Modernizing Mining – Shaft construction in Serbia

Bergbau in der Modernisierung – Schachtbau in Serbien

THORSTEN KRATZ, BIANCA SCHICHTEL-SEBERKSTE, Germany

In May 2019, Thyssen Schachtbau GmbH was commissioned to construct two shafts (∅ = 3.50 m, depth = 122 m and 106 m) in a limestone quarry in Serbia. The shafts are key elements of the underground transportation system that shall replace truck haulage at the quarry. The raise-boring method was used for shaft construction, later on a hoisting system was used for rock support and shaft lining in form of steel tube lining in the lower part and concrete lining in the upper part. The hoisting equipment was certified on the basis of the Serbian regulations in line with the German regulations. The Serbian HSEQ requirements, the specifications of the international client and the internal guidelines had to be taken into account in order to implement the project in a solution-oriented and thus successful manner. The project was a pioneer project in the region with potential to serve as an example for the growing quarry industry in the Balkan area.

Keywords:
Shaft construction – Raise-boring – Shaft hoisting system – Certification – Legislation

Im Mai 2019 erhielt die Thyssen Schachtbau GmbH den Auftrag zum Bau zweier Schächte (∅ 3,50 m, Teufe 122 m und 106 m) in einem Kalksteinbruch in Serbien. Die Schächte sind Schlüsselelement für ein untertägiges Transportsystem, das den radgebundenen Transport am Steinbruch ersetzen soll. Die Raise-Bohrmethode wurde für die Schachterstellung gewählt. Im Weiteren kam ein Förderturmsystem für die Gebirgssicherung und das Einbringen des finalen Ausbaus in Form von Stahlrohren im unteren Schachtbereich und Betonausbau im oberen in den Einsatz. Die Schachtanlage wurde auf Grundlage serbischer Regularien in Einklang mit deutschen Regelwerken zertifiziert. Die serbischen HSEQ-Anforderungen, die Spezifikationen des internationalen Kunden und interne Richtlinien waren dabei in Betracht zu ziehen, um eine Umsetzung des Projektes lösungsorientiert und dadurch erfolgreich zu ermöglichen. Das Projekt war ein Vorreiter in der Region mit dem Potential, als Beispiel für die wachsende Abbau-Industrie im Balkan zu dienen.

Schlüsselwörter:
Schachtbau – Raise-Bohren – Schacht-Förderanlage – Zertifizierung – Gesetzgebung

1 Introduction

Challenges of modern regulation on mining, work safety, environmental standards or cost efficiency force mining companies or companies exploiting natural resources to change their exploitation system from surface to at least partly underground. It would be ambitious to call it a trend, but it is surely a tendency that can be stated [1].

Economic, environmental and social reasons are the three groups of incentives that can be identified. This includes for example the effect of reduction of emission to meet environmental targets [2], to increase social acceptance and H&S standards. And wher-

Dr. THORSTEN KRATZ,
Thyssen Schachtbau, ZNL Österreich, Petersgasse 128,
8010 Graz, Austria
e-mail: kratz.thorsten@ts-gruppe.com
BIANCA SCHICHTEL-SEBERKSTE,
schichtel-seberkste.bianca@ts-gruppe.com
www.thyssen-schachtbau.de

1 Einführung

Herausforderungen moderner Vorschriften für Bergbau, Arbeitssicherheit, Umweltstandards sowie steigender Kostendruck zwingen Bergbauunternehmen, ihre Förderung von Über- zumindest teilweise nach Untertage zu verlegen. Wenngleich diese Entwicklung keinen allgemeinen Trend darstellt, ist sicherlich in einigen Bereichen die Tendenz festzustellen [1].

Mit Einteilung in ökonomische, ökologische und soziale Gründe sind die drei Gruppen zu identifizieren, die für diese Tendenz die grundlegende Basis bilden. Das schließt beispielsweise die Reduktion von Emissionen zum Erreichen ökologischer Ziele mit ein [2], um die gesellschaftliche Akzeptanz zu erhöhen oder H&S-Standards zu verbessern. Wo auch immer der Umstieg von übertägiger auf (teilweise) untertägige Förderung Anwendung findet, ist ein Hauptgrund die Reduktion von Produktionskosten. Andere Gründe können rechtliche Regelungen oder Vorschriften sein – wiederum in Verbindung mit den drei oben genannten Gruppen. Zumeist liegt ein Mischgefüge aus verschiedenen dieser Punkte vor, so auch im gegenständlichen Steinbruch im Westen Serbiens, in dem die Thyssen Schachtbau GmbH die erste Raisebohrung des Landes durchführte.

ever applied, it shows a key element to lower (production) cost. Other reasons might be the surroundings of the deposit itself or legal regulations and provisions – again connected with the three groups mentioned before. Most of the time it would be a mix of some of these points.

And so was the case with the quarry in western Serbia, where Thyssen Schachtbau GmbH implemented the first raise boring project in the country.

In May 2019, Thyssen Schachtbau GmbH was commissioned to construct two shafts at a limestone quarry located close to the small town of Kosjeric.

The quarry and the nearby cement plant nowadays belong to the Greek based TITAN group. The exploitation of the lime stone deposit Suvo Vrelo had started already in 1976, delivering the raw material for the cement plant in Kosjeric. From then on, the exploitation has been continually going on – which is remarkable in a country, that was distressed by the break-up of Yugoslavia, later on by the war and the following sanctions that destroyed much of its infrastructure and industry.

The limestone deposit is located in the area of the town Kosjeric in Western Serbia, the Zlatibor district, aside the way towards the small town Seca Reka, between the Valjevo mountains (Povlen 1346 m, Maljen 1102 m) in the North and Drmanovina (1022 m) and Crnokosa (809 m) in the South.

The limestone of the Suvo Vrelo deposit is directly used to feed the TITAN cement plant in its close neighborhood.

2 Project development

Transportation of the excavated material at the Suvo Vrelo quarry until now is mostly gravitational, which in others words means: it is being pushed from one to a lower bench with the help of excavators and bulldozers. This current mining method of gravitational transport from the benches to loading points offers several problems regarding safety of operations and mining selectivity. Further, it hampers scheduling, planning and implementation of a rehabilitation-reclamation program as well.

In December 2006, TITAN Cementara Kosjeric started the project KJR Quarries Master Plans for long-term (40 years) mining operations in order to improve and change the mining method. Two alternative methods were surveyed in detail:

- Method 1: „Conventional method“: Key stone of this method was the trasnportation by trucks in the area of the quarry. Gravitational transport „over the bench“ should by that be replaced.
- Method 2: „Shaft and tunnel“: This concept includes crushing the material already on top oft he quarry and then transportation through (gravitational) shafts. At the bottom of the shafts, conveyor belts installed in a tunnel will take over the material.

This later alternative concept no. 2 of mining showed the most favorable results for limestone exploitation at the Suvo Vrelo quarry – in pre-feasibility and feasibility study as well in terms of:

- Safety of operations: A consequent and significant reduction of the risks of accident occurrence can be expected from minimized movement of trucks over long distances and under heavy circumstances.
- Cost effectiveness: The shaft & tunnel principle would reduce operating cost, that had been identified for the conventional transportation.
- Efficiency and performance of operations: alternative transportation ways, much less vulnerable to external factors like the weather conditions, would secure continuous production – even during winter. Haulage by trucks would be endangered by the weather on the access roads, more so over bridges, because on the way to the cement plant they have to cross the creek.

Im Mai 2019 bekam Thyssen Schachtbau GmbH den Auftrag, zwei Schächte an einem Steinbruch in der Nähe der Kleinstadt Kosjeric zu bauen.

Der Steinbruch und die nahe gelegene Zementfabrik gehören heute der griechischen TITAN Gruppe. Die Kalksteingewinnnung für die Zementfabrik Kosjeric erfolgt in der Lagerstätte Suvo Vrelo aber bereits seit 1976. Seither ist der Steinbruch durchgängig in Betrieb – bemerkenswert in einem Land, das durch den Zusammenbruch Jugoslawiens, später durch Krieg und Sanktionen, fortwährend in Mitleidenschaft gezogen wurde.

Die Kalksteinlagerstätte befindet sich in der Gemarkung der Stadt Kosjeric in Westserbien, im Zlatibor-Kreis, neben der Straße, die in das Städtchen Seca Reka führt, eingebettet zwischen den Valjevo-Berge (Povlen 1346 m, Maljen 1102 m) im Norden und Drmanovina (1022 m) und Crnokosa (809 m) im Süden.

2 Projektentwicklung und Planung

Im Suvo Vrelo Steinbruch wird das gesprengte Haufwerk bisher vor allem mithilfe von Baggern und Schubraupen über die Böschungskanten von höher gelegenen Ebenen des Steinbruches auf tiefere geschoben. Von hier aus erfolgt der radgebundene Transport ins Zementwerk zum Brecher. Diese Transportmethode ist zwar technisch einfach umzusetzen, birgt jedoch eine Vielzahl von Problemen hinsichtlich Arbeitssicherheit und Produktqualität (bzw. deren Selektivität). Darüber hinaus sind Planung und Erhaltung von Transportwegen zu den unterschiedlichen Ladepunkten und die Umsetzung des Rekultivierungsprogramms erschwert.

Im Dezember 2006 startete die TITAN Cementara Kosjeric daher das Projekt „KJR Steinbrüche – Master Plan“, um für den langfristig geplanten Betrieb (ca. 40 Jahre) und die Abbaulogistik zu optimieren. Hierbei wurden zwei Varianten im Detail betrachtet:

- Variante 1 „Konventionelle Methode“: Schlüsselbaustein der konventionellen Methode ist der radgebundene Transport innerhalb des Steinbruchs. Auf den Sturztransport über die Böschungskante hinweg soll demnach weitestgehend verzichtet werden.
- Variante 2 „Sturzschacht und Stollen“: Das zweite Konzept sieht vor, das gesprengte Material zunächst über einen im Steinbruch positionierten Brecher einem Sturzschacht zuzuführen. Der Abzug aus dem Sturzschacht erfolgt über eine Förderinne und Förderband, die im Unterfahrungsstollen installiert sind.

Grundsätzliches Ergebnis sowohl der Pre-Feasibility- als auch der im weiteren Verlauf durchgeführten Feasibility-Studie ergab, dass eine Abbaulogistik beruhend auf dem Konzept Sturzschacht/Stollen die vorteilhafteste Lösung für die Kalksteingewinnung in Suvo Vrelo darstellt.

- Arbeitssicherheit: Eine signifikante Reduktion des Unfallrisikos ist durch deutlich verringerten Verkehr von LKW über längere Distanzen unter schweren Bedingungen zur erwarten.
- Kosten: Im Vergleich zur radgebundenen Abbaulogisik im Steinbruch zeigt das Konzept Sturzschacht/Stollen die Möglichkeit zur Kostenreduktion. Kostentreiber der erstgenannten Varianten sind insbesondere Wegebau und Fahrbahninstandhaltung sowie höhere Betriebskosten.
- Effizienz und Leistung des Betriebs: Die für die radgebundene Abbaulogistik erforderlichen längeren Transportwege innerhalb des Steinbruchs machen diese Variante aufgrund der externen Faktoren sehr anfällig. Die extremen Wetterbedingungen im Winter in Westserbien in Betracht ziehend, insbesondere in der Zlatibor-Region, wo erhebliche Mengen von Schnee zu erwarten sind und in Frühling und Herbst heftige Niederschläge, stellen für den radgebundenen Transport ein großes Risiko dar. Zusätzlich zur Fahrbahninstandhaltung sind demnach Kosten zu berücksichtigen, die durch wetterbedingte Leistungsminderung bzw. -ausfall entstehen. Der Materialtransport beim

- Environmental impacts: No need to construct an access road including bridges, that would disturb the creek that meanders along the bottom of the quarry. Another surplus: the number of haul trucks could be gradually reduced and kept only for transportation from quarry/bottom plateau to the cement plant.
- Last, the shaft & tunnel method would in the long term potentially completely replace transportation by trucks: A combination with continuous transportation by overland belt conveyors from the bottom quarry plateau to the cement plant would be an option.

While the study was conducted by the Faculty of Mining and Geology from Belgrade, the detailed project designing in the following was done by the RdS Company from Bor. After the approval of the Mining Project and all other required documentation, in June 2013, TCK was finally provided with the Mining Operation Permit for the shaft & tunnel.

3 Implementation steps of the project

The implementation of the project was planned in six steps:

- construction on access road and creation of plateau on top of the quarry,
- tunneling and supporting,
- shaft construction (raise boring) and lining,
- installation of conveyor system (belt conveyors, hopper/feeder etc.) inside the tunnel – mechanical,
- installation of conveyor system inside the tunnel – electrical,
- procurement of mobile equipment (crusher, link conveyors) for the operation on the top of the quarry.

1. Access construction. Since July 2013, a haul road had already been in operation. That needed to be extended from level +500 to +625. Additionally, the construction of a plateau at level +625 was necessary for the shaft building machinery like the raise boring rig and hoisting system – and later on, for the mobile equipment like crushers etc. on the quarry top. This part, the first phase of the project implementation, was finished in 2014.
2. Tunnel construction. The construction of an access road to the tunnel entrance level was completed in October 2015. The opening of the tunnel started from the level +473 m. The length of the tunnel is 212 m, with a rise of 5.7. Its profile has the width of 3.9 m and height of 3.8 m. The tunnel was excavated by drilling and blasting. For the tunnel support measures shotcrete, anchors and wire mesh were used, depending on the geological condition. Parts of the tunnel needed to be expanded/widened so as to create the required chambers for the opening of the shafts and the installation of future equipment. The tunnel was not only a precondition for the raise boring method, which needs access to the planned shaft bottom, but it also secured natural ventilation during works within the shafts.
3. Shaft construction. Due to the extreme safety risks of shaft construction by using the Alimac method, the client decided to use the raise boring method for shaft construction. With that decision TITAN showed itself a pioneer in the Western Balkan region. Only in Northern Macedonia the method had been applied so far. Shaft S1 connects the end of the tunnel with the plateau on level +625 m, in the length of approx. 122 m. Diameter for the raise boring was 3.5 m. With the installed lining, the bright cross section would be a net diameter of 2.9 m. The opening of the shaft S2 had to start from chamber C2 of the tunnel and go up to the level +601 m, in the length of approx. 106 m with the same round bright cross section as shaft S1. The final lining of the shaft was planned as a combination of steel pipes in the lower part and reinforced concrete in the upper.

Konzept Sturzschacht/Stollen ist deutlich weniger abhängig von Witterungsbedingungen. Eine kontinuierliche Rohstoffgewinnung – selbst im Winter – wäre möglich.

- Umwelt: Die Reduktion von radgebundenem Transport geht mit einer Reduzierung der Staubemissionen einher. Weiterhin können weitere Baumaßnahmen (zusätzliche Zufahrtsstraßen, Bachquerung, etc.) eingespart werden.
- Weiteres Optimierungspotential: Langfristig besteht die Möglichkeit den radgebundenen Transport vollständig durch eine kontinuierliche Förderung zu ersetzen. Hierfür wären Förderbänder am Fuß des Steinbruchs bis zum Werk zur Erweiterung des Systems erforderlich.

Die o.g. Studien wurden von der Fakultät für Bergbau und Geologie der Universität Belgrad durchgeführt. Im Nachgang übernahm die Firma RdS aus der Bergbaustadt Bor die detaillierte Planung. Nach erfolgreicher Genehmigung des Bergbauprojektes und aller notwendigen Dokumentation erhielt im Juni 2013 die TITAN Cementara Kosjeric die Erlaubnis zum Betrieb gemäß der Konzeptvariante 2 „Sturzschacht/Stollen“.

3 Umsetzung der Projektschritte

Die Umsetzung des Konzeptes „Sturzschacht/Stollen“ ist in die sechs nachfolgenden Prozessschritte gegliedert:

- Erstellung einer Zufahrtsstraße und eines Plateaus über dem Steinbruch,
- Auffahren und Ausbau des Unterfahrungsstollens,
- Erstellung der Schächte mittels Raisebohrverfahren und Ausbau derselben,
- Einbau eines Förderbandsystems im Stollen untertage – mechanisch,
- Einbau eines Förderbandsystems im Stollen untertage – elektrisch,
- Implementierung der mobilen Ausrüstung (Brecher etc.) übertage.

1. Bau einer Zufahrt: Seit Juli 2013 ist bereits eine Zufahrtsstraße in Betrieb. Diese musste von Ebene +500 bis +625 verlängert werden. Zusätzlich erfolgte die Erstellung eines Plateaus auf Ebene +625, zunächst für die für den Schachtbau benötigte Ausrüstung und später für die mobile Ausrüstung wie Brecher. Die erste Projektphase wurde 2014 fertiggestellt.
2. Stollenvortrieb: Der Bau einer Zufahrtsstraße zum Stollenportal wurde im Oktober 2015 fertiggestellt. Die Auffahrung des Stollens begann bei +473 m. Die Länge beträgt 212 m bei einer Steigung von 5,7°. Im Profil hat der Stollen eine Breite von 3,90 m und eine Höhe von 3,80 m. Der konventionelle Vortrieb erfolgte mit Bohr- und Sprengtechnik. Für den Ausbau wurden Spritzbeton, Anker und Drahtnetz verwendet, abhängig von den geologischen Bedingungen. Im Schachtfußbereich wurde der Stollen aufgeweitet, um die notwendigen Kammern für die Schachtauffahrung und den Einbau der zukünftigen Ausrüstung zu ermöglichen. Der Tunnel war nicht nur Vorbedingung für das Raisebohrverfahren, das einen Zugang zum Schachtfuß benötigt, sondern sicherte zugleich die natürliche Bewetterung während der Arbeiten im Schacht.
3. Schachtbau: Mit der Wahl des Raisebohrverfahrens nimmt TITAN eine Pionierrolle in der Region des Westbalkan ein. Bisher kam diese Methode nur in Nordmazedonien zum Einsatz. Schacht S1 verbindet das Ende des Stollens mit dem Plateau auf Ebene +625 m in einer annähernden Länge von 122 m. Der Durchmesser der Raise-Bohrung beträgt 3,50 m. Mit dem eingebrachten Ausbau beträgt der lichte Durchmesser des Schachtes 2,90 m. Das Aufweiten des Schachtes S2 begann in Kammer C2 des Tunnels bis hinauf zu Level +601 m in einer Länge von etwa 106 m mit demselben (lichten) Durchmesser wie Schacht S1. Für den finalen Ausbau der Schächte war eine

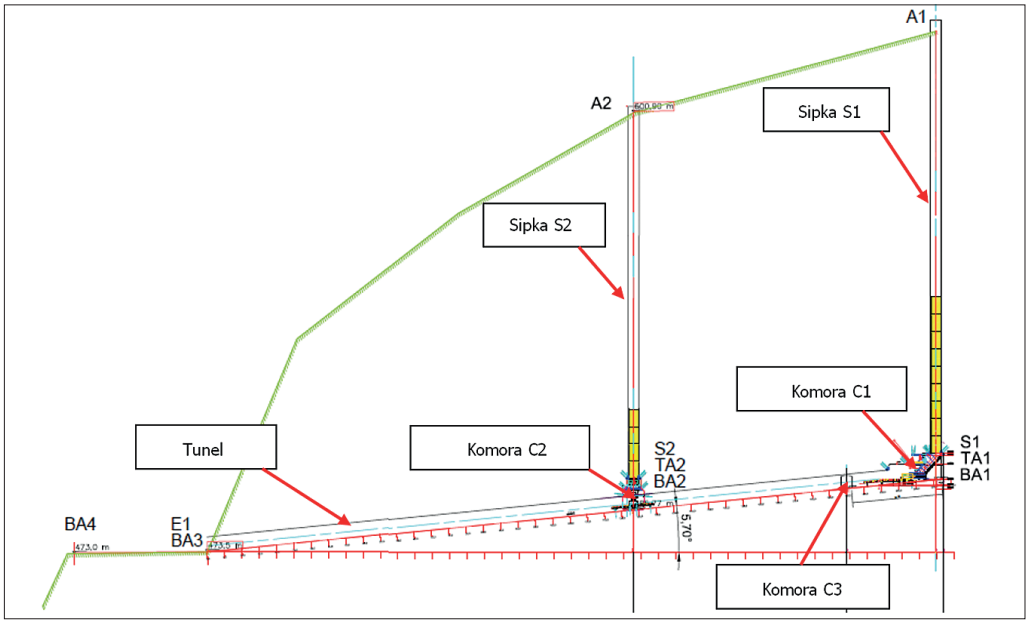

Fig. 1:
System tunnel–shafts (Source: TITAN)
Abb. 1:
System Sturzschacht–Stollen (Quelle: TITAN)

4. Underground installation of conveyor system – mechanical part. Phase four in that project, which is now under progress, includes the procurement and installation of all necessary mechanical equipment inside the tunnel (belt conveyors, hopper/feeder).
5 Underground installation of conveyor system – electrical part. The working step includes the electrical energy supplying, installation of transformer stations (on the quarry top and tunnel), control and surveillance systems, communication, ventilation, illumination, lightning protection and grounding, etc.
6. Surface installation of conveyor system. This last phase comprises the procurement of the standard mobile equipment (crusher, link conveyors) for the operations on the top of the quarry. That is the stage which includes the scoping, tenders, decision making, assignment, delivery and commissioning of the standard mining equipment.

Figure 1 gives an overview over the elements of the model described above: the shafts (sipka S1 and sipka S2), the tunnel (tunel) and the chambers (komora) below the shafts.

4 Shaft construction at the Suvo Vrelo quarry

The shaft construction is divided in two main phases: pilot drilling and raise boring as the first, afterwards temporary and final shaft lining in the second phase. In the following, this article shall outline the two phases and the specific challenges at the Suvo Vrelo Quarry and in Serbia in general.

4.1 Raise boring – the method

The raise boring method operates on the principle of first drilling a pilot hole down and then reaming the hole upward to the needed size (Figure 2). This is possible in one or more stages. Basic requirement is a drift or other access to the lower level or shaft bottom. Furthermore, stable rock behavior with medium to hard rock strength is required. The drill bit will be replaced by the reamer when the pilot whole is finished.

Developed in Northern American ore mines in the 1950s, the method and rigs show a fascinating evolution. Nowaday´s Raise boring rigs have huge capacities: Specialist texts from 2007 give 1.0 to 6.0 m diameter and depths of 50 to 1200 m as maximum parameters [4], but machine manufacturers of raise boring rigs claim already over 8 m diameter, 2000 in depth [5] and an incli-

Kombination von Stahlrohren im unteren Teil und armiertem Beton im oberen vorgesehen.
4. Untertägige Installation des Förderbandsystems – Mechanik: Phase vier in dem Projekt, die augenblicklich im Gange ist, beinhaltet die Beschaffung und den Einbau der mechanischen Ausrüstung für den Tunnel (Förderbänder, Hopper/Feeder etc.).
5. Untertägige Installation des Förderbandsystems – Elektrik: Dieser Arbeitsschritt beinhaltet die Versorgung mit elektrischer Energie, den Einbau von Trafo-Stationen (am Kopf des Steinbruchs und im Tunnel) Kontroll- und Überwachungssysteme, Kommunikation, Ventilation, Beleuchtung, Blitzschutz und Erdung usw.
6. Übertägige Förderband-Installation: Diese letzte Phase beinhaltet die Beschaffung einer mobilen Standard-Ausrüstung (Brecher, Gliederbänder) für den Betrieb am Kopf des Steinbruchs. Darein fallen Auftrag, Ausschreibung, Auswahl, Lieferung und die Inbetriebnahme der Standard-Bergbau-Ausrüstung.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Elemente des oben beschriebenen Modells: die Schächte (Sipka S1 und S2), der Stollen (tunel) und die Kammern (komora) jeweils am Schachtfuß.

4 Schachtbau im Steinbruch Suvo Vrelo

Der Schachtbau ist in zwei Phasen zu unterteilen: Pilotbohrung und Aufweiten als erste, anschließend vorübergehende Sicherung und finaler Ausbau als zweite Phase. Im Folgenden werden die beiden Phasen und die speziellen Anforderungen am Suvo Vrelo-Steinbruch und in Serbien im Allgemeinen skizziert.

4.1 Das Raisebohrverfahren allgemein

Das Raisebohrverfahren beinhaltet zuerst das Erstellen einer Pilotbohrung (i.d.R. abwärts gerichtet) und das anschließende Aufweiten derselben im gewünschten Durchmesser aufwärtsgeführt. Dies ist in einer oder mehreren Stufen möglich. Grundvoraussetzung sind ein Zugang zum Schachtfuß (Abbildung 2) sowie standfestes Gebirge.

Bereits in den 1950er-Jahren wurde das Verfahren im nordamerikanischen Erzbergbau entwickelt. Mit der modernen Gerätetechnik konnten die Leistungsgrenzen fortwährend gesteigert werden: Während in Fachartikeln von 2007 noch Bohrdurchmesser von 1,0 bis 6,0 m und Teufen von 50 bis 1200 m als maximale Parameter genannt werden [4], bieten heute Hersteller Anlagen in Leistungs-

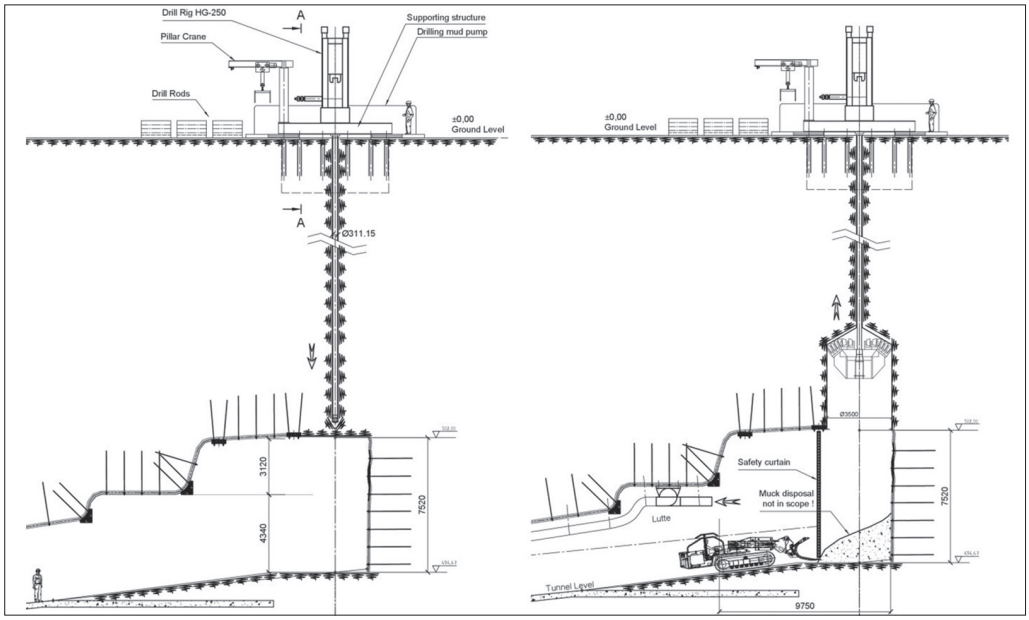

Fig. 2:
Pilot hole and reaming (Source: Thyssen Schachtbau GmbH)
Abb. 2:
Pilotbohrung und Aufweiten (Quelle: Thyssen Schachtbau GmbH)

nation up to 45° as possible. Using special constructions even 90° can be bored [6].

The pilot hole is drilled top-down, rotary drilling with minor diameters usually up to 350 mm. A drilling mud (e.g. water and additives), pumped downwards through the drill pipe to cool the drill bit, carries the cuttings upwards in the annular space between the drill pipe and the wall of the drill hole.

Accuracy of the pilot hole can be increased using a directional drilling system (like drilling motor with MWD-tool) or with a stabilized drill string. Long and/or inclined shafts can make this necessary or client´s specifications or geologically challenging conditions. After finishing the pilot hole, the reamer head replaces the drill bit.

The excavated material called "cuttings" falls downwards and need continual removal. In the loading area underneath the open shaft there is a strict access restriction during drilling works. When the reaming is completed, the reamer head is either dismantled above ground or lowered back into the drift for dismantling.

4.2 Raise boring at Suvo Vrelo

At TITAN´s Suvo Vrelo quarry two shafts with lengths of 106 m and 122 m with excavation diameter of 3.50 m were constructed.

The narrow and steep roads of the quarry and the limited space available at the drilling site were special challenges in the planning of operations. Once more, the modular design of the raise-boring system type Wirth-HG250 (Table 1, Figure 3) was an advantage.

The pilot hole was drilled with 12¼" diameter, using an insert bit according to the forecasted geology. Varying and adjusting

klassen für Durchmesser über 8 m und Teufen bis zu 2000 m [5]. Raisebohrungen können mit Neigungen von 45°, unter Anwendung von Spezialkonstruktionen sogar horizontal durchgeführt werden [6].

Die Herstellung der Pilotbohrung erfolgt als Rotationsbohrung für gewöhnlich mit Durchmesser von ca. 350 mm. Die Spülung (z.B. Wasser mit Zusätzen) wird durch den Bohrstrang gepumpt, einerseits um den Meißel zu kühlen und anderseits um den Bohrkleinaustrag durch den Ringraum zwischen Bohrstrang und Bohrlochwand zu gewährleisten.

Die Genauigkeit der Pilotbohrung kann durch einen stabilisierten Bohrstrang oder die Nutzung eines Richtbohrsystems erhöht werden (z.B. Bohrmotor mit MWD-Tool). Nach Fertigstellung der Pilotbohrung ersetzt der Erweiterungskopf den Bohrmeißel.

Das Ausbruchsmaterial fällt abwärts und wird am Schachtfuß abgefördert. Im Ladebereich gelten strikte Zugangsbeschränkungen während der Bohrarbeiten. Nach Fertigstellung der Aufweitung wird der Erweiterungskopf entweder am Schachtkopf herausgehoben und zerlegt oder zum Schachtfuß abgesenkt und dort vom Bohrstrang gelöst.

4.2 Raisebohrungen im Suvo Vrelo-Steinbruch

Der Projektumfang am Steinbruch Suvo Vrelo der Firma TITAN umfasste die Herstellung von zwei Schächten mit Teufen von 122 m bzw. 106 m. Der Ausbruchdurchmesser betrug 3,50 m.

Die engen und steilen Zufahrtswege innerhalb des Steinbruchs und der begrenzte Platz am Bohrplatz waren eine besondere Herausforderung. Der modulare Aufbau der eingesetzten Raise-

Table 1: Technical data of the raise boring rig Wirth-HG 250
Tab. 1: Technische Daten Raisebohranlage Wirth-HG-250

Manufacturer	Wirth
Typ	HG250
Power	250 kW (at 1500 RPM)
Max. torque	15,000 mkp/147 kNm
Max. break torque	16,000 mkp/157 kNm
Max. pulling force	270,000 kp/2648 kN
Raise bore rods	10" diameter, 60" length, 7¾" H-290 connection
Total weight (installed)	approx. 25 t

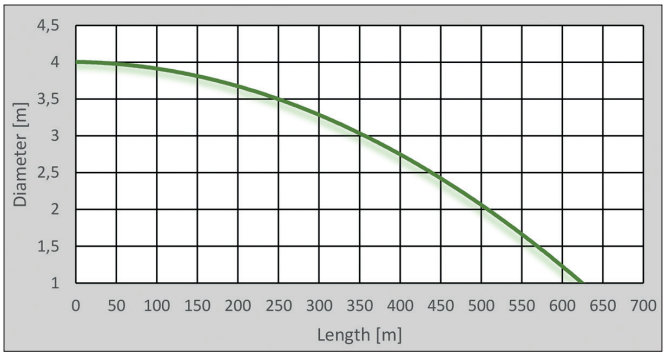

Fig. 3: Range of application HG 250
Abb. 3: Einsatzbereich HG 250

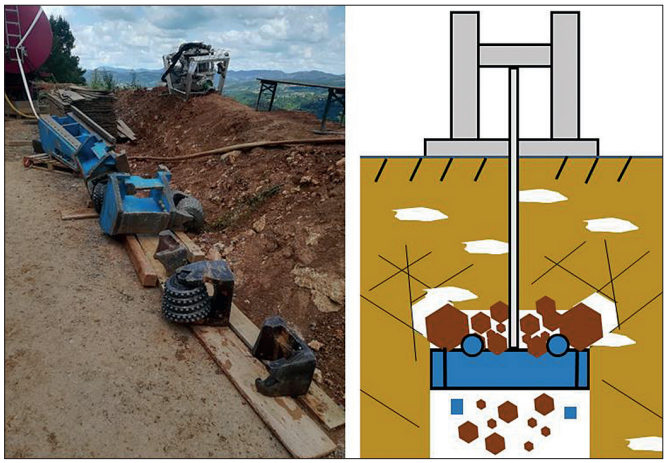

Fig. 4: Photo of the damaged plant components at the location of shaft 1; schematic illustration (right) of the processes during the raising shows the slippage of non-demountable cubatures of >1 m (Source: Alpinfra Engineering/Thyssen Schachtbau).

Abb. 4: Foto der beschädigten Anlagenteile an Schacht 1; schematische Darstellung (rechts) des Prozesses während der Aufweitung zeigt das Abrutschen nicht-zerlegbarer Kubaturen >1 m (Quelle: Alpinfra Engineering/Thyssen Schachtbau)

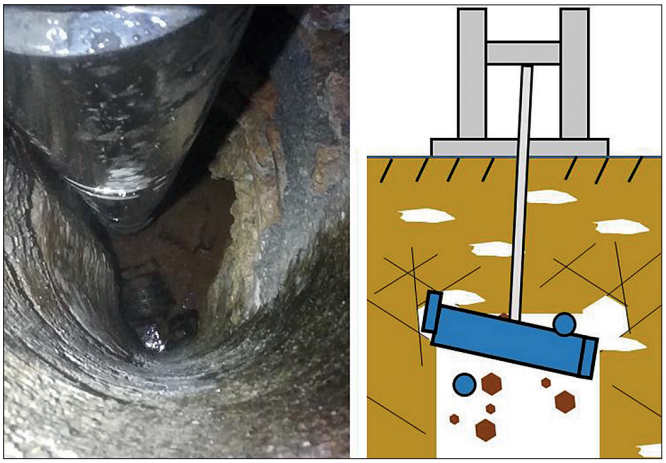

Fig. 5: Left: Photo of the inclination of the reamer as a result of the exposed cavities in the excavation area of shaft 1; right: schematic illustration showing the tilting of the reamer as a result of the exposed cavities (Source: Alpinfra Engineering/Thyssen Schachtbau)

Abb. 5: Links: Foto der Neigung des Reamers als Resultat der freigelegten Hohlräume während der Erstellung von Schacht 1; rechts: schematische Darstellung des Kippens des Reamers aufgrund der freigelegten Hohlräume (Quelle: Alpinfra Engineering/Thyssen Schachtbau)

the positions of three stabilizers let the pilot borehole meet the planned accuracy of max 30 cm deviation. But geological circumstances during the drilling showed themselves less favorable then had been expected. Massive mud losses needed to be handled with polymer-based additives and borehole cementations. Despite the geologically caused difficulties, daily performance rates of 30 to 40 m could be reached with a maximum performance of 55 m/d.

Geological conditions encountered during the reaming process were even less favorable. Especially in the upper parts of the shafts, large boulders of average size in the range of 2 m^3 fell onto and underneath the reamer (Figure 4). The large loose blocks lying on the reamer could not be fragmented. That caused considerable damage of the cutting tools and extra time to be spent on repair works. Although the geological difficulties disrupted the reaming process several times, a daily average performance of approx. 14 m/d could be achieved. The maximum performance in the lower area of the shafts, where the rock appeared more "healthy", was 20 m/d.

Increased sliding of the large blocks exposed larger cavities and the unexpectedly high karstification of the rock mass at the shaft location facilitated that process. The result was an uneven shaft wall with - in parts- larger lateral dilution. It was hardly possible to induce even contact pressure between the reamer and the rock mass in the shaft area.

The karstic features encountered led to global (complete perimeter of the raise boring operation) instabilities above the reamer head (Figure 5).

Since in the upper shaft area instability increased, the client and the Thyssen Schachtbau GmbH team decided to stop raise boring works. The remaining meters (approx. 10 m) were to be excavated conventionally – by drilling and blasting. The hoisting equipment went into operation ahead of schedule: It was installed and used for the excavation. The pilot bore could serve for gravitational transport of the excavated material. Finally, the first chapter of the shaft construction could be successfully finished.

4.3 The hoisting system

When reaming needed to be stopped, the drilling rig was moved from S1 to S2 and simultaneously replaced by the hoisting system.

bohranlage Wirth-HG-250 (Tabelle 1, Abbildung 3) erwies sich hierbei als Vorteil.

Die Pilotbohrung wurde mit einem Durchmesser von 12¼" mit einem Warzenmeißel gebohrt, entsprechend der prognostizierten Geologie. Durch die variable Positionierung der drei Stabilisatoren konnte die geforderte Genauigkeit der Pilotbohrung von max. 30 cm Abweichung erreicht werden. Aufgrund von Spülungsverlusten wurden polymerbasierte Spülungszusätze eingesetzt und und in weiterer Folge Bohrlochzementationen durchgeführt. Trotz der geologisch bedingten Schwierigkeiten wurden Tagesleistungen von 30 bis 40 m erreicht, im Maximum sogar 55 m/d.

Im Zuge der Aufweitungsbohrungen erschwerten die angetroffenen geologischen Verhältnisse die Arbeiten. Insbesondere in den oberen Bereichen beider Schächte ereignete sich aufgrund globaler Instabilitäten großvolumiger Nachfall aus der Schachtwand sowie aus dem Bereich oberhalb des Aufweitungsbohrkopfes, vornehmlich bedingt durch eine unerwartete hohe Karstifizierung des Kalksteins im Schachtbereich. Felsblöcke von bis zu 2 m^3 beschädigten wiederholt die Schneidrollen sowie den Grundkörper und erforderten einigen Reparaturaufwand (Abbildung 4). Die entstandenen Hohlräume ermöglichten es nicht, die Andruckkraft über den Aufweitungskopf gleichmäßig ins Gebirge zu übertragen (Abbildung 5). Trotz der geologischen Schwierigkeiten, die zu wiederholten Stillständen führten, wurde eine durchschnittliche Tagesleistung von ca. 14 m erreicht. Im unteren Schachtbereich konnten sogar bis zu 20 m/d erzielt werden, da hier durchgängig standfester Fels angetroffen wurde.

Da im oberen Bereich die Instabilität zunahm, wurde einvernehmlich entschieden die Raisebohrarbeiten einzustellen. Die restlichen Meter (ca. 10 m) wurden jeweils konventionell geteuft – mittels Bohr- und Sprengtechnik. Die Schachtförderanlage, welche ursprünglich für das Einbringen der Gebirgssicherung und des Schachtausbaus geplant wurde kam somit frühzeitig zum Einsatz: Das Pilotbohrloch diente zum Abtransport des gelösten Haufwerks. Damit wurde die Phase des Schachtteufens erfolgreich beendet.

4.3 Schachtfördersystem

Nach Abbruch der Raisebohrarbeiten an Schacht 1 wurde die Bohranlage zu Schacht 2 transportiert. Parallel dazu wurde das

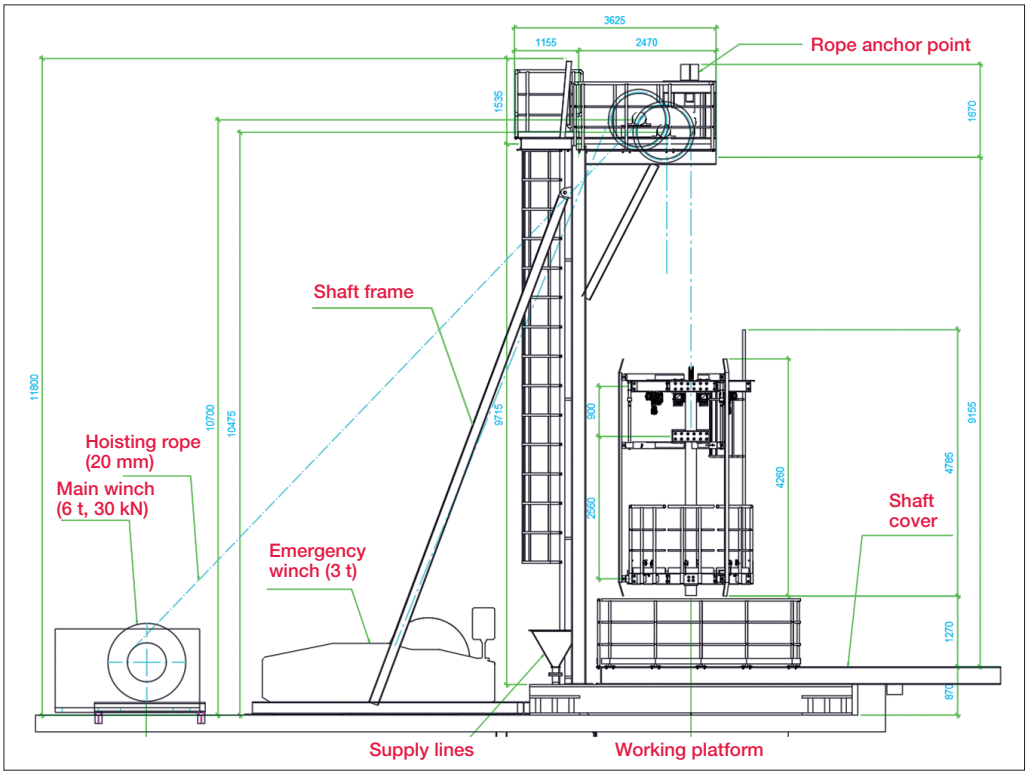

Fig. 6:
Hoisting system (Source: Thyssen Schachtbau)
Abb. 6:
Schachtanlage (Quelle: Thyssen Schachtbau)

The system, consisting of shaft frame and shaft cover, 8-t-main winch for the working platform, 3-t-emergency winch with emergency cage and communication system (Figure 6) was specially developed and designed for installation of rock support and lining in raise-bore shafts.

All components were imported either from Germany or Austria, designed and constructed according to German/European standards, brought in line with the Serbian regulations. As the Serbian regulations is in need of modernization, the consideration of all national and international standards was a challenge that was successfully met in close cooperation with the Serbian Mining Ministry.

Due to the fact that all installations were based on the former foundation of the drill rig, the time needed from mantling to certification of the hoisting system was approximately one week.

4.4 Temporary rock support and final lining

All works in the shaft were carried out from the working platform. In general, that was extending or removing supply lines (water, concrete, compressed air, electricity, etc.) and installation of rock support. Temporary rock support was installed from the top downwards.

The following types of rock support was applied:

- systematic rock bolting (resin bolts, F = 180 kN, L = 2 m),
- wire netting.

The drilling of the boreholes was done by using hand-guided pneumatic hammer drills. Pneumatic holders were used for support horizontal or upward drilling. Compressed air was supplied via a pipeline.

The installation of the final lining was bottom-up. As mentioned before, a combination of steel and reinforced concrete had been chosen. 15 m steel tube lining were embedded in the lower part and reinforced concrete lining reinforced with steel fibres (40 kg/m³) fit in the upper. The final inner diameter of the shaft was 2.9 m. This combination had been chosen to combine the advantages of each of the materials, so that the shafts will withstand the stresses and strains the next 40 years (or more) shall bring them.

Schachtfördersystem installiert, bestehend aus Schachtgerüst, Schachtabdeckung, 8-t-Haspel mit Arbeitsbühne, 3-t-Notfahrwinde mit Rettungskorb sowie Kommunikationssystem (Abbildung 6). Das Schachtfördersystem wurde von Thyssen Schachtbau speziell für das Einbringen von Gebirgssicherung und Ausbau in Schächten mit geringem Durchmesser geplant.

Alle Komponenten wurden entweder aus Deutschland oder Österreich importiert, geplant und gebaut gemäß deutschen/europäischen Standards (TAS), die mit den serbischen Regulierungen in Einklang gebracht wurden. Da die serbischen Regelwerke einer Modernisierung bedürfen, war es durchaus eine Herausforderung alle nationalen und internationalen Standards zu erfüllen, die aber in Zusammenarbeit mit dem serbischen Bergbauministerium erfolgreich gemeistert werden konnte.

Da die Einrichtung auf dem Fundament der Bohranlage aufgebaut wurde, wurde nur ca. eine Woche vom Aufbau bis zur Zertifizierung der Anlage benötigt.

4.4 Temporäre Gebirgssicherung und finaler Schachtausbau

Alle Arbeiten im Schacht, z.B. das Verlängern oder Rauben der Versorgungsleitungen (Wasser, Beton, Druckluft, Elektrizität usw.) und der Einbau von Gebirgssicherung, wurden von der Arbeitsbühne ausgehend ausgeführt. Das Einbringen der Gebirgssicherung erfolgte von oben nach unten. Die folgenden Typen von Sicherung wurden verwendet:

- Systemankerung (Klebeanker F = 180 kN, L = 2 m),
- Drahtnetzmatten.

Das Bohren der Ankerlöcher erfolgte mit handgeführten Bohrhämmern. Druckluftstützen wurden für die horizontalen oder aufwärts gerichteten Bohrungen verwendet. Die Druckluftversorgung erfolgte über eine Rohrleitung. Aufgrund der geringen Maschenweite des Drahtnetzes konnte auf das Anbringen von Spritzbeton als Kopfschutz verzichtet werden.

Nach Fertigstellung der Gebirgssicherung folgte der Einbau des endgültigen Ausbaus von unten nach oben. Der endgültige, lichte

A base ring in the tunnel serves as a foundation for the shaft lining. Steel tube segments (W = 18 mm, H = 2.5 m) were lifted into the shaft from the surface and backfilled with concrete.

Following the lower steel lining, a reinforced concrete lining (W = 30 cm) was implemented in the remaining shaft using a climbing formwork. The formwork consists of three to four formwork rings, each consisting of four foldable segments (H = 1.5 m). The daily average performance was approx. 6 m.

5 Conclusion and outlook for Serbia – a modernizing mining nation

With about 77,000 km² and 7 million inhabitants, Serbia is a relatively small country, but due to its geographical position and geological history of origins rich of deposits of varying kinds of ores and other raw materials. A detailed overview of deposits can be found in articles by Jelenkovic et al. [8]. The approval of enormous deposits of precious metals, like gold and copper but also other minerals like lithium in the last few years led to a real mining boom in Serbia, leading foreign investors from Canada, Australia and the most recent past from China in the country. At the moment there are more than 300 mines and quarries in Serbia, and over 20 large international mining companies carrying out geological exploration. Well known terms in mining like the "Tethyan Belt" or "ABCD-Province" (Alpine-Balkan-Carpathian-Dinaride metallogenic geodynamic province) are areas rich in ore,that are partly tob e found in Serbia (details see [7, 8]). Zinc, lead, copper and gold or iron can be found beside coal and many other ores, gems and energetics [9].

In todays economy, mining is one of the five most important economic branches in Serbia. Serbia's government targets a 5 % of GDP to be developed in mining – and that will surely be reached within the next years, judges Dominic Roberts, Operations Director at Mineco LTD [10].

Between 2015 and 2018, 60 to 95 million Euros were spent on geological exploration of (potential) ore deposits – which paid out, since a significant number of deposits was approved and negotiations on the opening of new mines are going on.

The Law on Mining and Geological Exploration with its last version from 2015 had been adapted to the European legal framework in the accession process – especially parameters for mining licenses. Following regulation, and there is a bias for mining contractors, are waiting for a similar treatment. For example, the raise boring method is not foreseen in any Serbian rule book, so how can the rules that exist be applied to it? There are detailed explanations for manual raises and work with a raise climber, but raise boring has not yet found its place in the regulations. Furthermore, temporary installations for shaft lining underlie the same regulation as permanent hoisting systems. Other regulations like the German TAS use to distinguish and acknowledge differences in details.

In future the need to adopt rules in this area will surely increase. Those, who hope that European harmonization might be the solution, will be disappointed: Excluding ATEX there is no common European regulation valid, although there are professional networks groups like Euromines working on it [11]. Furthermore, experience shows, that due to the lack of an own functional technical regulation in the field of mining, many European countries like Switzerland, Belgium, Austria and France just as Russia accept the German TAS and use it as regulation, that needs to be obeyed, even in public tenders.

The situation on the global markets and changing rules and laws as a part of the EU pre-accession process create new challenges for companies and entrepreneurs in the mining sector and connected industries – impacting obligations in health and safety at work as much as environmental issues.

These circumstances and the will to push efficiency in a (except the energetic sector) privatizing mining sector make investing

Durchmesser des Schachtes beträgt 2,90 m. Hierfür wurde zunächst an der Firste der Schachtfußkaverne ein Fundamentring verankert. Auf den ersten 15 m des Schachtes wurde Stahlverkleidung mit Betonhinterfüllung verbaut. Die Stahlrohrsegmente (Wandstärke = 18 mm, H = 2.5 m) wurden von übertage in den Schacht eingebracht. Im Anschluss an den Stahlausbau im unteren Bereich wurde ein Betonausbau (Wandstärke = 30 cm, Bewehrung mit Stahlfaser 40 kg/m³) im übrigen Schacht mithilfe einer Umsetzschalung eingebaut. Die Schalung besteht aus drei bis vier Schalungsringen, von denen wiederum jeder aus vier einklappbaren Segmenten besteht (H = 1,5 m). Der tägliche Leistungsdurchschnitt betrug ca. 6 m.

5 Schlussfolgerung und Ausblick für Serbien – eine Bergbaunation in der Modernisierung

Mit etwa 77 000 km² und 7 Millionen Einwohnern ist Serbien ein relativ kleines Land, aber bedingt durch seine geographische Lage und geologische Entstehungsgeschichte reich an Lagerstätten verschiedener Erze und anderer Rohstoffe. Ein detaillierter Überblick findet sich in den Beiträgen von Jelenkovic et al. [8]. Abbauwürdige Lagerstätten mit Gold- und Kupfererzen aber auch anderen Rohstoffen wie Lithium führten in den letzten Jahren zu einem regelrechten Bergbau-Boom in Serbien. Investoren kommen vornehmlich aus Kanada, Australien und in der jüngsten Vergangenheit auch aus China. Im Augenblick gibt es über 300 Bergwerke oder Steinbrüche in Serbien, über 20 internationale Bergbaufirmen führen Explorationsarbeiten durch. Im Bergbauumfeld bekannte Begrifflichkeiten wie z.B. der „Tethyan Belt" oder die „ABCD-Provinz" (Alpine-Balkan-Carpathian-Dinaride metallogenic geodynamic province) sind erzreiche Gebiete, die zu Teilen in Serbien verortet sind (Details s. [7, 8]). Zink, Insbesondere Blei, Kupfer, Gold oder Eisen sind dort zu finden neben anderen Erzen, Edelsteinen und Energieträgern wie Kohle [9].

In Serbiens heutiger Wirtschaft ist der Bergbau einer der fünf wichtigsten wirtschaftlichen Zweige. Die aktuelle Regierung hat einen 5 %-Anteil des Bergbausektors am BIP zum Ziel gesetzt – ein Ziel, das durchaus realistisch scheint [10].

2015 bis 2018 wurden in Serbien 60 bis 95 Millionen Euro jährlich in die Exploration von Lagerstätten investiert. Die Abbauwürdigkeit einer Reihe davon wurde bestätigt und aktuell laufen die Verhandlungen für die Errichtung von Bergwerken.

Das Gesetz für Bergbau und Geologie in seiner letzten Version von 2015 wurde angepasst an den europäischen Rechtsrahmen im Zuge des Annäherungsprozesses an die EU angepasst – insbesondere Bedingungen hinsichtlich des Erwerbs von Bergbaulizenzen. Nachfolgende Regelwerke, und hier lag auch beim ggst. Projekt die Herausforderung, warten allerdings noch immer auf eine Aktualisierung.

Das Raisebohrverfahren als solches ist in keinem serbischen Regelwerk vorgesehen. Dagegen sind detaillierte Ausführungen zum Auffahren von Aufbrüchen im Alimak-Verfahren zu finden, welches aufgrund des hohen Unfallrisikos in Deutschland verboten ist. Schachtbefahrungsanlagen zum Einbringen des Schachtausbaus unterliegen denselben Vorschriften wie permanente Förderanlagen. Andere Regelwerke wie beispielsweise die deutsche TAS unterscheiden an dieser Stelle und erkennen Unterschiede im Detail an.

In Zukunft wird die Notwendigkeit zur Anpassung auch dieser nachgeordneten Regelwerke steigen. Wer aber auf eine europäische, harmonisierte Lösung hofft, wird enttäuscht werden: Mit Ausnahme der ATEX gibt es keine gültige europäische Bergbauverordnung, wenngleich Netzwerke wie Euromines daran arbeiten [10]. Darüber hinaus zeigt die Erfahrung, dass in vielen Ländern wie der Schweiz, Belgien, Österreich oder Frankreich selbst in

necessary and drive modernization. Changing transportation and production from surface to underground to reduce the environmental and social impacts of mines and to increase cost efficiency are one manifestation.

The Greek cement producing company TITAN, which is operating quarries and plants in Serbia and Macedonia, is only one example – but the example, Thyssen Schachtbau GmbH had the pleasure to start its operating in Serbia with. And it was a successful start. Not only that a new method was introduces in the region, also students from both mining faculties in Belgrade and Bor used the opportunity to visit our site and get inspiration from our foreign and local workers. A special success for the project in terms of sustainability was the training and qualification of local workers. It makes us proud that we by successfully finishing a pioneer project, inspiriting young and soon-to-be professionals and qualifying local workers left a footprint in Serbian modernizing mining.

öffentlichen Ausschreibungen die deutsche TAS als Standard fungiert, da keine eigene nationale Regelung besteht.

Die Situation auf dem Weltmarkt, sich verändernde Regeln und Gesetze als Teil des EU-Annäherungsprozesses bringen neue Herausforderungen für Firmen und Unternehmer im Bergbausektor und den damit verbundenen Industrien – und beeinflussen Verpflichtungen in Gesundheitsschutz und Arbeitssicherheit so sehr wie ökologische Fragen.

Diese Umstände und der Wille, die Effizienz zu steigern in diesem sich privatisierenden Bergbausektor, machen Investitionen notwendig und treiben die Modernisierung voran. Eine Veränderung der Transportwege und Produktion von Über- nach Untertage, um ökologische und soziale Auswirkungen von Bergwerken zu reduzieren und um Kosteneffizienz zu erhöhen sind eine kleine Bestätigung dessen.

Der griechische Zementhersteller TITAN, der in Serbien und Mazedonien Steinbrüche und Werke betreibt, ist ein Beispiel – aber das Beispiel, das für Thyssen Schachtbau GmbH die Tätigkeit in Serbien begründete. Und es war ein erfolgreicher Start: Nicht nur, dass damit eine neue Methode in der Region ihre Einführung fand, sondern weil Studenten beider Bergbaufakultäten in Belgrad und Bor die Gelegenheit nutzten, die Baustelle zu besuchen und sich von unseren lokalen Mitarbeitern und den Mitarbeitern aus dem Ausland inspirieren zu lassen. Ein besonderer Erfolg hinsichtlich Nachhaltigkeit waren das Training und die Qualifikation von lokalen Arbeitern. Es macht uns stolz, dass wir durch ein erfolgreich durchgeführtes Projekt, durch die Aus- und Weiterbildung von Mitarbeitern und den Austausch mit zukünftigen Professionals einen Fußabdruck in Serbiens modernisierendem Bergbausektor hinterlassen konnten.

References/Literatur

[1] Mining Magazine (2018): The future of mining is underground. – URL – https://www.miningmagazine.com/partners/partner-content/1332132/the-future-of-mining-is-underground (Retrieved on 13.11.2020).

[2] The Future of mining: Four trends for tomorrows success (2019). – URL – https://mining.komatsu/blog/details/the-future-of-mining-four-trends-for-tomorrows-success (Retrieved on 13.11.2020).

[3] Schmäh, P., Künstle, B., Handke, N. & Berger, E. (2007): Weiterentwicklung und Perspektiven mechanisierter Schachtteuftechnik. – In: Glückauf **143**, Fachzeitschrift für Rohstoff, Bergbau und Energie, Nr. 4; VGE Verlag Essen, Essen, ISSN 0340-7896: 161-172.

[4] Herrenknecht, Raise Boring Rig RBR 900VF.

[5] Herrenknecht

[6] https://www.miningweekly.com/article/boring-to-depth-2017-06-08

[7] Tsirambes, A. & Fillipidis, A. (2016): Gold Metallogeny of the Serbomacedonian Rhodope Maetallogenic Belt (SRMB). – Bulletin of the Geological Society of Greece **50**, 4: 2037-2046.

[8] Jelenkovic, R. et al. (2008): Mineral Resources of Serbia, Geologica Carpathica **59**, 4: 345-361.

[9] Ministerium für Bergbau und Geologie (2013): Überblick über Lagerstätten in Serbien. – URL – https://www.srbijadanas.net/wp-content/uploads/2013/01/SerbiaOreDeposits.pdf

[10] Mining: A new “ace up the sleeve”? (28.02.2019), URL – https://www.ekapija.com/en/news/2383107/mining-a-new-ace-up-the-sleeve-for-serbia (Retrieved on 18.11.2020).

[11] http://www.euromines.org (Retrieved on 20.11.2020)