

Schrägschachtvortrieb in St. Petersburg

In St. Petersburg verlaufen die U-Bahn-Tunnel in großer Tiefe. Eine Reihe von U-Bahn-Stationen können bisher nicht genutzt werden, da der Bau der Rolltreppenzugänge in der anspruchsvollen Geologie im konventionellen Vortrieb bisher nicht fertig gestellt werden konnte. Ein neuentwickeltes Vortriebssystem von Herrenknecht hat bereits für 2 Stationen erfolgreich Schächte großen Durchmessers bei einer Neigung von 30° aufgeföhren.

1 Einleitung

1.1 U-Bahn St. Petersburg

St. Petersburg wurde 1703 von Zar Peter dem Großen gegründet, um Russland den strategisch wichtigen Zugang zur Ostsee zu sichern. Dass die Stadt damals im sumpfigen Mündungsdelta der Neva gebaut wurde, bereitet heute den Tiefbau-Ingenieuren erhebliche Probleme. Die Instabilität des geologisch jungen Untergrundes zwingt die U-Bahn-Bauer, ihre Tunnel in

Dipl.-Ing. Joachim Gaus, Herrenknecht AG, Schwanau/D
www.herrenknecht.com

den tiefliegenden geologisch älteren, festen Tonsteinuntergrund zu planen. Bei Tiefen von bis zu rd. 100 m werden die meisten St. Petersburger U-Bahn-Stationen durch lange Rolltreppen mit der Oberfläche verbunden (Bild 1). Einige Stationen werden zwar täglich von den Zügen durchfahren, sind aber als Haltestellen nicht in Betrieb – die Stationen sind

Inclined-shaft Tunnelling in St. Petersburg

The metro tunnels in St. Petersburg are running very deep. Several of the stations on the system had not been taken into service, because construction of the escalator accesses in the challenging geology had hitherto proved impossible using conventional tunnelling methods. A tunnel boring system, newly developed by Herrenknecht, has now driven large-diameter shafts at a 30° inclination to create access for 2 stations.

1.2 The challenge of constructing the access shafts

The commonly employed procedure is to temporarily freeze the subsoil, thereby solidifying it and making it water impermeable, to enable a shaft to be driven using conventional tunnelling methods. However, the freezing can result in uplift and then to settlement when the ground thaws out. Particularly in the urban area of St. Petersburg, with its rich architectural heritage, such risks militate against the use of the freezing method.

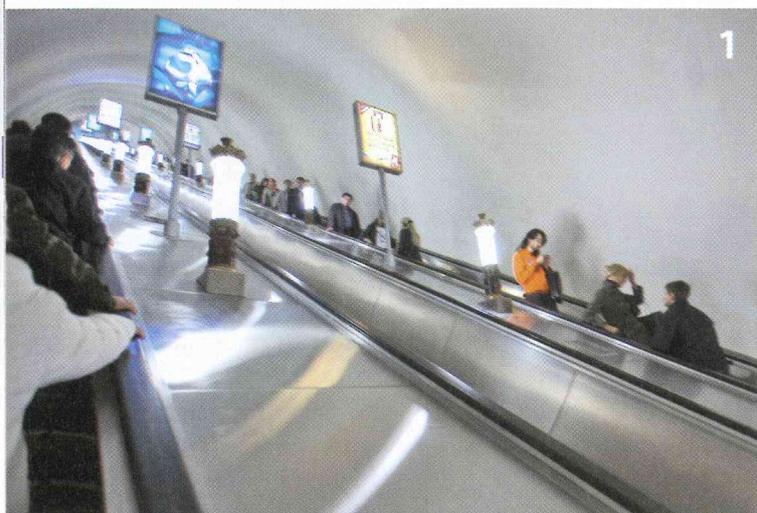
1.3 Mechanized tunnelling requirements

Mechanized tunnelling allows the settlement risk to be better controlled than when conventional methods and freezing are used. At the same time, the construction of a shaft inclined at 30° and with a length of only around 100 m places special requirements on mechanized tunnelling. New solutions needed to be found for the material logistics, the back-up system in an extremely short tunnelling length and, above all, securing

1 Introduction

1.1 The St. Petersburg metro

St. Petersburg was established by Czar Peter the Great in 1703 to secure strategically important access to the Baltic Sea for Russia. The city was built on the swampy ground of the Neva Delta – a fact that posed serious headaches for today's civil engineers. The instability of the geologically young subsoil forced the metro tunnel constructors to plan their tunnels in the lower, geologically older, hard clay subsoil. At depths of as much as around 100 m, most St. Petersburg metro stations are connected to the surface by long escalators (Fig. 1). Some stations, however, are still passed by the trains without stopping, since they have no connection to the surface, so were inaccessible to passengers. To create access to these stations and enable their use, the search was on for a method to overcome the tough obstacles.



Bis zu rd. 100 m tief liegen die St. Petersburger U-Bahn-Stationen
The St. Petersburg Metro stations are located at depths of down to approx. 100 m

nicht mit der Erdoberfläche verbunden. Um zu diesen Stationen einen Zugang zu schaffen und sie überhaupt nutzbar zu machen, wurde ein Verfahren gesucht, mit dem die Herausforderungen bewältigt werden können.

1.2 Herausforderung beim Bau der Zugangsschächte

Beim hier sonst üblichen Verfahren wird der Baugrund temporär vereist und so verfestigt und wasserundurchlässig, dass der Schacht konventionell ausgebrochen werden kann. Durch das Vereisen kann es zu Hebungen kommen und beim späteren Auftauen zu Setzungen. Besonders im Stadtgebiet St. Petersburgs mit seinem reichen historischen Bestand sprechen diese Risiken gegen den Einsatz des Vereisungsverfahrens.

1.3 Anforderungen an die Maschinenteknik

Im maschinellen Vortrieb kann das Setzungsrisiko besser kontrolliert werden als beim Einsatz konventioneller Methoden und der Vereisung. Gleichzeitig stellt der Bau eines um 30° geneigten Schachtes mit einer Länge von



Der EPB-Schild S-441 (10,69 m Durchmesser) für den Schrägschachtvortrieb in St. Petersburg

The EPB shield S-441 (10.69 m diameter) for the inclined shaft drive in St. Petersburg

nur rd. 100 m besondere Anforderungen an den maschinellen Vortrieb. Für die Materiallogistik, das Nachläufersystem auf einer extrem kurzen Vortriebslänge sowie vor allem die Absicherung der Maschine gegen ein unkontrolliertes Abtauchen

the machine against uncontrolled sinking. A machine diameter of 10.7 m was determined, to allow for the size of the shaft required to accommodate 3 parallel escalators. The intention was to be able to recover the major components of the boring sys-

tem from the blind shaft at the end of tunnelling, for reuse in other projects.

Herrenknecht was commissioned by the Russian construction company, OAO Metrostroy, to develop a machine concept for construction of an access

St. Petersburg Escalator Tunnel, U-Bahn-Stationen Obvodny Canal und Admiralteyskaya		
Ort		St. Petersburg, Russland
Nutzung		Rolltreppenschacht für Zugang U-Bahn-Station
Kunde		OAO Metrostroy
Vortriebslänge	[m]	105/116
Ringteilung		7+1
Tübbinglänge	[mm]	1.000
Tübbinginnendurchmesser	[mm]	9.400
Tübbingaußendurchmesser	[mm]	10.400
Maschinentyp		EPB-Schild
Schilddurchmesser	[mm]	10.690
Schneidradleistung	[kW]	1.200
Vortriebskraft	[kN]	54.428
Nennmoment	[kNm]	8.638

St. Petersburg Metro Tunnel, Obvodny Canal and Admiralteyskaya Metro Stations		
Location		St. Petersburg, Russia
Use		Escalator shaft for accessing Metro station
Client		OAO Metrostroy
Driven length	[m]	105/116
Ring distribution		7+1
Segment length	[mm]	1.000
Segment internal diameter	[mm]	9.400
Segment external diameter	[mm]	10.400
Machine type		EPB shield
Shield diameter	[mm]	10.690
Cutting wheel output	[kW]	1.200
Thrusting force	[kN]	54.428
Rated torque	[kNm]	8.638



Die Lösung für den Materialtransport bei 30° Neigung: ein System mit 2 Winden und gleisgebundenen Wägen
The solution for transporting material given a 30° incline: a system with 2 winches and trackbound cars

müssen neue Lösungen gefunden werden. Der umzusetzende Maschinendurchmesser von 10,7 m leitet sich ab aus dem geforderten Schachtdurchmesser, der 3 parallele Rolltreppen aufnehmen soll. Die Hauptkomponenten der Bohranlage sollen zum Ende des Vortriebs aus dem Blindschacht geborgen werden können, um sie bei weiteren Projekten wieder einzusetzen.

Herrenknecht erhielt den Auftrag durch das russische Bauunternehmen OAO Metrostroy, für den Bau eines Zugangsschachtes an der Station Obvodny Canal ein entsprechendes Maschinenkonzept zu entwickeln sowie die Vortriebsmaschine zu konstruieren und zu liefern. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die Umsetzung des Projektes Obvodny Canal, sie gelten gleichermaßen für das Folgeprojekt Admiralteyskaya, das nach dem Erfolg des ersten Vortriebs beauftragt wurde.

2 Umsetzung in der Konstruktion

Auf der Grundlage der bekannten geologischen Parameter und nach Abstimmung mit dem Kunden entwickelte Herrenknecht den EPB-Schild S-441, der einschließlich der notwendigen Baustellenkomponenten auf die beschriebenen Projektgegebenheiten ausgelegt war (Tabelle, Bild 2).

2.1 Materiallogistik

Für den Materialtransport im Tunnel können bei einer Neigung von 30° weder Pneufahrzeuge noch Züge oder Förderbänder eingesetzt werden. Auch Sandwich-Förderbänder, die beim Einsatz in kohäsiivem Ton zu Verklebungen neigen, oder eine Zahnradbahn schieben aus, da die Neigung den Einsatzbereich übersteigt. Als Lösung für den Transport von Abraummateriale und Tunnelsegmenten wurde ein System gewählt, das mit 2 Winden und gleisgebundenen Wägen

3

which tend to clog when used in cohesive clay, and a rack railway were also out of the question, since the gradient was too steep for these systems as well. The selected solution for transporting spoil and tunnel segments was a system operating with 2 winches and rail-borne cars, carrying spoil buckets (Fig. 3).

In addition to service and emergency brakes on the winch, local regulations required safeguarding against rope breakage on the winched cars. It was important that the braking impulse of the winched car should not be transmitted to the rail tracks and from there to the tunnel lining. The rope linkage to the winched car was therefore designed as a double rope, in order to comply with the required safeguarding against rope breakage. Furthermore, a slackline guard controlled synchronous running of the winch with the winched car.

It was essential for the EPB Shield's screw conveyor to perform adequately at an angle of 50°. Test runs before use on the construction site demonstrated that, while the conveyor performance declined as the gradient increased, satisfactory performance was still achieved at the required angle of inclination.

2.2 Back-up

The overall length of the tunnelling system had to be kept very short for the comparatively short bore in the Obvodny Canal project of just 97 m. A single 21 m backup was provided and the overall length of the entire tunnelling machine (shield and backup) was just 32 m. Construction of the back-up in the start-up shaft was restricted by the winch house in rear of the tunnel and therefore required installation of the back-up in 2

shaft at the Obvodny Canal station and to design, construct and delivery a tunnelling machine to carry out the work. The following remarks relate to the implementation of the Obvodny Canal project, but also apply to the Admiralteyskaya follow-on project, which was commissioned after the successful completion of the first tunnel.

2 Implementation in machine design

On the basis of the known geological parameters and in consultation with the customer, Herrenknecht developed the S-441 EPB Shield, which was designed, including the necessary site components, in line with the prescribed project characteristics (Table, Fig. 2).

2.1 Material logistics

With an inclination of 30°, neither rubber-tired vehicles nor trains nor conveyor belts could be used to transport material in the tunnel. Sandwich conveyors,

und Abraumkübeln operiert (Bild 3).

Die örtlichen Vorschriften erforderten neben einer Betriebs- und Notfallbremse an der Winde auch eine Sicherung gegen Seilbruch am Windenwagen. Der Bremsimpuls des Windenwagens sollte nicht auf den Schachtschienenstrang und von dort in den Ausbau übertragen werden. Die Seilverbindung zum Windenwagen wurde daher als Doppelseil ausgeführt um die geforderte Sicherheit gegen Seilbruch zu erfüllen. Des Weiteren kontrolliert eine Schlaffseilsicherung den Synchronlauf der Winde mit dem Windenwagen.

Eine ausreichende Leistung der Förderschnecke des EPB-Schildes musste auch in einem Winkel von 50° gewährleistet sein. Testläufe vor dem Baustelleneinsatz belegten, dass der Rückgang der Förderleistung bei der Erhöhung der Neigung zufriedenstellend und ausreichend war.

2.2 Nachläufer

Die Gesamtlänge der Vortriebsanlage musste für die vergleichsweise kurze Tunnelstrecke im Projekt Obvodny Canal von 97 m sehr kurz gehalten werden. Es wurde ein einziger Nachläufer mit nur 21 m Länge vorgesehen. Die gesamte Anlage (Schild und Nachläufer) ist 32 m lang. Die Nachläufer-Anfahrkonstruktion im Anfahrtschacht wurde durch das nach hinten anschließende Windenhaus begrenzt und erforderte eine Montage des Nachläufers in 2 Schritten. Die Transformatoren zur Energieversorgung der Maschinenhydraulik wurden aus Platzgründen nicht auf dem Nachläufer installiert, sondern an der Oberfläche aufgestellt.

2.3 Stabilisierung der Tunnelbohrmaschine

Die sehr weiche, zu durchörternde Geologie über der festen Tonsteinschicht besteht aus glazifluvialen und fluvialen Ablagerungen mit teilweise hohem Wassergehalt und geben dem Gewicht der Tunnelbohrmaschine nur wenig Widerstand: Sand, Schluff und Tonschichten, die erst mit zunehmender Tiefe an Festigkeit gewinnen. Grundsätzlich liegt der Schwerpunkt einer Vortriebsmaschine nahe den schwersten Bauteilen, dem Schneidrad und dem Schneidradantrieb. Wird die Maschine von der horizontalen Montage nach vorne gekippt, verläuft seine Schwerpunkts-Resultierende nicht mehr durch den Schild, der beim „normalen“ horizontalen Einsatz das Eigengewicht der Maschine über Bettung an das umgebende Erdreich überträgt. Die Resultierende wandert beim Kippen der Maschine in die Schneidradenebene. Die Maschine würde sich also durch ihr Eigengewicht unkontrolliert immer weiter nach unten in Richtung Erdmittelpunkt graben.

Um die notwendige Stabilisierung des Schildes und der gesamten Vortriebsmaschine zu erreichen entwickelten die Herrenknecht-Ingenieure ein System aus am Schild befestigten Stahlstützen. Sie leiten eine Zugkraft in die obere Hälfte des Schildes ein und setzen der Schildabtrieb ein Drehmoment entgegen. Die Stahlstützen verlaufen durch den Schacht nach oben und werden an Hohlkolbenzylindern an einer Rücksteife an der Erdoberfläche verankert. Diese Hohlkolbenzylinder ermöglichen parallel zum Vortrieb eine kraftgesteuerte Verlängerung der Stahlstützen (Bild 4).

stages. For space reasons, the transformers to supply energy to the machine hydraulics were not installed on the back-up, but erected on the surface.

2.3 Stabilization of the tunnelling machine

The very soft geology to be penetrated above the solid clayey soil layer comprised glacio-fluvial and fluvial deposits, in some cases with a high water content, providing very little resistance to the weight of the tunnelling machine: sand, silt and clay strata, which gained strength only with increasing depth. The center of gravity of a tunnelling machine is essentially located near the heaviest components – the cutting wheel and the cutting wheel drive. If the

machine is tilted forward out of the horizontal, its net force no longer runs through the shield, which in “normal” horizontal use, transmits the inherent weight of the machine through the bedding to the surrounding ground. Instead, as the machine is tilted, the net force shifts to the cutting wheel plane. The inherent weight of the TBM would therefore produce a tendency for the machine to bury itself in an uncontrolled manner in the direction of the center of the earth.

To achieve the necessary stabilization of the shield and the entire tunnelling machine, Herrenknecht engineers developed a system using steel ropes secured to the shield. These introduce a tension into



Tunneltore von Elkuch Bator.

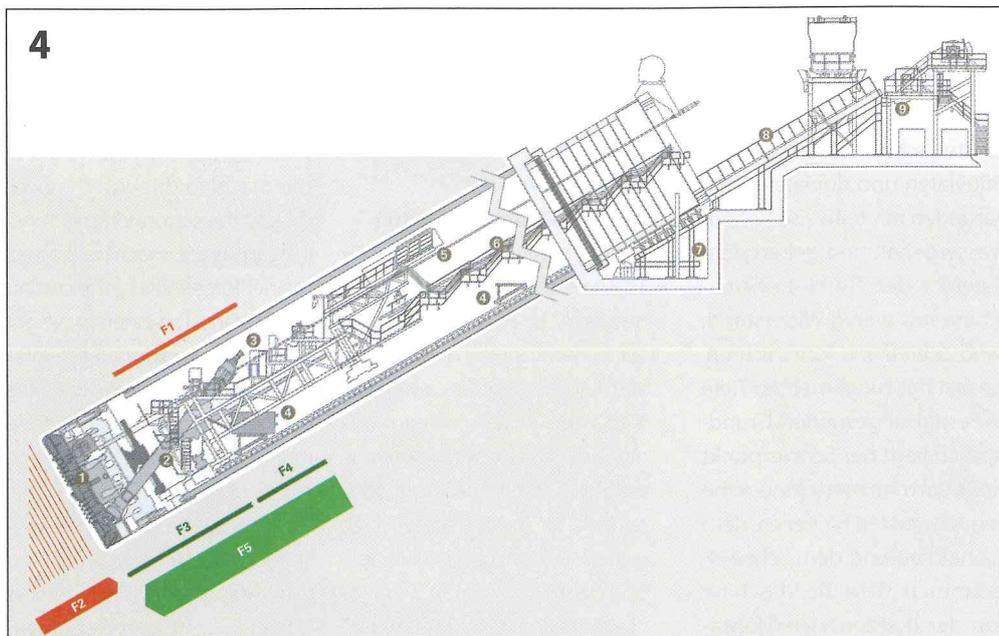
Für höchste Anforderungen. Strengstens erprobt. Zum Beispiel am Lötschberg und Gotthard Basistunnel.

Zur Sicherheit!



ELKUCH BATOR

Elkuch Bator | Herzogenbuchsee | www.elkuch.com | T +41 62 956 20 50



Schematische Darstellung der System- und Maschinenkomponenten sowie der wirkenden Kräfte: F1 Zugseile, F2 Wasser- und Erddruck, F3 TBM, F4 Nachläufer, F5 Vortriebspresen, 1 Schneidrad, 2 Förderschnecke, 3 Steuerstand, 4 Windenwagen, 5 Zugseile, 6 Treppenelemente, 7 Kippbare Schildwiege, 8 Anfahrkonstruktion für Nachläufer, 9 Windenplattform

Schematic presentation of the system and machine components as well as the active forces: F1 pulling cable, F2 water and earth pressure, F3 TBM, F4 back-up system, F5 thrusting jacks, 1 cutting wheel, 2 screw conveyor, 3 control stand, 4 winch car, 5 pulling cable, 6 escalator elements, 7 tilting shield cradle, 8 starting-up structure for back-up system, 9 winch platform

2.4 Bergung der Schildmaschine

Die Planung sah vor, dass der maschinelle Vortrieb beim Erreichen der erforderlichen Tiefe in einer Kaverne endet. Alle Nachläufer- und Maschinenkomponenten sollten so ausgelegt sein, dass sie im Schacht abgebaut und mit den Winden zum Tunnelportal geborgen werden können. Geplant war, den Schildmantel als Teil des Tunnelausbaus im Schacht zu belassen. Der Schild wurde in 4 Außensegmente und 4 demontierbare Innensegmente unterteilt. Hierdurch reduzierte sich der Aufwand der Neufertigung des Schildmantels für jeden weiteren Schacht.

2.5 Tübbingausbau

Der Tübbingausbau, bestehend aus 7 Normalsteinen und einem Schlussstein, mit einer Segmentlänge von nur 1.000 mm aber einer Dicke von 500 mm wurde an

die speziellen Anforderungen des Projekts angepasst. Die Herstellung erfolgte in einer bestehenden Tübbingfabrik in St. Petersburg in Schalungen, die von Herrenknecht Formwork produziert wurden. Das Ringdesign berücksichtigt die auftretende Hangabtriebskraft der Tunnelröhre bei nicht vollständig ausgebildetem Verbund des Ausbaus mit dem umgebenden Gestein. Es wurden zusätzliche Verschraubungen in der Ringfuge eingefügt.

3 Baustellenablauf

3.1 Montage: Kippen der TBM und Verschieben in die Anfahrdichtung

Die Schildmaschine wurde in der horizontalen Lage montiert und erst nach ihrer Fertigstellung wurde das Gewicht von 650 t um ein Drehgelenk an der Schildwiege auf 30° gekippt. Zwei Zylinder hoben die Schildwiege bis kurz vor den

the upper half of the shield and apply torque to counteract the shield drift. The steel ropes run upwards through the shaft and are anchored in tubular piston cylinders on a reaction frame on the surface. The tubular piston cylinders allow controlled powered extension of the steel ropes, synchronized with the tunnelling advance (Fig. 4).

2.4 Recovery of the shield machine

The plan allowed for the mechanized tunnelling to end in a cavern, once the required depth had been reached. All back-up and machine components were to be designed in such a way as to allow them to be disassembled in the shaft and winched out to the tunnel portal. It was planned to leave the shield skin in the shaft as part of the tunnel cladding. The shield was subdivided into 4 outer segments and 4 removable inner segments. This

reduced the cost and effort of new production of the shield skin for each additional shaft.

2.5 Segment installation

The segment rings, each comprising seven standard segments with a key segment, at a segment length of just 1,000 mm, but a thickness of 500 mm, were adapted to the specific requirements of the project. The segments were cast in an existing segment production plant in St. Petersburg, using moulds supplied by Herrenknecht Formwork. The ring design took account of the force acting down the inclined plane of the tunnel bores, allowing for incomplete bonding between the tunnel segments and the surrounding rock. Additional bolted joints were inserted in the ring joints.

3 Construction site sequence

3.1 Installation: tilting of the TBM and shifting to the start-up sealing

The tunnelling shield was installed in a horizontal position and, once completed, the weight of 650 t was tilted to 30°, using a swivel joint on the shield cradle. Two cylinders lifted the shield cradle to just before the tipping point and 2 additional cylinders supported the force of the machine acting down the inclined plane against the shaft wall. A steel structure was then used to secure the shield cradle in its final position (Fig. 5).

3.2 Logistics

To ensure a tunnelling with minimal settlement, it was necessary for tunnelling and ring construction to proceed as smoothly as possible without holdups and interruptions. This, in turn, required smooth operation of the

Kippunkt und 2 weitere Zylinder stützten die Hangabtriebskraft der Maschine gegen die Schachtwand ab. Anschließend wurde die Schildwiege mit einer Stahlkonstruktion in ihrer endgültigen Lage fixiert (Bild 5).

3.2 Logistik

Um einen setzungsminimierten Vortrieb zu gewährleisten, musste sichergestellt werden, dass Vortrieb und Ringbau möglichst ohne Stockungen und Unterbrechungen vorstattengehen. Hierfür ist wiederum Voraussetzung, dass die Abraumlogistik störungsfrei abläuft. Um die von den Winden gezogenen Abraumkübel im Pendelbetrieb beladen zu können, wurde die Schnecke so ausgelegt, dass sie über den zu beladenden Kübel geschwenkt werden konnte.

3.3 Oberflächennaher Start der TBM

Bereits auf den ersten Metern Vortrieb im Dichtblock wurde die Abbaukammer möglichst hoch mit abgebautem Material des Injektionsblocks gefüllt, um eine der Hangabtriebskraft entgegengesetzte Stützdruckkraft auf die TBM zu aktivieren. Sobald nach den ersten gebauten Tübbingringen genügend Erd- druck auf die Maschine einwirkte, war die Schildmaschine auch ohne die bei den ersten Metern der Anfahrt benutzten Zylinder steuer- und kontrollierbar. Die Stahlritzen, die dem Absinken der Schildmaschine entgegenwirkten, wurden sowohl am ersten Schacht (Obvodny Canal) als auch am zweiten Schacht (Admiralteyskaya) erfolgreich in der ersten Hälfte des Vortriebs als Rückhaltesystem verwendet. In der zweiten



Anfahrsituation beim Schrägschachtvortrieb
Starting-up situation for the inclined shaft drive

Hälfte des Vortriebs wurden die Spannseile nur noch mit wenig Zugkraft mitgezogen. Da der Stützdruck in der Abbaukammer mit der Tiefe der Maschine ansteigt, kann zur Steuerung der Maschine genügend Vortriebspresenkraft aktiviert werden und die Spannritzen werden nicht mehr zur Kontrolle der Maschine benötigt.

3.4 Vortrieb

Beim ersten Vortrieb Obvodny Canal steuerten die Maschinenfahrer der OAO Metrostroy die Schrägschachtmaschine über eine Strecke von 97 m hinunter zur 65 m tief gelegenen Metrostation. Die Maschinenmontage von 2,5 Monaten nahm im Vergleich mit der eigentlichen Vortriebszeit einen großen Part des Projekts ein. Für die Anfahrprozedur bis zum ersten verbleibenden Bauwerksring mit der Verlängerung des Nachläufers wurden zusätzliche 3 Wochen benötigt. Die durchschnittliche Tunnelproduktion lag nach dem Vortriebsstart (Oktober 2009) bei 1,5 Ringen (bei 1,0 m Ringlänge) mit einem maximalen Wert von 4 Ringen pro Tag (Bild 6). Bereits am 25.

spoil logistics. To be able to load the winched spoil buckets in a shuttle operation, the screw conveyor was designed to enable it to swing over the buckets being loaded.

3.3 Near-surface start of the TBM

Right from the first meters of advance in the sealing block, the excavation chamber was filled as high as possible with spoil from the injection block in order to activate face support pressure on the TBM, in opposition to the force acting down the inclined plane. Once there was sufficient pressure applied

to the machine, after the first segment rings had been installed, the tunnelling shield was steerable and controllable even without the cylinders used for the first meters of the start-up. The steel ropes, used to prevent the sinking of the tunnelling shield, were successfully used as a restraining system in the first shaft (Obvodny Canal) and in the second shaft (Admiralteyskaya) during the first half of tunnelling. In the second half of the advance, the restraining ropes had only little tension applied. Since the face support pressure in the excavation chamber increases with the depth of the machine, sufficient advancing thrust force can be activated to control the machine, so that the tensioning ropes were no longer required to stabilize the machine.

3.4 Tunnelling advance

In the first shaft – for the Obvodny Canal – the OAO Metrostroy machine operators drove the inclined shaft machine for 97 m down to the 65 m deep metro station. In comparison with the actual tunnelling time, the machine installation time of 2.5 months took up a considerable part of the project. A further 3 weeks were required for the

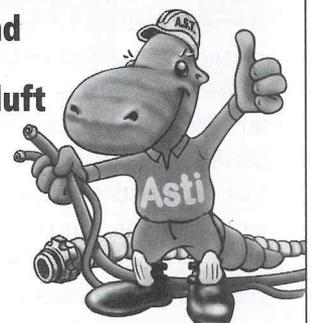
A.S.T. Bochum

Armaturen- Schlauch- und Tunneltechnik

Armaturen- Schlauch- und Tunneltechnik für Beton, Wasser und Pressluft

A.S.T. Bochum GmbH
Kolkmannskamp 8
D-44879 Bochum

fon: 00 49 (0) 2 34/5 99 63 10
fax: 00 49 (0) 2 34/5 99 63 20
e-mail: info@astbochum.de



Dezember 2009 wurde der letzte Tübbingring gesetzt und der Vortrieb abgeschlossen. Ein Jahr später, im Dezember 2010 wurde die Station feierlich eröffnet.

Im Sommer 2011 wurde die Anlage nach der Sanierung unweit des westlichen Endes der St. Petersburger Pracht- und Einkaufsmeile Newski Prospekt wieder aufgebaut. Dort wartet schon einige Jahre die Metrostation Admiralteyskaja auf ihre Inbetriebnahme. Der Ersatzschildmantel war zu diesem Zeitpunkt bereits von Herrenknecht geliefert worden.

Der zweite Schrägschacht für die Station Admiralteyskaja wurde mit einer Länge von 116 Ringen von Dezember 2010 bis April 2011 realisiert, wobei ein Durchschnittswert von 1,3 Ringen/Tag erreicht wurde (Bild 7).

4 Setzungen

Bereits im Vorfeld wurden aufwändige Untersuchungen zum Setzungsverhalten des Untergrunds durchgeführt. Ein setzungsarmer Vortrieb war das entscheidende Hauptargument für den Einsatz des maschinellen Vortriebs. Beim Vortriebsstart beträgt die Distanz der Maschinenoberkante zur Oberfläche nur 1,0 m. Das Erdreich vor dem Startschacht war im Vorfeld durch Injektionsarbeiten zu einem Dichtblock verfestigt worden. Bei einem Winkel von 30° gewinnt die Tunnelbohrmaschine bei jedem Meter Vortrieb einen 0,5 m an Tiefe. Die Länge des Dichtblocks beim ersten Schachtvortrieb am Obvodny Canal war auf eine Länge von 10 m durch die Größe des Baufelds beschränkt. Daran schloss direkt eine vierspurige Hauptverkehrsstraße



Tübbingausbau: Ringteilung, 7+1, Länge 1.000 mm, Dicke 500 mm

Segmental lining: ring distribution 7+1, length 1,000 mm, thickness 500 mm

mit einer mittig verlaufenden Straßenbahntrasse, die es quer zu unterfahren galt. Die Startphase der Schrägschachtmaschine stellte hinsichtlich der Setzungskontrolle die größte Herausforderung dar. Mit fortschreitendem Vortrieb und der wachsenden Überlagerung über der Tunnelfirste wurden Oberflächensetzungen besser beherrschbar.

5 Demontage im Schacht

Die Demontage wurde wie geplant im Blindschacht durchgeführt. Da die Maschine in eine bestehende Kaverne gleich neben der Metrostation einfuhr, war die Schneidrad demontage im Schutz dieser Kaverne und mit Hilfe einer Winde am Kaverndach problemlos.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In Zusammenarbeit mit dem Kunden OAO Metrostroy entwickelte Herrenknecht ein Vor-

start-up procedure to the first remaining structural ring with the extension of the back-up. Average tunnelling production after the start of the advance (October 2009) was 1.5 rings daily (at a ring length of 1 m) with a maximum of 4 rings daily (Fig. 6). The final segment ring was installed and the tunnelling completed on 25 December 2009, with the station opened in an official ceremony 1 year later in December 2010.

In the summer of 2011, following refurbishment and delivery of a replacement shield skin by Herrenknecht, the installation was erected again not far from the western end of Nevsky Prospekt, the prestigious St. Petersburg boulevard and shopping area, ready to start work on a further metro station, Admiralteyskaya, which had been waiting for some years to be commissioned.

The second inclined shaft for the Admiralteyskaya station – with a length of 116 rings – was constructed between December

2010 and April 2011, at an average tunnelling rate of 1.3 rings daily (Fig. 7).

4 Settlement

Well ahead of commencement of tunnelling works, extensive investigation was carried out into the settlement behavior of the subsoil. Low-settlement tunnelling was the key argument in favour of employing mechanized tunnelling. At the commencement of tunnelling, the distance between the top edge of the machine and the earth surface was just 1 m. Before the TBM started its advance, the ground in front of the start-up shaft was solidified into a sealing block by injection work. At an inclination of 30°, the tunnel boring machine descends 0.5 m for each meter of advance. The length of the sealing block in the first shaft advance at Obvodny Canal was restricted by the size of the site to a length of 10 m. The site was immediately adjacent to a four-lane main traffic route with a

triebssystem, das erfolgreich erstmals einen Schacht mit einem Innendurchmesser von 9,4 m bei einer Neigung von 30° gemeistert hat. Der Rolltreppenschacht zur Erschließung der bislang „schlafenden“ U-Bahn-Station Obvodny Canal wurde schnell und sicher im Spätjahr 2009 aufgeföhren. Ein zweiter Einsatz des Herrenknecht-EPB-Schildes S-441 schloss sich von Dezember 2010 bis April 2011 an und ein dritter Einsatz wird im Dezember 2011 an der Station Spasskaya folgen.

Sowohl die eingesetzte Maschinenteknik (Schildmaschine mit Nachläufer, Anfahrkonstruktion, Steuer- und

Stützsystem mit Zylindern und Litzen) als auch die ebenfalls gelieferten Komponenten zum Betrieb der Baustelle (Tübbing-Schalungen, Kran) haben sich im Einsatz bewöhrt. Wöhrend die maschinelle Herstellung von Schrägschächten im Hartgestein, beispielsweise zur Nutzung als Druckwasserstollen, vielfach und erfolgreich durchgeführt wurde, ist mit der Konzeption einer Anlage für Schächte im Lockergestein unter Grundwasser komplettes Neuland betreten worden. Bei entsprechenden geologischen Gegebenheiten bietet sich der Einsatz des Systems zum Beispiel auch für Zugangsschächte zu Minen an. 



Der Bau des zweiten Rolltreppenschachtes für die Station Admiralteyskaya wurde im April 2011 erfolgreich abgeschlossen

Construction of the second escalator shaft for the Admiralteyskaya Station was successfully completed in April 2011

street car line running along the center, which had to be crossed. In terms of settlement control, the start-up phase of the inclined shaft machine posed the biggest challenge. With proceeding advance and increasing overlap over the tunnel crown, surface settlement became easier to control.

5 Disassembly in the shaft

As planned, the machine was disassembled in the blind shaft. Since the machine advanced into an existing cavern next to the metro station, there were no problems in disassembling the cutting wheel with the aid of a winch in the shelter of this cavern.

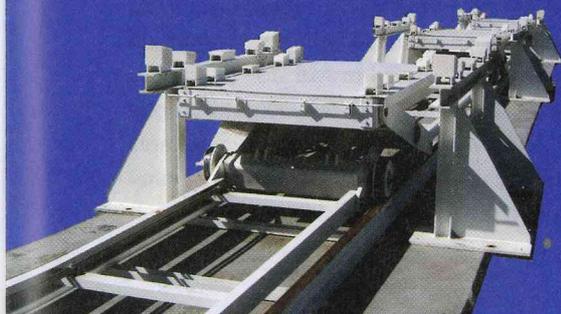
6 Summary and perspectives

In collaboration with the customer, OAO Metrostroy, Herrenknecht developed a tunnelling system that, for the first time, successfully mastered a shaft with an internal diameter of 9,400 mm at an inclination of 30°. The escalator shaft to access the hitherto dormant Obvodny Canal metro station was quickly and safely produced in late 2009. A second use of the Herrenknecht S-441 EPB shield followed from December

2010 to April 2011, and a third use is planned at the Spasskaya station in December 2011.

Both the mechanized tunnelling technology used (tunnelling shield with back-up, start-up construction, control and support systems with cylinders and ropes) and the supplied components for operation of the construction site (segment formwork, crane) proved their capabilities in use. While mechanized production of inclined shafts has been successfully carried out many times in hard rock – for example in producing pressure shafts – the design of a tunnelling system for shafts in loose rock below groundwater level broke new ground. In corresponding geological situations, the system could also be used, for example, to drive access shafts to mines. 

GROSSES BEWEGEN!



Maschinen
Stahlbau



Dresden
Niederlassung der Herrenknecht AG

www.msd-dresden.de | info@msd-dresden.de

