek se zobrazením provozních údajů, navigace, konzistence rubaniny aj.

Ve shodě s tím, že se mechanizované tunelování na počátku 21. století vyvinulo v komplexní metodu, ve které jsou štíty jen jedním z prvků celého souboru technologií, je třeba zmínit i veškeré doprovodné technologie, které byly na metru V.A využívány. Jednalo se o výrobu prefabrikovaných železobetonových segmentů, které byly navrženy přímo pro konkrétní tunelovací stroj, dále pak o výrobu výplňové malty včetně čerpadel pro jejich transport do tunelovacího stroje. Materiálovou logistiku zajišťovaly víceúčelové kolové platformy (tzv. MSV), systém pásových dopravníků sloužil pro těžbu rubaniny. Vše muselo být navrženo dostatečně kapacitně tak, aby žádná z dílčích technologií nebyla tím pověstným nejslabším článkem řetězu a aby ani jeden z obou tunelovacích strojů nebyl některou z technologií limitován.

První ze strojů, který měl typové označení Herrenknecht S-609, byl smontován během prvního čtvrtletí 2011 a v dubnu tohoto roku zahájil ražbu ze šachty na Vypichu do stanice Petřiny. Druhý stroj, s typovým označením S-610 zahájil ražbu ze stejného místa s tříměsíčním časovým odstupem. Oba stroje postupně dorazily do rozestavěné stanice Petřiny, stanici byly protaženy a na konci stanice opětovně odstartovaly k ražbě navazujícího mezistaničního úseku. Popsaný scénář se opakoval i ve stanici Nádraží Veleslavín a Bořislavka. Po absolvování asi poloviny z celkově raženého čtyřkilometrového úseku byly veškeré doprovodné technologie přemístěny ze staveniště Na Vypichu na staveniště v Evropské ulici. Vzhledem k tomu, že na druhém stroji bylo možno úročit zkušenosti nasbírané při ražbách prvního, mohl zeminový štít S-610 razit rychleji než S-609 a postupně redukovat původní tříměsíční časový odstup. To umožnilo souběh obou strojů před stanicí Dejvická, což dovolilo realizovat spektakulární společnou prorážku do prostoru obrátových kolejí stanice.

První nasazení technologie zeminových štítů v prostředí pražských geologických podmínek proběhlo úspěšně. Na obou štítech byla prokázána schopnost minimalizace poklesů objektů v povrchové zóně ovlivnění. Bylo dosaženo také požadované rychlosti výstavby obou jednokolejných tunelů. Realizační tým přinesl mnohá vylepšení a inovace jak při samotné ražbě (jedno z řešení bylo patentováno), tak především při průtazích stroje stanicemi, startech či samotné demontáži obou strojů.

6. ZÁVĚR

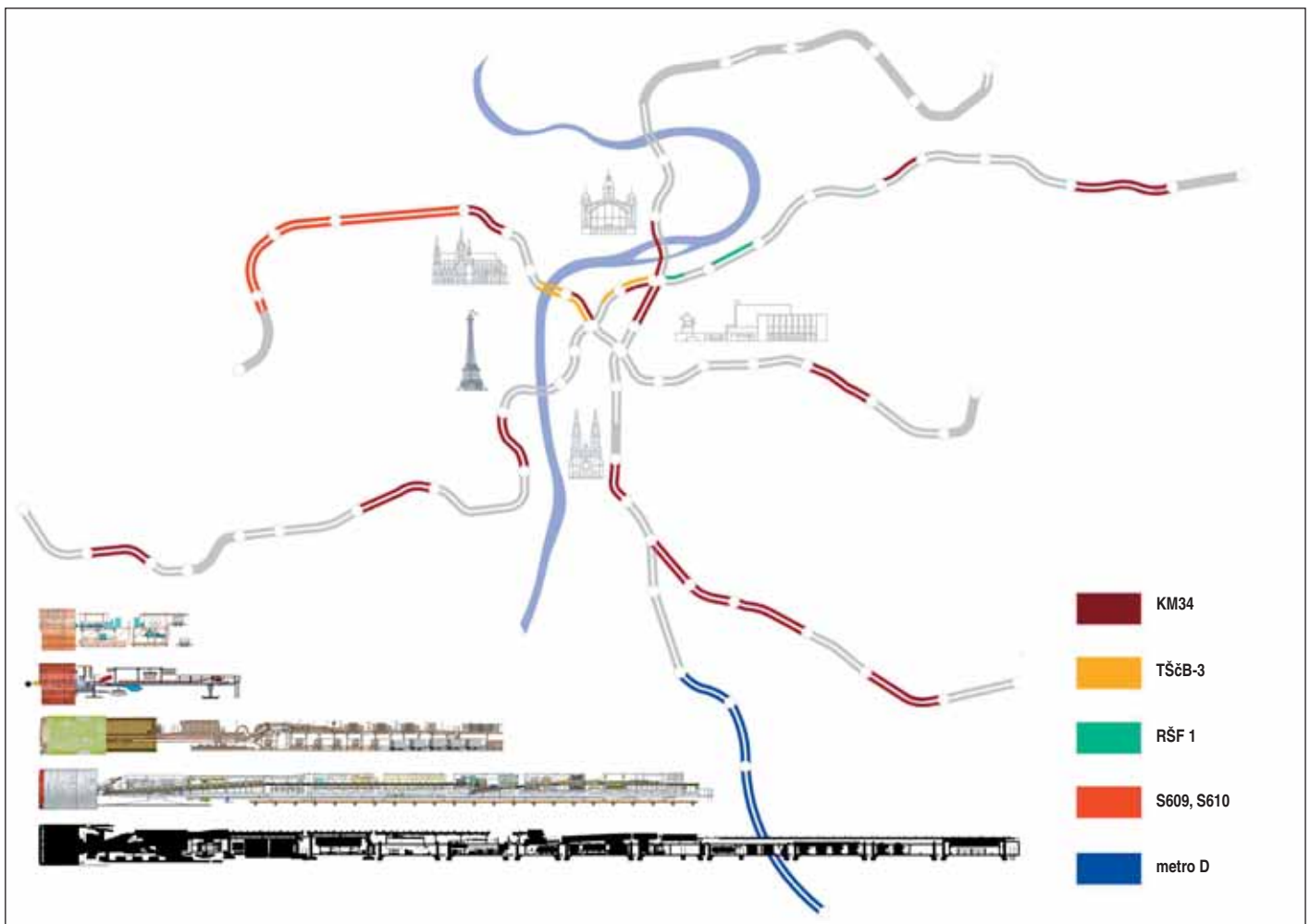
V současnosti probíhá výběrové řízení na zhotovitele trasy D pražského metra v úseku Olbrachtova – Nové Dvory. Zadávací dokumentace tohoto projektu předpokládá nasazení dvou zeminových

the VA metro line. It was a casting yard for reinforced concrete segments that were designed directly for a specific tunneling machine, and then a batching plant for backfill mortar including pumps for their transport to the tunneling machine. Material logistics were provided by multi-purpose wheeled platforms (so-called MSV), the belt conveyor system was used for removing muck. Everything had to be designed with sufficient capacity so that none of the sub-technologies was the proverbial weakest link in the chain and that neither of the two tunneling machines was limited by any of the technologies.

The first of the machines, which had the type designation Herrenknecht S-609, was assembled during the first quarter of 2011, and in April of that year it started to drive the tunnel from the shaft at Vypich to the Petřiny station. The second machine, with the type designation S-610, started driving from the same place three months later. Both machines gradually arrived at the Petřiny station under construction, were pulled through the station and at the end of the station they started again to excavate the connecting inter-station section. The described scenario was also repeated at the Nádraží Veleslavín and Bořislavka stations. After the completion of about half of the four-kilometer long section, all accompanying technologies were moved from the Na Vypichu construction site to the construction site in Evropska street. Since it was possible to capitalise on the experience gained during the driving by the first machine on the second machine, the S-610 earth pressure balance shield could drive faster than the S-609 and gradually reduce the original three-month time lag. This the simultaneous running of both machines in front of the Dejvická station possible, which allowed for a spectacular joint breakthrough into the area of the station's turn-back tracks. The first deployment of the earth pressure balance shield technology in Prague's geological conditions was successful. The ability to minimise object subsidence in the surface zone of influence was demonstrated on both shields. The required construction speed of both single-track tunnels excavation was also achieved. The implementation team brought many improvements and innovations both during the excavation itself (one of the solutions was patented), and above all during the pulling of the machine through the stations, starts or the disassembly of both machines itself.

6. CONCLUSION

Currently, a tender is underway for the contractor for route D of the Prague metro in the section Olbrachtova – Nové Dvory. The tender documents for this project envisage the deployment of two



Obr. 14 Přehled úseků pražského metra ražených štíty

Fig. 14 Overview of Prague metro section driven by shields

štítů ve stavební jámě „Rezerva“ v Písnici a jejich ražbu do povrchové stanice Nádraží Krč (obr. 14). Po více než deseti letech se tak tunelovací štíty opět navrátí na ražby tras pražského metra a již nyní je jisté, že si připsou minimálně jedno „nej“ v rámci dosavadní historie výstavby pražského metra. A sice ražbu nejdelšího nepřerušného traťového úseku z jámy Rezerva do stanice Nové Dvory, jež přesáhne délku 3 km.

Na jmenovaném úseku se sice v budoucnu počítá s dvojicí stanic – Písnice a Libuš, ale tyto budou konstruovány ve stavebních jamách hloubených do již vyražených tunelů spolu s rozebráním segmentového ostění v tomto prostoru. Jaké další technické výzvy, neotřelá řešení, posuny dosavadních rekordů či konkrétní lidské příběhy nám nasazení zeminových štítů na prvním úseku trasy D přinese? Odpověď na tuto otázku je dosud otevřená a je ukryta v konturách budoucnosti.

Ing. PETR HYBSKÝ,
petr.hybsky@m-tbr.cz,
Metrostav-TBR a.s.

Recenzoval Reviewed: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.

earth pressure balance shields in the construction pit „Rezerva“ in Písnice and their driving up to the Nádraží Krč at-grade station (Fig. 14). After more than ten years, the tunneling shields will return to the excavation of the Prague metro lines and it is already certain that they will claim at least one „the best“ in the history of the construction of the Prague metro. Namely, the excavation of the longest uninterrupted track section from the Rezerva pit to the Nové Dvory station, which will exceed a length of 3km. In the future, a pair of stations – Písnice and Libuš – will be planned on the named section, but these will be built in construction pits dug on already completed tunnels concurrently with the dismantling of the segmental cladding in this area. What other technical challenges, innovative solutions, shifts in previous records or specific human stories will the deployment of earth pressure balance shields on the first section of route D bring us? The answer to this question is still open and is hidden in the contours of the future.

Ing. PETR HYBSKÝ,
petr.hybsky@m-tbr.cz,
Metrostav-TBR a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] LAUDÁT, F. a kol. *Praha a metro*. Pro Inženýring dopravních staveb vydala Galery, Praha, 2004.
- [2] KYLLAR, E. a kol. *Metro metropole*. Inženýring dopravních staveb, Praha, 2016.
- [3] Zpravodaj Metro 1970–1990