

Zwei Erddruck-Schilde für die Erweiterung der Linie A der Metro Prag

Seit Mitte 2011 sind 2 Erddruck-Schilde in Prag für die Erweiterung der Metrolinie A im Einsatz. Die erzielten Vortriebsgeschwindigkeiten belegen die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Technologie unter den anspruchsvollen Bedingungen eines setzungskontrollierten Vortriebs im innerstädtischen Bereich.

1 Einleitung

Prag ist die Hauptstadt und gleichzeitig die größte Stadt der Tschechischen Republik. Ein wesentlicher Bestandteil des öffentlichen Nahverkehrsystems ist die Metro Prag, die derzeit aus 3 Linien besteht mit einem Schienennetz von 60 km, die vorwiegend unterirdisch verlaufen, und insgesamt 57 Stationen. Die bestehenden Linien sind die Linie A, von Ost nach West von Depo Hostivař bis Dejvická verlaufend; Linie B, von Ost nach West von Černý most bis Zličín verlaufend; und Linie C, von Nord nach Süd von Letňany bis Háje verlaufend. Die U-Bahn ist das schnellste Transportmittel der Stadt und befördert bis zu 1,5 Mio. Passagiere pro Tag, womit die Metro in Prag eines der meistgenutzten U-Bahn-Systeme Europas ist.

Das Prager Metrosystem ist als Dreieck ausgelegt, das in der Stadtmitte die 3 bestehenden Metrolinien über 3 Umsteigebahnhöfe miteinander verbindet. Zu Beginn des U-Bahnbaus in Prag in den 1960er Jahren

Dr. Karin Bäßler, Herrenknecht AG, Schwanau/D, www.herrenknecht.com
Ermin Stehlik, MSc, Metrostav a.s., Prag/CZ, www.metrostav.cz

wurden Offene Vortriebsschilde aus russischer Produktion und Gusseisen-Segmentausbau eingesetzt. Im späteren Verlauf ersetzte der Ausbau mit Stahlbetontübbingden Gusseisen-Segmentausbau vollständig. In den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts bohrten 2 TBM mit Extrudierbeton-Ausbau einen Teil der U-Bahn-Linie A unter dem Fluss Vltava.

Der vorliegende Artikel befasst sich mit dem derzeitigen Ausbau der Linie A von der Station Dejvická über Červený vrch, Veleslavín und Petřiny bis nach Motol. Die Stadtverwaltung hatte definiert, dass der Ausbau der Linie A mit hoher Priorität im Rahmen des Ausbaus des Gesamtnetzes durchzuführen ist und dass dieses Projekt exklusiven Zugang zu europäischen Fördermitteln erhält. Der Ausbau der Linie A wird einen Beitrag zur Entlastung der Situation am Vítěznej-Platz leisten, indem sich hier die

Two Earth Pressure Balance Shields for Metro Line A Extension of Prague Metro

Since mid of 2011 two Earth Pressure Balance Shields are employed for the extension of Metro Line A in Prague. The tunnelling progress documents the efficiency of the employed technology facing challenging conditions of settlement controlled inner-city tunnel construction.

1 Introduction

Prague is the capital and also largest city of the Czech Republic. An important part of the public transportation system is the Prague Metro. The public transportation network comprises currently 3 lines of about 60 km of tracks running mostly underground and 57 stations. The current lines are Line A, running east to west from Depo Hostivař to Dejvická, Line B, running east to west from Černý most to Zličín and Line C running from north to south from Letňany to Háje. The metro is the fastest transportation system around the city. It serves about 1.5 million passengers a day and is thus one of the busiest metro systems in Europe.

The Prague Metro system is designed as a triangle, with all 3 lines meeting in the center of the city at 3 interchange stations. At the start of metro construction in Prague in the 1960s with Russian made open tunnelling shields, the cast iron

lining was used. Later the concrete segments replaced the cast iron completely. In the seventies of the last century 2 TBMs with extruded concrete lining bored part of the Metro Line A under the Vltava River.

The project to focus on in this paper is the metro extension of Line A, which is being constructed between station Dejvická via Červený vrch, Veleslavín, Petřiny and all the way out to Motol. The extension of Metro Line A was set as a priority by the municipal government in the development of the metro network, with exclusive rights to finances obtainable from European funds. A contribution of Line A extension will be to ease the situation on Vítěznej square by cutting the number of buses by up to 50 % with a positive environmental impact and furthermore to improve the traffic situation in the north western part of Prague. Also, the southwest part of the city will get new traffic connections. The next step will then be the planned north-western extension of Line A towards Ruzyně Airport.

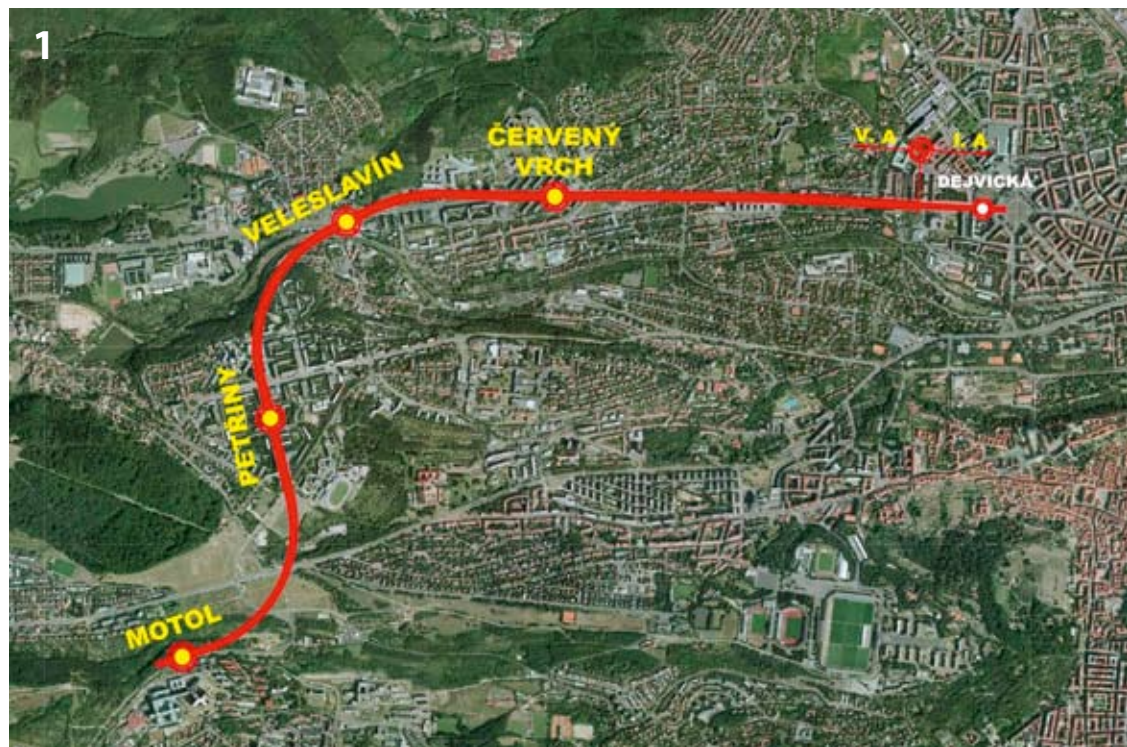
Anzahl der Busse um die Hälfte reduzieren und somit auch die Umweltbelastung sinken wird. Sowohl die Verkehrssituation im Nordwesten Prags als auch im Südwesten wird sich insgesamt verbessern. Im nächsten Schritt ist geplant, die Linie A im Nordwesten weiter in Richtung des Flughafens Ruzyně zu verlängern.

2 Erweiterung der U-Bahn-Linie A von Dejvická nach Motol

Die Baufirmen Metrostav und Hochtief CZ wurden beauftragt, die Linie A um 5,7 km von Dejvická nach Motol Station zu verlängern sowie die 3 neuen Stationen Cerveny Vrch, Veleslavin und Petřiny zu erstellen. Die neue Linie wird das große Wohngebiet Prag 6 anbinden und ein neues, hochwertiges Transportmittel für die größte Klinik-Anlage Prags bieten (Bild 1).

Die Morphologie des Geländes und der hohe Grad der Urbanisierung bestimmten die Wahl der Vortriebsmethode für den geplanten Trassenverlauf. Für fast den gesamten Projektverlauf wird maschineller Tunnelvortrieb zum Einsatz kommen. 5,7 km Tunnel werden mit 2 EPB-Schilden gebohrt und gesichert. Die Tunnelvortriebsmaschinen (S-609 und S-610) von Herrenknecht haben einen Durchmesser von 6,1 m und stellen die 2 eingleisigen Metrotunnel zwischen Vítězné Square und Motol her. Drei Stationen (Cerveny Vrch, Veleslavin und Petřiny) werden bergmännisch ausgebrochen, während die Station Motol in offener Bauweise entsteht.

Die EPB-Schilde wurden entsprechend den prognostizierten geologischen Bedin-



Übersicht über den Tunnelverlauf der Erweiterung der U-Bahn-Linie A
Overview of the tunnel route of Metro Line A extension

gungen entlang der geplanten Tunnelstrecke ausgelegt. Die Baugrundverhältnisse sind charakterisiert durch Schiefer-ton-Gestein und dessen Verwitterungsprodukten. Neben dem Schiefer-ton wurden auch größere Anteile an Sandsteinen, Schluffsteinen sowie Tonsteinen prognostiziert, die auch im Vortriebsverlauf bis Ende 2011 angetroffen wurden. Entlang der geplanten Tunneltrasse wurden sowohl stabile, instabile als auch gemischte Ortsbrustverhältnisse vorhergesagt.

3 Hauptdaten der Maschinen

Die EPB-Schilde für den Erweiterungsabschnitt der Metro Prag sind mit einem hydraulischen Hauptantrieb und einer Leistung von 1.200 kW ausgestattet. Im Vortrieb üben 32 Vortriebszylinder eine Vorschubkraft von 39.000 kN aus.

2 Extension of Metro Line A from Dejvická to Motol

The companies Metrostav and Hochtief CZ have been commissioned to build the about 5.7 km long extension of Metro Line A starting at Dejvická to Motol Station. Three new intermediate stations will be built at Cerveny Vrch, Veleslavin and Petřiny. The new metro line will serve the large residential area of Prague 6 to provide a quality transport service for the biggest hospital complex in Prague (Fig. 1).

The morphology of the terrain and the high degree of urbanization affected the choice of tunnelling method for the planned alignment. For almost the entire extent of the project mechanized tunnelling technology is applied. The 5.7 km are excavated and lined by using two 6.1 m diameter EBP Shields from Herrenknecht (S-609 and S-610) for the 2 single-track

tunnels from Vítězné Square to Motol. Three of the new Metro Stations (Cerveny Vrch, Veleslavin and Petřiny) are mined, while Motol station is built by cut-and-cover method.

The EPB Shields have been designed to suit the prevailing geological conditions, which have been predicted along the designed tunnel alignment. The geology is mainly characterized by clay shale rock types and their weathering products. Besides the clay shale, a greater amount of sandstone, siltstone and claystone as of different soil types (mostly of clayey character) were expected and encountered during drives completed to the end of 2011. Along the tunnel alignment both, stable and unstable tunnel face conditions, as well as mixed face conditions are predicted.

3 TBM main data

The EPB Shields for Metro Prague are equipped with a hydraulic



Montierter EPB-Schild (6,1 m Durchmesser) für die Erweiterung der U-Bahn-Linie A im Herrenknecht-Werk in Deutschland
Assembled 6.1 m diameter EPB Shield for Prague Metro Line A extension at the Herrenknecht AG workshop in Germany

Das Schneidrad ist für beide Drehrichtungen ausgerüstet und weist ein Öffnungsverhältnis von 30 % auf. Der Werkzeugbesatz besteht aus insgesamt 38 17-Zoll-Schneidrollen mit einem Spacing von 100 mm, 64 Schälmessern sowie 8 Räumern. Für das Anfahren war das Schneidrad mit Stacheln bestückt. Zwei Werkzeuge, ein Schälmesser und ein Räumern, wurden mit einem hydraulischen Verschleißerkennungssystem ausgestattet (Bild 2).

Die beiden Maschinen, die an Metrostav a.s. für den Ausbau der U-Bahn-Linie A in Prag geliefert wurden, haben eine Länge von insgesamt 96 m. Der 87 m lange Nachläufer besteht aus 7 Segmenten und einer Brücke. Er nimmt sämtliche lo-

gistischen Komponenten auf, die für den Betrieb der Maschine benötigt werden.

Während des Schildvortriebs in instabilem Baugrund wird ein Stützdruck erzeugt, um einer Instabilität der Ortsbrust entgegenzuwirken. Bei einem EPB-Schild wird die Ortsbrust durch das vom Schneidrad abgebaute Material gestützt. Während des Vortriebs ist die Abbaukammer vollständig mit Material gefüllt, um Setzungen an der Oberfläche zu verhindern. Der Stützdruck wird über die Vortriebszylinder durch das gelöste, konditionierte Erdreich in die Druckwand eingeleitet, um die notwendige Balance herzustellen. Die inneren Statoren und Rotoren schneiden durch den Erdbrei, wobei durch

main drive powered with a total of 1,200 kW. When tunnelling, 32 thrust cylinders apply a nominal thrust force of about 39,000 kN. The cutting wheel is equipped for both directions of rotation. It is designed with an opening ratio of 30 % and fitted with 38 pieces of 17-inch disc cutters of 100 mm spacing, 64 cutting knives and 8 buckets. The cutter heads were fitted with ripper tools for the start of boring. Two hydraulic wear detection units are installed for the soft ground tools and buckets (Fig. 2).

The 2 machines, which were supplied to Metrostav a.s. for the extension of Metro Line A in Prague have a total length of 96 m. The 87 m long back-up comprises 7 gantries and a bridge

construction. It houses all the logistics equipment needed to operate the entire system.

During shield drives in unstable ground, face support pressure is generated to counteract any loss of stability at the tunnel face. On an Earth Pressure Balance Shield, the soil excavated by the cutting wheel is used to support the tunnel face. During advance in full mode, the excavation chamber is permanently completely filled, preventing settlement on the surface. To achieve a state of balance, the face support pressure is transmitted from the hydraulic thrust cylinders to the conditioned, loose soil through the bulkhead. The internal stators and rotors cut through the soil mixture, while foam can be injected via nozzle

Düsen zusätzlich Schaum zugeführt werden kann, um die benötigte Konsistenz des Erdbreis zu erreichen. Insgesamt sind 4 Düsen im Schneidrad installiert, 4 Statoren in der Abbaukammer sowie 2 x 3 Schauminjektionspunkte an der Förderschnecke. Der so konditionierte Erdbrei wird durch die Förderschnecke aus der Sohle der Abbaukammer abgefördert und an das Förderband übergeben. Die Menge des abgeförderten Materials wird durch die Drehgeschwindigkeit der Förderschnecke reguliert und an die Vortriebsgeschwindigkeit angepasst. Das Ziel ist ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen einerseits dem Volumen des abgebauten Materials, das durch die Schnecke abgefördert wird, und andererseits dem Volumen des Materials, das durch das Schneidrad abgebaut wird. Hierdurch wird eine optimale Stützung der Ortsbrust gewährleistet.

Die Schlüsselinformationen mit allen vortriebsrelevanten Parametern werden an den Steuerstand übermittelt, wo sie auf den Bildschirmen des Maschinenfahrers dargestellt werden. Der Maschinenfahrer überwacht den weitgehend automatisierten Prozess und greift bei Bedarf korrigierend ein. Dies ist vor allem beim Vortrieb unter der städtischen Bebauung Prags von Bedeutung, die einen setzungskontrollierten Vortrieb erforderlich macht.

Um die Herausforderungen beim Vortrieb unter mit Auflagen versehenen Gebieten zu bewältigen, wurden die EPB-Schilde wie folgt ausgerüstet:

- hydraulisches Verschleißerkennungssystem für einen effizienten Abbauprozess

und um Schäden an den Werkzeugen und dem Stahlbau des Schneidrades zu vermeiden

- umfassendes Datenerfassungssystem, das fortlaufend Informationen über den Zustand der Ortsbrust sowie weiterer wichtiger Parameter liefert und einen kontrollierten Abbauprozess ermöglicht.

Um baugrundstabilisierende Maßnahmen in der Firste und im Bereich der Ortsbrust bei auftretenden instabilen Ortsbrustverhältnissen realisieren zu können, sind die Maschinen mit Injektionsbohrgeräten ausgestattet. Über 8 geneigte Injektionsleitungen mit einem nominellen Durchmesser von 100 mm können Firstinjektionen in einem Winkel von 14° durchgeführt werden. Zwei horizontal geführte Bohrgeräte ermöglichen Injektionen im Ortsbrustbereich. Die installierten Bohrgeräte können ebenfalls für Erkundungsbohrungen im Bereich um Červený vrch genutzt werden, in dem der Tunnel unter einem ehemaligen Minengebiet verläuft (Eisenerz, der Abbau hatte 1860 begonnen).

4 Control Boring Process System (CBP)

Der geforderte setzungskontrollierte Vortrieb stand bei der Konzeption der Maschinen im Vordergrund, weshalb ein Kontrollsystem installiert wurde, das setzungsrelevante Daten wie beispielsweise den Stützdruck und die Ringspaltverfüllung aufzeichnet und analysiert. Die vom System aufgezeichneten Werte werden mit Referenz- und Toleranzwerten verglichen, die von den

les to ensure that the required consistency is maintained. There are in total 4 foam units installed in the cutting wheel, 4 statators for foam in the excavation chamber and 2 x 3 foam injection points at the screw conveyor. The screw conveyor removes the treated soil from the invert area of the excavation chamber and hands it over to a conveyor belt. The speed of rotation of the screw conveyor regulates the volume of soil removed from the excavation chamber and adjusts it to the advance speed. The aim is to keep a balance between the volume of soil removed by the screw conveyor and the volume of soil being produced by the advance of the EPB Shield. This makes it possible to ensure optimal support of the tunnel face.

The key information consisting of all relevant tunnelling parameters is fed into the central control cabin where it is visualized on screens for the TBM operator. The operator monitors the largely automated processes and takes corrective action when needed. This is important especially in the urban area of Prague where tunnelling demands for a settlement controlled tunnelling process.

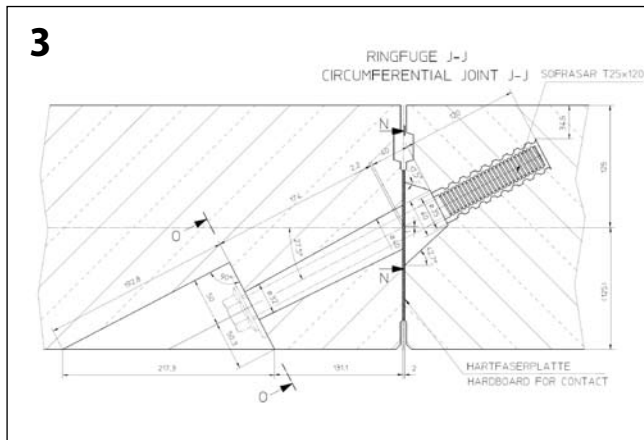
To meet the challenges of tunnelling in constraint areas, the EPB Shields are equipped with

- a hydraulic wear detection system for an efficient excavation process and to avoid damage to the tools and the steel structure of the cutting wheel and
- an extensive data acquisition system that gives continuously information about the support of the tunnel face and many further machine parameters essential for a controlled excavation process.

The EPB Shields are equipped with injection drill rigs for ground stabilization measures in the tunnel crown and tunnel face area in the case of instable tunnel face conditions. Via 8 inclined injection lines of a nominal diameter of 100 mm it is possible to perform crown injections with an angle of 14° and 2 horizontal drills enable injections into the tunnel face. The installed drilling rigs will be also used for probing ahead of the face in some cases, one of them might be the area around Červený vrch, where the tunnel alignment crosses the former mining fields (iron ore, mining started in 1860).

4 Control Boring Process System (CBP)

The demand of a settlement controlled operation played an important role during the design phase of the TBMs, therefore, a control system was installed that records and analyzes settlement relevant data such as for example the support pressure and annular gap backfilling. The recorded values will be compared with reference and tolerance data defined by the operating authority. With this safety system, the so called Controlled Boring Process (CBP), frequently changing geological and hydrological conditions with low overburden can be technically mastered. The CBP aims to combine information on possible settlement or heave measured above the tunnel route with all relevant operational data of the TBM in order to facilitate the development of even more sensitive tunnelling strategies and, in terms of risk avoidance, to continuously optimize the tunnel excavation. First, in a kind of tunnel excavation record, data of the tunnel route, for example with regard to settle-



3
Querschnitt der Verbindungsdetails mit Bolzen und Dichtung
Cross section of joint details with bolt and gasket

Behörden definiert wurden. Mit diesem Sicherheitssystem, dem sogenannten Controlled Boring Process (CBP), können sich häufig ändernde geologische und hydrologische Bedingungen mit niedrigen Überdeckungen beherrscht werden. Das Überwachungssystem CBP wird eingesetzt, um Informationen über mögliche Setzungen oder Hebungen, die an der Oberfläche gemessen werden, mit Betriebsdaten der TBM zu kombinieren. Bei Bedarf können so rechtzeitig entsprechende Maßnahmen zur Risikominimierung eingeleitet und der Vortrieb optimiert werden. Beim CBP werden für die setzungsrelevanten Betriebsparameter Sollwerte und Toleranzen festgelegt, die dem Schildfahrer zusammen mit den tatsächlichen Werten im Steuerstand angezeigt werden. Falls während der Schildfahrt eine Über- oder Unterschreitung der Grenzwerte auftritt, so wird dies angezeigt und gespeichert.

Darüber hinaus werden alle spezifischen Daten während des gesamten Vortriebs aufgezeichnet, um eine eingehende Analyse der Vortriebsleistungen in Bezug auf Setzungen zu ermöglichen.

Zum Ende des Jahres 2011 hatten beide Maschinen, die zuerst gestartete S-609 (getauft auf den Namen Tonda von den Kindern aus dem Motol-Krankenhaus) und die S-610 (getauft auf den Namen Adela) erfolgreich den Vortrieb unter einem Wohnkomplex gemeistert. Die hier strikten Setzungsvorgaben von maximal 6 mm konnten durch die durchgängige Überwachung der Gebäude sowie durch den Einsatz des CBP störungsfrei eingehalten werden.

ment measurements conducted above ground and geology, are related to essential operational data of the TBM. Based on this, target values and tolerances for operational parameters of the TBM relevant to the settlement can be established. These values and tolerances are defined by the shift engineer for the machine operator and are visualized on the individual machine data displays in the control cabin. They can be adjusted to respond to current measuring results at all times if necessary. Furthermore, all specific parameters are recorded during the entire excavation to enable a comprehensive analysis of the tunnelling performance with regard to the control of settlement.

At the end of year 2011, the second machine, S-610 (named Adela), followed the first machine's (S-609, named Tonda by children from Motol hospital) successful excavation under the residential complex, where a maximum settlement of only 6 mm was allowed. Continuous monitoring of the complex

structures and using of CPB system contributed to the trouble-free passage of both machines, complying with strict request of minimum settlement.

5 Two-component grouting

In order to keep settlements controlled an effective annular gap backfilling system is required. The EPB Shields for the Metro Prague are designed with a two-component annular gap backfilling system comprising 4 injection lines. Component A can be described as a stabilized main component consisting of water, bentonite, cement and a stabilizer and component B as the activating component of the system consisting of a sodium silicate. Characteristic for the two-component backfill material is an early strength development which is advantageous in order to stabilize the bond between the excavated surface and the tunnel lining. By this, displacements of the rings when they are stressed, for example, by back-up loads can be prevented.



4
Test-Ring für Abmessungstests
Trial ring for dimensional checks

5 Zwei-Komponenten-Verpressung

Eine effektive Ringspaltverpressung ist eine der Voraussetzung um Setzungen kontrollieren zu können. Die EPB-Schilde für die Metro Prag sind mit einem Zwei-Komponenten-System für die Ringspaltverfüllung mit 4 Verpressleitungen ausgestattet. Der Zwei-Komponenten-Ringspaltmörtel besteht aus der Komponente A (Wasser, Bentonit, Zement, Stabilisator) und der Komponente B (Natriumsilikat). Für das Zwei-Komponenten-Ringspaltverpressmaterial ist eine frühe Festigkeitsentwicklung charakteristisch, die eine schnelle Stabilisierung zwischen um-

gebendem Erdreich und der Tunnelauskleidung ermöglicht. So können Versätze zwischen den Ringen verhindert werden, wenn dieser beispielsweise durch das Gewicht des Nachläufers belastet wird. Bei der Verwendung eines Zwei-Komponenten-Mörtels ergibt sich eine größere Flexibilität beim Mischungsverhältnis der Komponenten A und B. Wenn die Komponenten gemischt werden, reagieren sie innerhalb kurzer Zeit (innerhalb von Minuten) zu einem Gel, das sich anschließend verfestigt. Die Abbindezeit und damit das Ausmaß, wie die Mischung in das Erdreich eindringt, kann nach Bedarf variiert werden.

The two-component grouts are generally composed of water, bentonite, cement, a stabilizer and an accelerator. The use of two-component grout provides greater flexibility in varying the ratio of the 2 components A and B. When mixed, the 2 components react within a short time (within minutes) to a gel which begins to solidify afterwards. The setting time of the suspension can be varied and hence the extent to which the mix will penetrate the ground. The main advantage of the two-component system are the quick stabilization of the ring due to a short time to reach sufficient strength and the working properties of the grout which are independent

of idle times or advance speed and the pumpability over longer distances.

6 Segmental lining

The tunnel is lined by reinforced concrete segments. One tunnel ring is composed of 5+1 segments and has a length of 1.5 m. The geometrical design of the segments, produced in high-precision moulds delivered by Herrenknecht Formwork, considers all loads as water pressure, soil conditions and all situations of producing, transporting and erecting in the tunnel. According to the designers experience for such diameters and ground conditions a Universal-Ring (both side tapered) was chosen. The



Implenia® Gratulation zum längsten Tunnel!





Hochpräzise Schalungen von Herrenknecht Formwork
High-precision mould supplied by Herrenknecht Formwork

6 Segmentausbau

Der Tunnel wird mit Stahlbetonsegmenten ausgekleidet. Ein Ring besteht aus 5+1 Segmenten und hat eine Länge von 1,5 m. Das geometrische Design der Segmente, die in hochpräzisen Schalungen von Herrenknecht Formwork produziert werden, berücksichtigt alle Belastungen wie Wasserdruck, Bodeneigenschaften sowie alle Prozesse bei Herstellung, Transport und Installation im Tunnel. Entsprechend den Erfahrungen der Konstrukteure mit diesem Durchmesserbereich und diesen Bodeneigenschaften wurde ein Universalring (beidseitig angeschrägt) gewählt. Die Segmente sind mit EPDM-Dichtungen (M385 69 Portland, PDT) ausgestattet und werden beim Einbau sowohl im Umfang als auch in Längsrichtung miteinander verschraubt (Bild 3).

Die radialen Verbindungen sind mit Hartfaserplatten versehen. Um die korrekten Abmessungen der einzelnen Segmente und damit des gesamten Rings zu belegen, wur-

de im Werk des Herstellers ein Versuchsring gegossen, aufgebaut und vermessen (Bild 4).

Die Segmente für die Metro Prag werden in Senec durch die Firma Doprastav hergestellt. Ausgehend von den Vorgaben des Produzenten wurde eine stationäre Produktion bevorzugt. Die 6 Schalungssätze (54 Schalungen) wurden im Jahr 2011 einmal pro Tag gegossen. Um gute Verarbeitungseigenschaften und eine hohe Beständigkeit des Betons für die Segmente zu erreichen, wurden beim Hersteller Labortests sowie Versuchsbefüllungen durchgeführt (Bild 5).

Diese Stahlbeton-Fertigteile werden auf Wägen in den Tunnel transportiert. Am vorderen Ende eines Wagens werden die Segmente von einem speziellen Übergabekran aufgenommen und auf den Tübbingzuführer gesetzt, der die Tübbinge zum vorderen Ende des Tunnels transportiert. Hier werden die Tübbinge von den Vakuum-saugplatten des Erektors – ein

segments are equipped with EPDM-gaskets (M385 69 Portland, PDT) and are bolted during installation both in the circumferential and longitudinal joints (Fig. 3).

The radial joints are equipped with hardboards (ply wood). To proof the right dimensions of the segments and hence the complete ring, a trial ring was casted, erected and measured in the manufacturers workshop (Fig. 4).

The segments for the Metro Prague are manufactured in Senec by the company Doprastav. Considering the manufacturer's requirements a stationary production was the preferable solution. The 9 sets of moulds (54 moulds) were casted in year 2011 once a day. To gain a high workability and durability of the segment concrete the manufacturer ran tests in the lab and did several trial casts (Fig. 5).

These prefabricated reinforced concrete elements are taken into the tunnel on carriages. At the front end of the carriage, the segments are individually raised by a special transfer crane and placed on

the segment feeder, which brings the segments to the front area of the tunnel. Here, the segments are lifted by vacuum plates on the erector – a hydraulically controlled crane arm – and moved into place.

7 Progress on site

The machines were assembled in the Herrenknecht workshop in Germany where the main components were tested and then transported to Prague. Tunnelling started mid April 2011 (S-609) and mid July 2011 (S-610). The jobsites' tunnelling crews have advanced the 2 machines 1,500 m (S-609) and 1,150 m (S-610) until December 2011 with weekly best rates of up to 162 m (S-609) (Fig. 6). After accomplishing the excavation of the 2 parallel single-track running tunnels by the end of 2012, the TBMs will be recovered backwards through the tunnel.

8 Conclusion

The progress of both machines until the end of 2011 shows great potential of application of


hydraulischer Kranarm – aufgenommen und an die vorgesehene Position gesetzt.

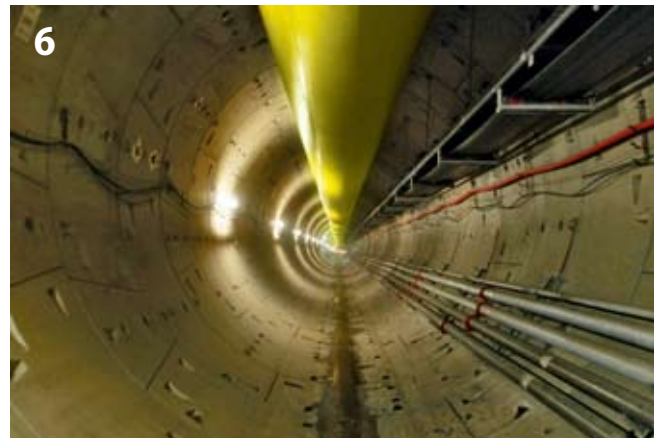
7 Baufortschritt

Die Maschinen wurden im Herrenknecht-Werk in Deutschland montiert, wo die Hauptkomponenten getestet und anschließend nach Prag transportiert wurden. Der Vortrieb wurde Mitte April 2011 (S-609) und Mitte Juli 2011 (S-610) gestartet. Die Baustellenmannschaften haben mit den beiden Maschinen Vortriebswerte von insgesamt 1.500 m (S-609) und 1.150 m (S-610) erreicht mit Wochenbestleistungen von bis zu 162 m (S-609) (Bild 6). Nach


dem Abschluss des Vortriebs der beiden eingleisigen Tunnel zum Ende des Jahres 2012 werden die beiden Maschinen rückwärts aus dem Tunnel geborgen.

8 Schlussfolgerungen

Der Fortschritt der beiden Maschinen bis Ende 2011 belegt das große Potenzial der Maschinenteknik für den weiteren Ausbau der Metro Prag. Für die neue Linie D, die in Planung ist, werden die Erfahrungen beim Ausbau der U-Bahn-Linie A von großer Bedeutung sein und werden Einsparungen im Finanz- und Zeitplan ermöglichen. 




Ausgebauter Tunnel für die Erweiterung der U-Bahn-Linie A in Prag
Lined tunnel of Prague's Metro Line A Extension

TBM technology for the future development of Prague Metro. For the new Line D, which is in planning stages, the experience gained during construction of Metro A Line Extension is important and could bring savings in terms of cost and time. 

PENELL GmbH
Bahnhofstrasse 32
D-64372 Ober-Ramstadt
 +49.(0)6154.6251-0
Fax +49.(0)6154.51269
E-Mail info@penell-gmbh.de



SYNCHRO PLUS Ges.m.b.H.
Oberallach 2
A-9852 Trebesing (K)
 +43.(0)664.2008440
Fax +43.(0)4732.37044
E-Mail info@synchro-plus.eu

Wir sind IHR PARTNER in Fragen der Elektroversorgung.

Lösungsvorschläge - nach Ihrer Aufgabenstellung - Planung, Beratung sowie der Verkauf von

- Kabelsystemen & Konfektionierung
- Schaltanlagen
- Erdungsanlagen
- Beleuchtungsanlagen
- Klima- und Haustechnik
- z. B.: - Telefon- und Rufanlagen
- Antennenanlagen
- Elektronikbauteilen

gehören zu unserem Liefer- und Leistungsprogramm.

Wir haben umfangreiche Erfahrungen auf dem Gebiet der Elektroprojektierung, z.B. in den folgenden Bereichen:

- Tunnel-, Hoch- und Tiefbau
- NS- und MS-Schaltanlagen bis 42 kV
- Aggregate und Notbeleuchtung
- Industrieanlagen, Überwachungsanlagen
- Schulen, Freizeit- und Sportstätten
- Krankenhäuser

Gerne unterbreiten wir Ihnen ein unverbindliches Angebot und stellen unsere Leistungsfähigkeit unter Beweis.

Nutzen Sie unseren 24h-Lieferservice. Ein Notdienst ist auch an Sonn- und Feiertagen für Sie bereit.

SYNCHRO PLUS GmbH
Montageplatz
D-03130 Haidemühl
 (035751) 15345
Fax (035751) 15346
E-Mail synchro.plus@t-online.de
Internet www.synchroplus.de

Unsere Monteure sind sofort vor Ort einsetzbar mittels eigener Meß-, Vulkanisations- und Spulwagen.
Unsere Monteure sind spezialisiert und qualifiziert in den Bereichen Niederspannung, Mittel- und Hochspannung und LWL.
Genauere Informationen über uns und unser Leistungsspektrum finden Sie auf unserer Internetseite.

Unser Bereitschaftsdienst steht Ihnen auch an Sonn- und Feiertagen zu Ihrer Verfügung.



Energietechnik & Montagen

- von 1 kV bis 330 kV
- Kabel · Leitungen · Fernmelde · LWL
- Muffen · Endverschlüsse · Verlegung
- Vulkanisation · Mantelreparaturen
- Steckermontagen · Cadweld-Muffen
- Prüfungen · Fehlerortungen