

Sinking of two Shafts on a Potash Deposit in Belarus with the most recent Shaft Boring Roadheaders: Conceptual Design and First Practical Experiences

The Republic of Belarus has a history of some 60 years of intensive mining for potash, which has always been exclusively executed by the government-owned company Belaruskali. Six working mines exist up to now. However, in 2016, the private-owned company Slavkaliy commenced the construction of a new mine, named Nezhinskiy Mine, located nearby the city of Soligorsk. The

planning of this green field project from 2011 primarily intended the sinking of two freeze shafts using conventional drilling and blasting. Then, in 2016, Slavkaliy decided to conduct the sinking with a new type sinking technology: mechanical advance of the solid with machines designed by Herrenknecht AG, Schwanau/ Germany.

Konzeption und erste Erfahrungen beim Abteufen von zwei Kali-Schächten in Weißrussland mit neuartigen Schachtbohrmaschinen: Konzeption und erste praktische Erfahrungen

In Weißrussland wird seit ca. 60 Jahren intensiv Kalibergbau betrieben, der bisher vom staatlichen Unternehmen Belaruskali in sechs Bergwerken durchgeführt wird. Seit 2011 wird das privat finanzierte Bergwerk Nezhinskiy in der Lagerstätte bei Soligorsk geplant und 2016 wurde mit dem Bau dieses Bergwerks auf der „grünen Wiese“ begonnen. Die Planung aus dem Jahr 2011 sah

zunächst das Abteufen von zwei Schächten im Gefrierverfahren und mit Anwendung von Bohr- und Sprengarbeit vor. Im Jahr 2016 wurde vom zukünftigen Betreiber Slavkaliy entschieden, eine neue Technologie für das Abteufen anzuwenden, das mechanisierte Schachtbohren aus dem Vollen mit Maschinen der Herrenknecht AG, Schwanau.

1 Introduction

For about 60 years, the Republic of Belarus is experiencing intensive mining for potash. All six mines are operated by the government-owned company Belaruskali. The mining region is located near the city of Soligorsk, some 200 km south of the Belarusian capital Minsk. The mineral extraction is conducted in longwall mining at depths from 440 to 1,100 m and without backfill. Worldwide, Belaruskali ranks fourth in potash production. In another mining district, the Petrikovsk Mine has commenced production recently in 2019.

Since 2011, the green-field project Nezhinskiy is being planned with a new mine nearby Soligorsk. First construction works have commenced in 2016. The operating company of this mine, Slavkaliy, is privately owned by the Russian oligarch M. Gutseriev, who provides a significant financial share to this project. The majority of the required investments, however, is held by the Chinese company Sinomec, which acts as the prime contractor of this project.

1 Allgemeines

In Weißrussland wird seit ca. 60 Jahren intensiv Kalibergbau betrieben, der bisher vom staatlichen Unternehmen Belaruskali in sechs Bergwerken durchgeführt wird. Das Hauptrevier liegt um die Stadt Soligorsk, die sich ca. 200 km südlich der Hauptstadt Minsk befindet. Der Abbau erfolgt im Strebbau ohne Versatz im Bruchbau in Teufen von 440 bis 1.100 m. Unter den Kaliproduzenten belegt Belaruskali den 4. Platz. Außerhalb dieses Reviers ging im Jahr 2019 das Bergwerk Petrikovsk in Betrieb.

Seit 2011 wird ein privat finanziertes Bergwerk namens Nezhinskiy in der Lagerstätte bei Soligorsk geplant und 2016 wurde mit dem Bau dieses Bergwerks auf der „grünen Wiese“ begonnen. Das Unternehmen Slavkaliy gehört dem russischen Oligarchen M. Gutseriev, der einen erheblichen Teil der Finanzierung beisteuert. Der größere Teil der Finanzierung erfolgt über das chinesische Unternehmen Sinomec. Sinomec fungiert in der Abwicklung als Generalunternehmer.

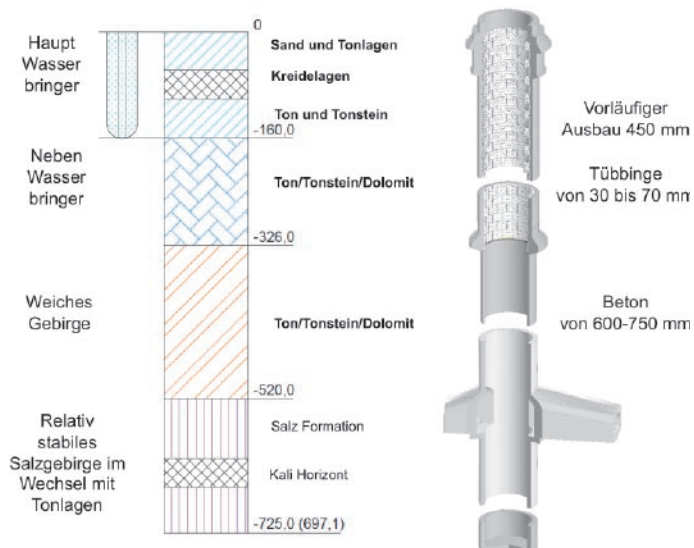


Fig. 1. General geology and shaft lining. // Bild 1. Geologie und Ausbau der Schächte. Source/Quelle: Redpath Deilmann

The planning from 2011 intended the sinking of two freeze shafts, using conventional drilling and blasting technology. The shafts were designed with a final diameter of 7.0 m and a depth of around 750 m.

After completion, the proposed use was the hoist of potash at Shaft 1, and general hoist (manriding and material) at Shaft 2. The general geology is sedimentary rock: sand, clay, chalk, mudstone and dolomite (surface to deposit). The deposit is reached at 450 m with altering layers of potash and rock salt. Due to prospection of high amounts of water until a depth of around 150 m, ground freezing was planned for the upper 165 m of the shafts. Preliminary concrete lining with final cast-iron tubing lining was designated for the first 320 m to ensure water tightness. For the shaft sections beneath, only concrete lining was planned (Figures 1, 2).

Die Planung aus dem Jahr 2011 sah das Abteufen von zwei Schächten im Gefrierverfahren und mit Anwendung von Bohr- und Sprengarbeit vor. Der lichte Durchmesser sollte 7,0 m bei einer Teufe von ca. 750 m betragen.

Der geplante Schacht 1 soll als Förderschacht und der geplante Schacht 2 als Seilfahrts- und Materialschacht genutzt werden. Bis zu einer Teufe von 150 m ist eine so starke Wasserführung erkundet worden, dass die Anwendung des Gefrierverfahrens bis 165 m Teufe erforderlich ist. Das Deckgebirge besteht von oben nach unten aus Sand, Ton, Kreide, Tonstein und Dolomit und die Lagerstätte wird bei etwa 450 m Teufe und einer Wechsellagerung aus Steinsalz und Kali erreicht. Die Schachtröhren werden bis zu einer Teufe von 320 m wasserdicht mit gusseisernen Tübbingen ausgebaut. Als vorläufiger Ausbau wird im Tübbingabschnitt ein unbewehrter Beton eingebracht. Im Salzschacht wird ein reiner Betonausbau verwendet (Bilder 1, 2).

Das Bergwerk wird in ca. 680 m Teufe an die Schächte angeschlossen. Weitere Füllörter werden nicht erstellt. Die schachtnahen Grubenräume sind in Bild 3 dargestellt. Im Auftragsumfang sind 9 km Streckenauffahrung enthalten.

Im Jahr 2016 wurde vom zukünftigen Betreiber Slavkalyi entschieden, statt Teufen mit Bohr- und Sprengarbeit eine neue Technologie für das Abteufen anzuwenden, nämlich das mechanisierte Schachtbohren aus dem Vollen mit Maschinen der Herrenknecht AG, Schwanau. Die Herrenknecht AG ist seit Jahrzehnten Technologie- und Weltmarktführer für Tunnelbohrmaschinen. Seit etwa 10 Jahren entwickelt man dort auch Maschinen für den Einsatz im Bergbau und dabei insbesondere im Schachtbau.

Herrenknecht hat verschiedene bereits in den 1970er und 1980er Jahren eingesetzte Komponenten neu kombiniert und mit dem heutigen Stand der Technik weiterentwickelt. Für den Einsatz der Herrenknecht-Maschine auf dem Bergwerk Nezhinskiy mussten die Durchmesser der Schächte um 1 m auf 8,0 m vergrößert werden.

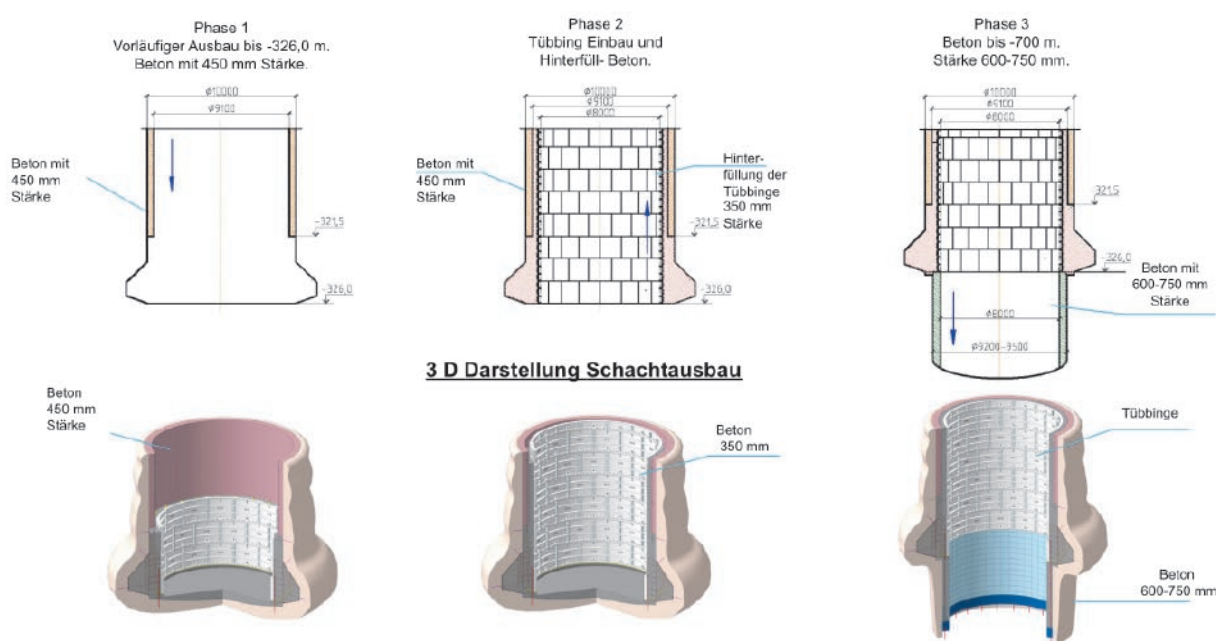


Fig. 2. Execution of shaft lining installation. // Bild 2. Bauablauf für den Schachtausbau. Source/Quelle: Redpath Deilmann

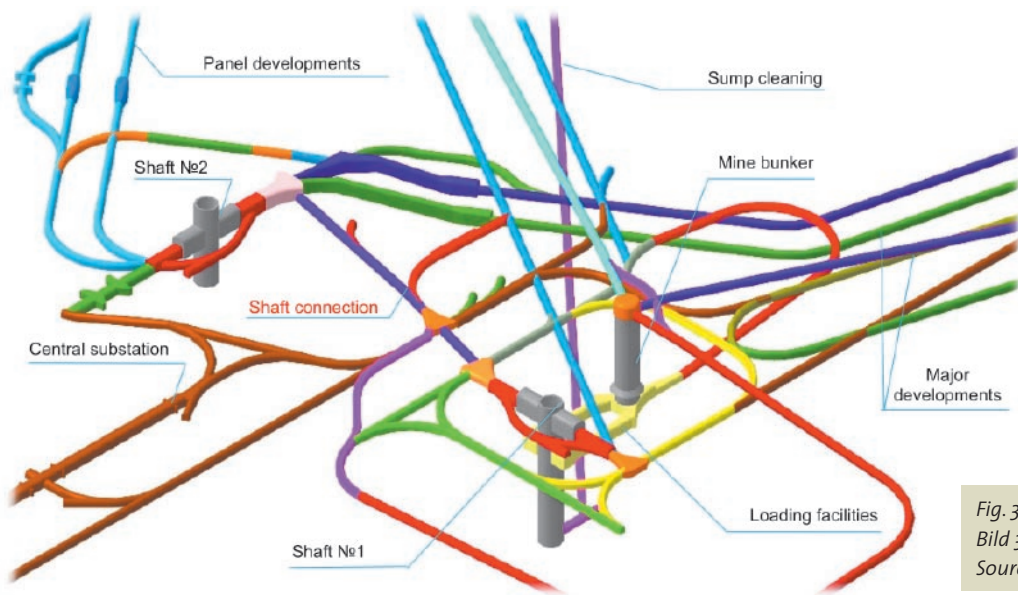


Fig. 3. Shaft stations.
Bild 3. Schachtnahe Grubenräume.
Source/Quelle: Redpath Deilmann

Furthermore, the contracted works included the development of some 9 km roadway. The only shaft stations would be located at a depth of around 680 m and connect the mine with the shaft. The situation is sketched in Figure 3.

In 2016, Slavkaliy changed the planning for the sinking of the shafts. Instead of drilling and blasting, mechanical advance was now the intended sinking technology, using shaft boring roadheaders (SBR) designed by Herrenknecht AG in Schwanaue/Germany. For decades, Herrenknecht is leading the world market in developing and producing machinery for tunnelling. Lately, for about ten years by now, the company also focusses on mining and, particularly, shaft sinking machinery.

For designing the new type SBR for the Nezhinskiy Mine, Herrenknecht used former experiences and technology (1970s and 1980s) and combined old ideas and components with today's status quo of mechanical engineering. Also, a change of the general shaft design was necessary to harmonize with the use of the SBR technology: the final shaft diameter was increased by 1 m and now was 8.0 m.

2 Mechanical shaft sinking

In mechanical shaft sinking, two options are available for the hauling of the rock:

- The hydraulic haulage works with a full-face cutting head under water. The mixture of muck and water is then pumped to the sinking platform, where it is separated, and the rock is carried to surface using buckets.

This option was realised by Deilmann-Haniel GmbH (former name of Redpath Deilmann GmbH), Dortmund/Germany, with machinery of the German manufacturer Wirth for the sinking of two shafts at a coal mine. This technology was meant to be re-used in 1984/1985, also in other fields, but the projects have never been carried out.

- For the second option, the pneumatic haulage, a part-face cutting head is used in dry conditions. This technology was also practically tested: one shaft was sunk at a rock salt, another

2 Maschinelles Schachtabteufen

Für das maschinelle Schachtabteufen gibt es zwei Verfahren zur Abförderung des gelösten Materials:

- Die hydraulische Förderung, bei welcher der Vollschnittbohrkopf unter Wasser betrieben und das Wasser/Berge-Gemisch abgepumpt wird, um es dann auf der Maschine zu separieren und die Berge mit Kübeln nach über Tage zu fördern.

Mit Maschinen der Fa. Wirth wurde dieses Verfahren von der Deilmann-Haniel GmbH, heute Redpath Deilmann GmbH, Dortmund, in zwei Schächten in der Steinkohle eingesetzt und man plante 1984/1985 weitere Entwicklungen und Anwendungen, zu denen es allerdings nicht mehr kam.

- Die pneumatische Förderung ist die zweite Methode, die mit einem Teilschnittausleger in trockenen Verhältnissen arbeitet. Diese Technik wurde 1984/85 von Gewerkschaft Walter, später Deilmann-Haniel, in zwei Schächten, einmal Steinsalz und einmal Steinkohle, eingesetzt. Auch für dieses Verfahren plante man weitere Verbesserungen und entwickelte eine leistungsfähigere Maschine, welche dann ebenfalls nicht mehr zur Anwendung kamen.

Der Schneidausleger dieser Maschinen wurde im Übrigen damals von Herrenknecht geliefert und das Saugsystem zur Abförderung wurde aus der Schiffsentladung bezogen.

3 Entwicklung der Herrenknecht AG – Schachtbohrmaschine Typ SBR Shaft Boring Roadheader

Im Jahr 2010 startete Herrenknecht einen neuen Einsatz dieser Technologie unter der Bezeichnung „Shaft Boring Roadheader (SBR)“ zum Einsatz in weichem und mittelhartem Gestein bis ca. 100 MPa Festigkeit.

Die erste Anwendung erfolgte ab 2012 in zwei Kali-Schächten in Kanada für das Bergwerk Jansen der BHP Billiton ebenfalls in Kombination mit dem Gefrierverfahren. Diese Maschinen stellten die erste Generation SBR dar und lieferten wertvolle Erfahrungen für die zweite Generation SBR, die 2016/2017 gemeinsam

one at a coal mine in 1984/1985. Operating companies were Gewerkschaft Walter and later Deilmann-Haniel. Again, further projects were planned, and machines were improved, but also never implemented.

Even then, Herrenknecht was involved with these projects and delivered the boom with the cutting drum. The piping for the pneumatic haulage was used from the marine industry.

3 Designing the shaft boring roadheader at Herrenknecht AG

In the year of 2010, the new type shaft sinking machine, called shaft boring roadheader (SBR), was introduced by Herrenknecht. It was designed for the use in rock of low to moderate hardness with a strength of up to 100 MPa.

From 2012, the Jansen Mine in Canada, owned by BHP Billiton, was the first site to use this first-generation technology, also in combination with ground freezing. With the experiences from the Jansen Mine and together with the former Deilmann-Haniel GmbH, Herrenknecht started to develop the second generation of the SBR in 2016/2017. Numerous minor but also major changes and improvements have been made to ensure a reliable 3 m/d advance.

3.1 General SBR functionality

The type SBR used in Belarus is fitted with a telescopic boom holding the cutting drum. The boom can be rotated by 360° to work in all radial directions. The cutting drum itself has a horizontal axis, measuring 1.2 m in diameter and 1.5 m in width. It is driven with 600 kW hydraulic power and, as all road heading machines, has only one rotational direction. The drill bits used are round shank bits (Figure 4).

The cutting sequence starts from the shaft centre to the intended radius of the shaft for each slice, one by one, creating a bowl-like shaft bottom. The sequence can be controlled manually or automatically, using one of several programmes installed with the software onboard the SBR. The operator may also adjust the radius within a defined range, which is useful when foundations shall be excavated. The maximum diameter available with the machine used in Belarus is 12 m. The maximum depth of each cut with the drum is 0.2 m and can be repeated up to six times by telescoping the boom. Therefore, the SBR is eligible to advance 1.2 m before it must be moved down.

As sinking in frozen ground, Herrenknecht decided to realise the haulage of the waste rock using a pneumatic mucking system (PNM). The chipped rock enters the PNM-system right at the cutting drum where a tray is mounted on the shaft-centre-side.

From there, a 30 m long pipe system carries the rock to a cyclone, which separates rock and air – the rock falls whereas the air moves up and passes a dry-filter system. The air then passes a set of blowers, producing the required negative pressure that is needed to move the air and pick up the chips from shaft bottom. Three blowers are installed, manufactured by Aerzener Maschinenfabrik, each with 315 kW. With the installed power of the blowers, the exhaust air could reach temperatures of up to 70 °C, which would have a negative effect on the mine climate and might even lead to defrosting the ground. To avoid unwanted heat effects, the second generation of the SBR is now equipped

von Herrenknecht und der damaligen Deilmann-Haniel GmbH im Detail entwickelt wurde. Es wurden zahlreiche grundsätzliche Änderungen, aber auch viele Detailarbeiten durchgeführt, um einen stabilen Betrieb mit 3,0 m/d Bohrfortschritt zu erreichen.

3.1 Funktionsweise der SBR

Die Schachtbohrmaschine vom Typ SBR hat am unteren Ende einen 360° schwenkbaren, teleskopierbaren Schneidausleger mit einer horizontal angeordneten Schneidtrommel. Diese Schneidtrommel wird hydraulisch mit 600 kW angetrieben und hat wie alle Teilschnittmaschinen nur eine Drehrichtung zur Schachtmittle. Diese Schneidtrommel hat einen Durchmesser von 1,2 m und eine Breite von 1,5 m und ist mit Rundschaftmeißeln bestückt (Bild 4).

Die Schneidsequenz beginnt immer in der Schachtmittle und wird nach außen geführt. Dadurch entsteht eine schüsselförmige Schachtsohle, die mit verschiedenen automatisierten Schneidmustern erstellt wird. Die Walze sticht maximal 0,2 m tief ein und wiederholt diesen Vorgang bis zu sechsmal, um den Schacht 1,20 m tief auszubrechen. Der Ausbruchdurchmesser ist in vorher festgelegten Bereichen variabel, sodass auch Fundamente für den Schachtausbau und Füllortansätze geschnitten werden können.

Herrenknecht entschied sich wegen des Einsatzes im Gefrierschacht für die pneumatische Förderung der Berge von der Schachtsohle. Das System wird als Pneumatic Mucking System (PNM-System) bezeichnet. Die Ansaugöffnung befindet sich auf ganzer Breite direkt an der Schneidtrommel auf der Schachttinnenseite.

Von diesem Ansaugkasten führt die Saugleitung ca. 30 m senkrecht aufwärts bis zu einem Saugtank, der nach dem Prinzip des Zyklons arbeitet. Die Saugluft wird oben aus dem Saugtank in einen Trockenentstauber geleitet. Die Sauggebläse sind auf der Reinluftseite mit dem Entstauber verbunden. Diese Gebläse erzeugen den erforderlichen Unterdruck, um das gelöste Gestein von der Schachtsohle zu entfernen. Es werden drei Drehkolben-

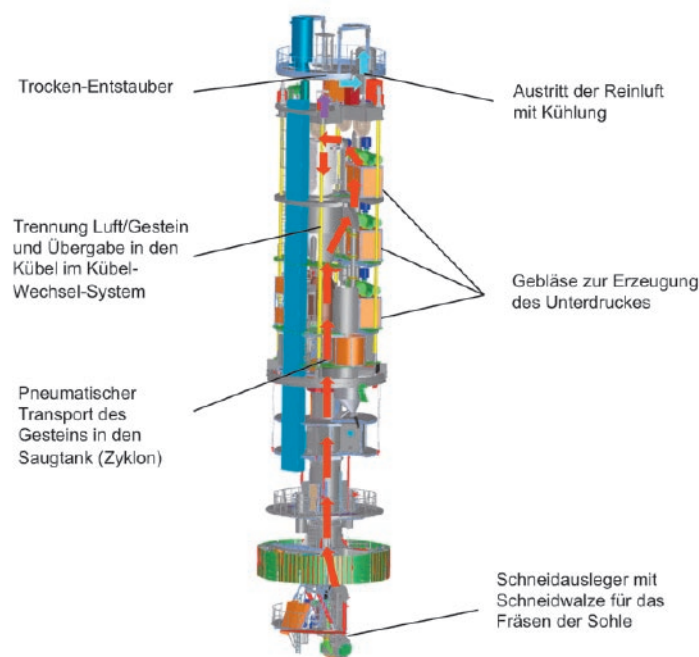


Fig. 4. How the SBR works. // Bild 4. Funktionsweise der Schachtbohrmaschine. Source/Quelle: Redpath Deilmann



Fig. 5. SBR factory assembly in the summer of 2018.
Bild 5. Werksmontage der SBR im Sommer 2018.
Photo/Foto: Redpath Deilmann

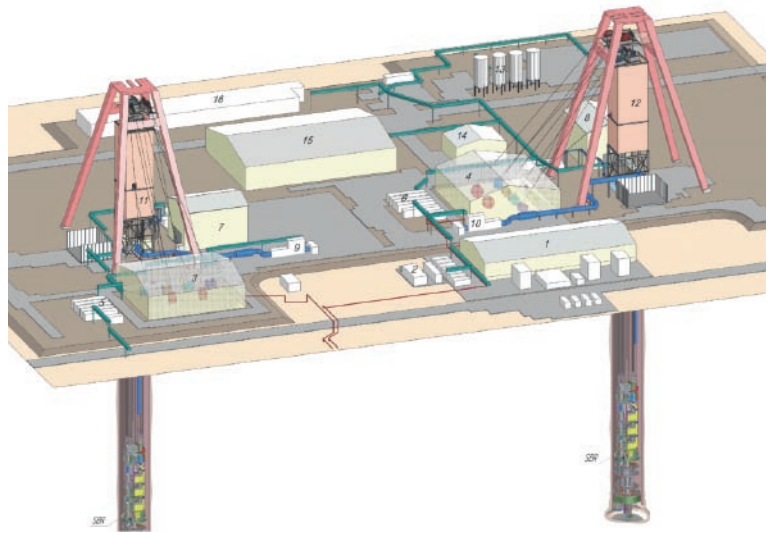


Fig. 6. Overview on available winders.
Bild 6. Übersicht über die Abteufanlagen über Tage.
Source/Quelle: Redpath Deilmann

with an external cooling circuit, allowing some 800 kW of potentially emitted heat to be removed from the shaft.

Furthermore, adjustments can be made with ventilation. The fan station includes a 520 kW heater, placed upstream of the fan, and a cooler at the downstream side. The cooler is powered from the main freezing plant and allows to decrease the intake air temperature to as low as 2 °C.

Back to tracing the rock: Underneath the cyclone, a 7 m³ kibble is placed, sealing with the cyclone's outlet and being filled during the cutting process. During this process, the kibble is not attached to the hoist rope, but can be placed back into hoist position with a rotating platform. The entire PNM-system is specially designed for the Nezhinskiy project and can manage adhesive and water-saturated grounds.

Additionally, the SBR also serves as a working platform. The placement of a second, additional platform in the shaft was not an option.

Both SBRs have been modularly pre-assembled in the Herrenknecht factory in Schwanau. For full testing services and adjusting parameters, the first roadheader has also been entirely assembled before the shipping (Figure 5). Factory acceptance for this machine was granted in July 2018. Several professionals from Redpath Deilmann and Herrenknecht, who were planned to work in Belarus, attended the week-long pre-assembly phase to gain an understanding of all details of the machines.

3.2 Sinking Installations

Two separate hoists are used at both shafts (Figure 6). One hoist is designated for mucking and equipped with a single-drum winder. Driven with 2 x 1,400 kW, it holds 252 kN, and allows hoist speeds up to 10 m/s. The other hoist is of the same type, but smaller, fitted with 2 x 750 kW and 215 kN in strength. It allows up to 6 m/s and is used for material transportation and manriding.

For transportation of major machine parts or other equipment, or in case of the need for direct filling of the kibbles at the face, the SBR is designed to allow both hoists through all its eleven floors.

gebläse der Aerzener Maschinenfabrik mit jeweils 315 kW Antriebsleistung eingesetzt. Die Abluft aus dem PNM-System hat Temperaturen von max. 70 °C, was im Gefrierschacht Auftauvorgänge auslöst und das Grubenklima deutlich verschlechtert. Daher wurde in der SBR der zweiten Generation ein Kühler für die PNM-Abluft und andere Komponenten installiert, der ca. 800 kW Abwärme mit einem Kühlwasserkreislauf nach Übertage bringt.

Außerdem werden in einer Bewetterungsanlage über Tage die Frischwetter im Winter erst geheizt und hinter den Ventilatoren bis max. 2 °C stark abgekühlt, um das Kondensat auszufällen. Die Wetterheizung hat 520 kW Leistung und die Wetterkühlung 2.200 kW Leistung, die von den Gefriermaschinen abgegriffen werden.

Unten am Saugtank wird der Bergkübel druckdicht ange-dockt und direkt während des Saugvorgangs gefüllt. Der leere Kübel mit 7 m³ Inhalt wird mit einem Drehtisch aus der Förderung unter den Saugtank gebracht. Das gesamte Saugsystem der zweiten Generation wurde für das Beherrschen von wassergesättigten und verklebungsanfälligen Gebirgsschichten für den Einsatz in Weißrussland optimiert.

Die SBR stellt eine Kombination aus Abteufmaschine und Arbeitsbühne dar, weil eine weitere Arbeitsbühne im Schacht problematisch ist. Die Maschinen sind für einen maximalen Schneid-durchmesser von 12 m ausgelegt worden.

Beide Maschinen wurden im Werk Schwanau aufgebaut, wobei eine Maschine komplett übereinander aufgebaut wurde und alle Funktionen gefahren werden konnten (Bild 5). Dabei konnten alle Systeme getestet und eingestellt werden. Die Baustellenmannschaft von Herrenknecht und Redpath Deilmann war in dieser Zeit wochenlang auf den Maschinen, um die Mitarbeiter mit den Details vertraut zu machen. Die Werksabnahme der ersten Maschine erfolgte im Juli 2018 in Schwanau.

3.2 Abteufanlage

Bei der SBR für Belarus wurde frühzeitig entschieden, zwei getrennte Förderanlagen zu verwenden. Es gibt eine Fördermaschi-

The SBR is around 50 m high and weights roughly 400 t. The high mass and the boom do not allow the integrated suspensions to carry the SBR; it always fully affects the four ropes it is attached to. Four ropes, 54 mm in diameter, connect each SBR with its four winders. The winders hold 455 kN each and may move the platform at maximum 0.2 m/s. The winders' capacity is 3,300 m of this rope each. At last, the winder of the supporting rope for the power line as well as the emergency winder shall be mentioned.

Due to the SBR's high weight, all four ropes are reeved three times to compensate the forces on each rope line with respecting the safety factors required in shaft sinking operations. The attachment point was chosen up high on the SBR to allow more space on the lower work decks, which are already packed with additional equipment including the bucket changing and the PNM-system. From the very beginning of planning, the maximum diameter of the machine was defined as 7.2 m.

During the cutting, the SBR is centralised and its position fixed using four hydraulic stabilisers, respectively shields, installed at the core machine about 7 m above the face. Furthermore, additional but smaller stabilisers are used at the SBR's vertical centre. Yet, the weight of the SBR is only absorbed by the ropes.

For the shaft lining with concrete, the SBR comes with a concrete repository, a funnel, placed higher than the concrete form. The funnel can hold the volume of one concrete bucket and can be moved 360° to all radial directions. This allows a smooth filling of the concrete form.

ne, die ausschließlich Berge fördert. Dafür wird eine Eintrommelmaschine mit 10 m/s Fahrgeschwindigkeit, 252 kN Zugkraft und 2 x 1.400 kW Antriebsleistung verwendet. Die andere Förderung ist für Seilfahrt, Material und Betontransport vorgesehen. Dazu wird ebenfalls eine Eintrommel-Maschine mit 6 m/s Fahrgeschwindigkeit, 215 kN Zugkraft und 2 x 750 kW Antriebsleistung eingesetzt (Bild 6).

In der SBR gibt es oberhalb der Schalung einen Betonverteilterbehälter, der eine Kübelfüllung Beton aufnehmen kann. Dieser Behälter kann rund um den Schacht gefahren werden, um die Schalung gleichmäßig mit Beton zu füllen.

Die SBR wurde so gestaltet, dass beide Förderungen bis zur Sohle fahren können. Dies ist im Hinblick auf den Wechsel großer Maschinenteile unerlässlich und kann auch für den Fall, dass das pneumatische Abfordern der Berge nicht möglich sein sollte, zur Direktbeladung der Kübel auf der Sohle genutzt werden.

Die SBR hat ein Gewicht von 400 t und ist mit 11 Etagen ca. 50 m hoch. Bedingt durch den Teilschnittausleger und das Gewicht kann die Maschine nicht im Schacht verspannt werden, sondern hängt permanent an Seilen und Winden. Die vier SBR-Winden je Schacht verfügen über eine Zugkraft von 455 kN, ermöglichen eine Fahrgeschwindigkeit von 0,2 m/s und sind für 3.300 m Seil mit 54 mm Durchmesser ausgelegt. Der Vollständigkeit halber sollen noch die Kabeltrage-seilwinden und die Notfahrwinden an jedem Schacht erwähnt werden.

For further shaft lining works, including grouting and tubbing installation, work decks 2, 3 and 4 are used. Deck 3 can be vertically moved within a range of 2 m, enabling personnel to reach different positions on the concrete form. This flexibility is crucial as the SBR is moved entirely in steps of 1.2 m, daily advance is 3.0 m, and the shuttering measures 4.8 m.

The implementation of shaft lining works in parallel to advance was one of the main objectives when the SBR's second generation was designed. An independent concrete plant was built on site to guarantee a smooth operation. Detailed testing with material from local pits was accomplished to fulfil the requirements for the various demanded concrete qualities. Again, prior experiences made by Redpath Deilmann as well as Herrenknecht proved quite helpful.

4 Acceptance of order for Deilmann-Haniel in July 2017

In July 2017, in Minsk, Slavkaliy and Deilmann-Haniel signed the contract. Immediately after, Deilmann-Haniel ordered two machines of the type shaft boring roadheader, serial numbers MI 029 and MI 030, from Herrenknecht. Furthermore, and because of the dimensions of this project, a significant number of other equipment was also in need to be designed and ordered.

Pressed for time, all essential planning was made, and orders were placed. First of all, the multiple types of winders had to be engineered and manufactured, as well as the fan stations, ropes, winches, the electric network including cables, the pneumatic system with its pipes, and much more. The boring of the holes for the freezing pipes was agreed to be Slavkaliy's responsibility and contracted to a Belarusian specialist company.

Early in the process, Slavkaliy decided to conduct the sinking with the final head frames. This led to even more design criteria with a need of consequent consultation between all involved parties, including the external engineering consultant in Moscow/Russia. Existing cultural and legal differences between Germany, Belarus, and Russia made this – no doubt – a demanding process for all.

A 10 kV cable supplies each SBR, rating around 2,000 kW for all onboard compliances. Reliable communication within the SBR and from underground to surface in all matters, especially linking the shaft with the winder operators using a signalling system, is realised with an LWL-cable. The jobsite's control room (Figure 7) allows access to all relevant machine data and is database for in-time fault analyses and further machine optimisation.

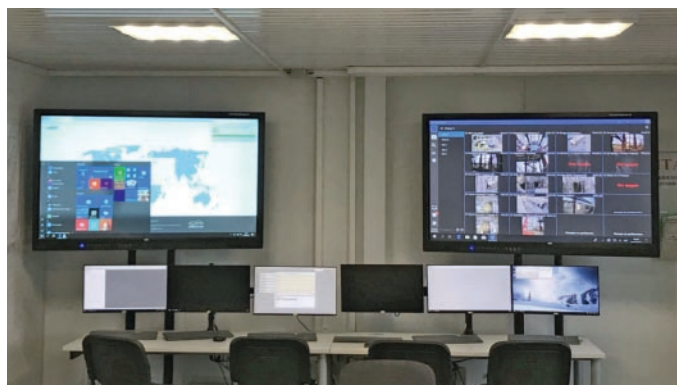


Fig. 7. Data exchange system/control room.
Bild 7. Prozessleitsystem/Baustellenwarte. Photo/Foto: Redpath Deilmann

Das Maschinengewicht und die im Schachtbau üblichen Sicherheitsfaktoren bedingen zwölf Seilstränge, weil die Aufhängeseile mehrfach eingesichert werden müssen. Die Aufhängung an den Seilen erfolgt weit oben in der Maschine, um große Einbauträume für das PNM-System und die Kübelbelastung zu erhalten. Trotzdem sind die Decks der SBR voll mit Aggregaten und relativ eng gepackt, weil die Kernmaschine nur 7,2 m Durchmesser haben kann.

Die Maschine wird mit einem Prätzen-/Schildsystem oben an der Kernmaschine ca. 7 m über der Sohle zentriert und in der Mitte der SBR nochmals mit kleinen Prätzen stabilisiert. Eine Lastabtragung des Maschinengewichts erfolgt durch diese Schilde jedoch nicht.

Die Gebirgsbeherrschung und das Einbringen des Schachtausbaus aus Beton bzw. Tübbingen erfolgt von den Etagen 2 bis 4. Das Deck 3 ist innerhalb der SBR um 2,0 m vertikal verfahrbar, um jederzeit die Schalung erreichen zu können. Bei einer Abteufleistung von 3,0 m/d und einer Betonschalung mit 4,8 m Höhe müssen diese beiden Vorgänge entkoppelt werden, weil mit dem Umsetzen der SBR alle elf Etagen 1,2 m abgesenkt werden.

Die sinnvolle Kombination von Schneiden und Ausbauen war eine der Hauptaufgaben beim Design der zweiten Generation der SBR. Auch die Betonversorgung war dabei zu berücksichtigen. Dazu wurde auf der Baustelle eine eigene Betonanlage aufgebaut und die geforderten Betonqualitäten wurden nach vielen Versuchen aus den örtlichen Materialien hergestellt. Dabei sind die Erfahrungen von Redpath Deilmann aus vielen Schachtbauprojekten sowie die Erfahrungen von Herrenknecht aus der ersten Generation der SBR eingeflossen.

4 Auftrag für Deilmann-Haniel Juli 2017

Im Juli 2017 wurde der Vertrag zwischen Slavkaliy und Deilmann-Haniel in Minsk unterschrieben. Unmittelbar danach beauftragte Deilmann-Haniel Herrenknecht mit dem Bau und der Lieferung von zwei Schachtbohrmaschinen SBR MI 029 und 030. Mit hohem Zeitdruck wurden alle Planungs- und Beschaffungsvorgänge gestartet und vorangetrieben, denn zahlreiche Maschinen und Geräte waren für die geforderten Dimensionen neu zu beschaffen.

Durch Slavkaliy wurde sehr frühzeitig festgelegt, dass das Abteufen mit den endgültigen Fördergerüsten erfolgen soll. Dadurch entstanden zahlreiche Schnittstellen, die mit dem Planer in Moskau zu klären waren. Diese Prozesse waren wegen verschiedener Kulturen in Deutschland und in Belarus sowie Russland nicht immer einfach und forderten alle Beteiligten. Insbesondere die Förder- und Windentechnik musste komplett konzipiert und neu beschafft werden sowie nebenbei die Energie- und Druckluftversorgung, die Bewetterungsanlage, Seile, Seilscheiben, Kabel, Rohre usw. Das Bohren der Gefrierlöcher war Leistung des Auftraggebers und wurde durch einen weißrussischen Unternehmer durchgeführt.

Die SBR hat eine installierte Leistung von 2.000 kW, die auf der Spannungsebene 10 kV zur Maschine gebracht wird. Die SBR wird über LWL-Kabel mit allen wesentlichen Einrichtungen über Tage verbunden, denn die Schachtsignalanlage und die Fördermaschinen sowie die SBR-Winden müssen einen umfangreichen Datenaustausch untereinander betreiben. Alle Maschinen und Geräte auf der Baustelle werden mit einem Prozessleitsystem verknüpft, um ständigen Zugriff auf Betriebszustände und Störungsmeldungen in einer Zentrale zu erhalten. Mit diesem Sys-

5 Site development as of third quarter of 2019

First employees of Redpath Deilmann were deployed to site in October 2017. Works were started, developing the freeze plant and installing pipework.

The freeze plant contains six modules with 500 kW cooling power each, adding up to a total of 3,000 kW. This enables the plant to provide a brine at -35°C . A total of 40 freezing pipes surround each shaft, and, for monitoring present temperatures in the frozen ground, three additional bore holes were fitted with thermal sensors. All collected data is analysed in Redpath Deilmann's main office in Dortmund.

Freezing was commenced in February 2018. From then, the shaft collars and various foundations were built. As of April 2018, the freeze body has developed a sufficient width, allowing the sinking of the pre-shafts. This was committed with small backhoe excavators until the required depth of 50 m was reached. Temporary concrete lining was installed parallel to the sinking right from the shaft bottom. After finishing the pre-shafts, the main headframes were assembled by a Belarusian steel constructor in a remarkably short amount of time.

In the same period, Herrenknecht completed both roadheaders for factory acceptance. MI-029 was entirely mounted and commissioned for factory testing and further adjustments. Also, the PNM-system was part of the tests, looking at the system's limits at different types of ground material. Both machines were accepted in mid-2018, disassembled and shipped to Belarus.

All four hoisting machines, the eight SBR winders and both emergency winders were built in Germany and Austria, achieved acceptance, and were delivered to site. All other required machinery and tools, including 15 containers with electric components, such as transformers, and both fan stations were part of further deliveries. Also, the concrete plant was assembled.

To achieve first advance with one SBR before the end of 2018 was the main goal on site. After a ceremony with local children naming the SBRs "Olga" and "Uljana", MI 029 started to cut on 11th December 2018, and the first kibble was in the hoist. MI 030 followed in mid-January 2019.

tem werden auch die Laufzeiten aufgenommen, um Daten zur Schwachstellenanalyse zu erhalten (Bild 7).

5 Ablauf der Bauarbeiten bis Herbst 2019

Im Oktober 2017 begannen die ersten Mitarbeiter von Redpath Deilmann auf der Baustelle mit dem Aufbau der Gefrieranlagen und dem Installieren des Rohrsystems.

Die Gefrieranlage setzt sich aus sechs Gefriermaschinen mit je 500 kW Leistung zusammen, sodass eine Gefrierkapazität von 3.000 kW bei einer Soletemperatur von -35°C erreicht wurde. Pro Schacht wurden 40 Gefrierlöcher erstellt. Zur Kontrolle der Frostausbreitung gibt es je Schacht drei Temperaturmesslöcher. Die Auswertung und Modellierung der Messdaten erfolgt bei Redpath Deilmann in Dortmund.

Das Gefrieren begann im Februar 2018. Parallel wurden Fundamente gebaut und der Schachtkragen erstellt. Im April 2018 konnte nach Erreichen der erforderlichen Frostwandstärke das Teufen der Vorschächte bis 50 m Tiefe begonnen werden. Der Aushub in den Vorschächten erfolgte mit Kompaktbaggern und es wurde ein Außenbeton direkt über der Sohle eingebracht. Nach Fertigstellung der Vorschächte wurde der Aufbau der Fördergerüste in bemerkenswert kurzer Zeit durch einen Stahlbauer aus Belarus durchgeführt.

Parallel wurden beide SBR bei Herrenknecht in Schwanau hergestellt und im Rahmen der Werksmontage aufgebaut. Die Maschine MI 029 wurde in einem Turm komplett montiert und für Tests betriebsbereit gemacht. In diesen Tests wurde das PNM-System komplett durchgeföhren und justiert. Herrenknecht hat bei diesen Tests verschiedene Arten von Boden verwendet, um die Grenzen des Saugsystems auszuloten. Die Werksabnahmen der SBR wurden im Frühsommer 2018 durchgeführt. Anschließend wurden die Maschinen demontiert und nach Belarus transportiert.

Die vier Fördermaschinen, die acht SBR-Winden und zwei Notfahrwinden wurden parallel in Deutschland und Österreich gebaut, abgenommen und zur Baustelle transportiert. Alle vorhandenen Geräte wurden einsatzbereit gemacht sowie etwa 15 Trafo- und Energie-Container nach Belarus gebracht. Auch ein

Betonwerk sowie die Lüfteranlagen waren zu berücksichtigen.

Ziel war ein Teufbeginn mit der ersten SBR noch im Jahr 2018. Nach der Taufe beider Maschinen durch Kinder aus der Nähe der Baustelle auf die Namen „Olga“ und „Uljana“ startete am 11. Dezember 2018 die SBR MI 029 und es wurde der erste Küssel gekippt. Die SBR MI 030 hat Mitte Januar 2019 angeschnitten.

Das Teufen begann im Gefrierschacht relativ problemlos, aber in der Folge gab es einige Überraschungen zu meistern. An der Saugleitung der SBR entstand schneller als erwartet starker Verschleiß und es traten bald erste Löcher auf, die zu „flicken“ waren. Verklebungen im Saugsystem kosteten viel Zeit und Mühe (Bild 8).



Fig. 8. Visible wear at the PNM pipe. // Bild 8. Starker Verschleiß an der Saugleitung.
Source/Quelle: Redpath Deilmann

The first meters, yet in the freeze shaft, were sunk without nameable difficulties. However, first challenges arose soon, demanding intensive attention. The PNM pipes showed unexpected high rates of wear. Leaks had to be repaired. Adhesive grounds blocked the pipes, costing much effort and time (Figure 8).

Furthermore, a layer of adhesive chalk challenged the mucking system as well as the site's personnel (Figure 9). Sometimes, kibbles were turned over ten times before they were completely empty, and even manual work was required not only once. The installation of chutes into the kibbles proved helpful. Within the freeze shaft, advance rates of 3 m/d and almost 4 m/d were reached, which is a great success.

For both shafts, the formwork for the grouting was designed with a hydraulic beam system to easily seal the form to the shaft wall. This technology was invented and patented by Redpath Deilmann (Figure 10).

Major problems occurred at Shaft 2 when leaving the freeze shaft at 170 m in March 2019. At this depth, layers of soft clay induced severe overbreak and could not be controlled with conventional support. Finally, the shaft bottom was filled up with several hundred cubic meters of concrete (Figure 11). Time loss accounts for almost four weeks.

Numerous ideas were discussed on how the strata could be controlled, of which three variants were proposed to Slavkalyi:

- rock bolting right from the shaft bottom;
- rock bolting and additional casting concrete right from the shaft bottom; and
- taking the concrete form down nearer to the shaft bottom.

The third option, taking the concrete form down closer to the shaft bottom, was chosen and proved advantageous (Figure 12).



Problem:

- Wegen der kleinen Öffnung des Kübels konnte beim Kippen nicht auf einmal entleert werden. Teilweise musste 10-mal gekippt werden und manche Kübel von Hand geleert werden.

Lösung:

- Einbau von Rutschen

Fig. 9. Emptying of a kibble. // Bild 9. Entleerung der Bergkübel. Source/Quelle: Redpath Deilmann

Nach dem Erreichen einer sehr klebrigen Kreideschicht ließen sich die Kübel kaum noch entleeren (Bild 9). Teilweise musste 10-mal gekippt werden und manche Kübel mussten von Hand geleert werden. Schließlich wurde mit dem Einbau von Rutschen ein Weg gefunden, das Problem zu entschärfen. Danach wurde im Gefrierschacht eine Teufleistung > 3 m/d erreicht und auch an der 4 m-Marke gekratzt, was als großer Erfolg einzustufen ist.

In beiden Schächten wurde eine modernisierte Schalung mit hydraulischen Schubläden zur Abdichtung an der Schachtwand eingesetzt. Das System ist eine Eigenentwicklung von Redpath Deilmann, die zum Patent angemeldet wurde (Bild 10).

Zu einem gravierenden Problem kam es dann in Schacht 2 bei einer Teufe von 170 m unter dem Gefrierschacht, wo ein weicher Ton anstand. Ende März brach der Schacht in großem Umfang aus und musste, weil das nicht zu stoppen war, mit einigen hundert Kubikmetern Beton verfüllt werden (Bild 11). Dieser große Ausbruch hat zu fast vier Wochen Unterbrechung der Teufarbeiten geführt.



Fig. 10. Sinking experiences. // Bild 10. Erfahrungen beim Teufen. Photos/Fotos: Redpath Deilmann



Fig. 11. Overbreak at Shaft 2 just underneath the freeze shaft, March 2019.

Bild 11. Verbruch der Schachtwand unter dem Gefrierabschnitt in Schacht 2 Anfang März 2019. Photos/Fotos: Redpath Deilmann

Sinking could finally be proceeded and advance rates of up to 4 m/d were achieved. Design details of the form work were adjusted, and details of the general sinking process improved to allow a safe lining from workdeck 2 and parallel cutting.

In the month of May 2019, Redpath Deilmann set a record in shaft sinking in Belarus, which before was at 80.8 m in one month using drilling and blasting. Despite the difficulties with the strata, the old record was outperformed with 88 m at Shaft 2 and 82.7 m at Shaft 1. This also showed that from many new employees hired for this project, a powerful sinking team had grown (Figure 13).

In June 2019, both shafts reached the 300 m mark. As planned, sinking was then discontinued at 326 m to start with the tubing installation from bottom to top. According to the customer, in terms of assembly time, the tubing installation also claimed

Es wurden viele Ideen zur Beherrschung der schlechten Geologie diskutiert, die aber alle wieder verworfen wurden. Drei Varianten wurden schließlich näher betrachtet und Slavkaliy vorgeschlagen:

- Anker Ausbau in der Schneidkammer,
- Anker und Spritzbeton in der Schneidkammer und
- Einsatz der Schalung so nah wie möglich zur Sohle.

Die Entscheidung fiel dafür, die Schalung so tief wie möglich unten zur Sohle zu bringen, um das Gebirge möglichst schnell abzustützen (Bild 12). Das erwies sich als der richtige Weg und die Teufarbeiten konnten wieder aufgenommen werden. In der Folge wurden regelmäßig Leistungen von bis zu 4 m/d erreicht. Darüber hinaus wurden weitere Details an der Schalung verändert, um sicher von Deck 2 gleichzeitig mit dem Schneiden arbeiten zu können.

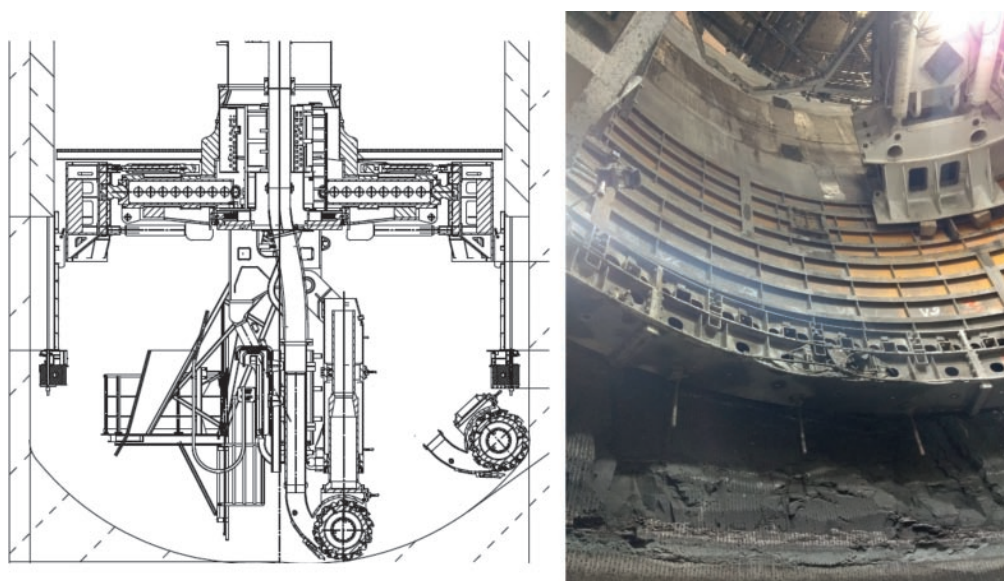


Fig. 12. Decision made: Trimming the concrete form for its new position close to the face.

Bild 12. Entscheidung: Schalung nahe zur Sohle und Schalung verkürzt. Source/Quelle: Redpath Deilmann



Fig. 13. New record in shaft sinking in Belarus: 88 m advance at Shaft 2 for May 2019. // Bild 13. Teufrekord Belarus im Mai 2019: 88 m in Schacht 2. Photo/Foto: Redpath Deilmann

world records. Although this statement is without proof, there is no doubt that it was very quick and after all faster than planned. By now, the freeze plant is shut down. To guarantee water tightness, both shafts now experience extensive grouting. Again, the SBRs are used as working platforms, which is very comfortable.

In the meantime, until advance is commenced, some SBR parts are being revised in Germany and will be reinstalled soon.

6 Summary

The implementation of the SBRs on the jobsite in Belarus has shown some tremendous technological advance compared to other sinking methods and yet is an inspiring example of high-tech shaft sinking with many new procedures for all. All, meaning the team, constituted from Belarusians, Russians, Germans and Herrenknecht employees from all over the world, made and still make a huge effort to work with and further improve the machines.

After the completion of sinking, building the shaft stations, and installation of shaft fixtures, Redpath Deilmann will also excavate some kilometres of mine roads, including the ways to the first production face. The end of works is scheduled for late 2021, or early 2022 respectively.

Der Mai war bisher der Rekordmonat und die Teufleistungen haben den Rekord im Schachtbau in Weißrussland übertroffen. Der lag mit Bohren und Sprengen bei 80,8 m. Trotz schlechter Geologie wurden in Schacht 2 88 m und in Schacht 1 82,7 m erreicht. Diese Leistung ist auch deshalb besonders erwähnenswert, weil in nur wenigen Wochen aus vielen neuen Kollegen eine Teufmannschaft aufgebaut wurde (Bild 13).

Im Juni 2019 wurde die 300 m-Marke erreicht und bei 326 m wurde das Abteufen gestoppt, um die Tübbinge auf dem Weg nach oben einzubauen. Diese wurden schneller als geplant eingebracht, wobei nach Aussage des Auftraggebers Weltrekorde erzielt werden konnten. Ohne dies nachprüfen zu können, waren die Leistungen auf jeden Fall sehr gut. Die Gefriermaschinen sind inzwischen abgeschaltet und zurzeit werden die Tübbingsäulen in einer umfangreichen Aktion verpresst, um die Dichtigkeit der Schächte zu erreichen. Die SBR werden dabei als Arbeitsbühnen benutzt, was sich als unproblematisch erwiesen hat.

Ausgewählte Teile der SBR befinden sich zur Überholung in Deutschland und werden demnächst wieder in die Maschinen eingebaut.

6 Resümee

Auf der Baustelle in Belarus wurde mit den SBR-Maschinen etwas geschafft, was technisch einen enormen Fortschritt bedeutet. Viele Details waren völlig neu, denn das Schachtteufen mit diesen Maschinen ist High-Tech. Alle auf der Baustelle – das sind Weißrussen, Russen und Deutsche sowie Mitarbeiter von Herrenknecht aus weiteren Ländern der Welt – haben die neuen Maschinen angenommen und der Ehrgeiz und die Zielstrebigkeit aller ist deutlich spürbar.

Redpath Deilmann wird neben dem Bau der Schächte, dem Einbau der Spurlatten und der Füllörter auch den Bau schachtnaher Grubenräume sowie die Ausrichtung bis zum ersten Abbaustreb mit mehreren Kilometern Auffahrungslänge abwickeln. Die Fertigstellung ist für Ende 2021 bzw. Anfang 2022 geplant.

Author / Autor

Dipl.-Ing. Thomas Ahlbrecht,
Redpath Deilmann GmbH, Dortmund/Germany