

# Propozycje zmian w technologii głębenia szybów w polskich kopalniach rud miedzi celem zwiększenia jej efektywności

## Changes in the shaft sinking technology in Polish copper ore mines to increase its efficiency



*Mgr inż. Sławomir Fabich\**



*Mgr inż. Marek Golanowski\**



*Dr inż. Sławomir Świtoń\**



*Mgr inż. Aldona Waligóra\**

**Treść:** Całokształt przedsięwzięć składających się na proces udostępniania złoża kopaliny użytecznej dedykowany jest konkretnym warunkom i formom jej zalegania, a wybór modelu wyrobiska oraz technologii jego wykonania uwarunkowane są wieloaspektową charakterystyką górotworu. Przy aktualnie stosowanej technologii w LGOM proces drążenia szybu do głębokości 1250 m, z 650 m strefą mroźeniową, trwa 5 lat. Zważając na wielkość inwestycji dąży się do skrócenia jej czasu i racjonalizacji kosztów. Celem tego planuje się wprowadzenie zmian w obecnie stosowanych technologiach głębenia wyrobisk udostępniających, a powstałych na bazie wieloletnich doświadczeń oraz licznych realizacji obiektów szybowych na terenach złożowych LGOM. W artykule zaprezentowano wyniki Zadania 5 Projektu I-MORE, współfinansowanego ze środków NCBiR oraz KGHM Polska Miedź S.A., którego nadrzędnym celem jest wypracowanie technologii głębenia szybów umożliwiającej realizację inwestycji w jak najkrótszym czasie, z zachowaniem bezpieczeństwa prac oraz przy możliwie najniższym poziomie kosztów.

**Abstract:** Shaft sinking process is dependent on specific geological, hydrogeological and mining conditions. Sinking of the 1250 m shaft with the technology that is currently used in LGOM mines lasts 5 years. The main goal of the investment is to shorten its time and to make costs more efficient. To achieve this target, some changes in the sinking technology were introduced. Those are based on experience of shaft sinking in LGOM mines which has been gained over years. This paper presents the results of Task 5 of the I-MORE Project, co-financed by the National Center for Research and Development and KGHM Polska Miedź S.A. The main goal of this project was to develop the shaft sinking technology which enables the investment to be completed in the shortest possible time, while maintaining work safety and the lowest possible cost.

### **Słowa kluczowe**

*udostępnianie złóż, szyby pionowe, technologie głębenia*

### **Keywords**

*first driving, vertical shafts, shaft sinking technologies*

\* KGHM Cuprum CENTRUM BADAWCZO-ROZWOJOWE Sp. z o.o., Wrocław

## 1. Wprowadzenie

Złoże rudy miedzi eksploatowane w rejonie monokliny przedsudeckiej udostępnione zostało za pomocą szybów pionowych. Obecnie trwa proces głębnienia 31 wyrobiska, tj. szybu GG-1, o docelowej głębokości 1340,70 m. Charakter udostępnienia jest następstwem skomplikowanych warunków geologicznych oraz hydrogeologicznych rozpatrywanego obszaru złożowego. Specyfika budowy masywu przejawia się m.in. poprzez duże zawodnienie w interwale głębokości od 0,0 do 312,00 ÷ 690,00 m (w zależności od lokalizacji). Skały występujące w głębszych partiach górotworu cechują się natomiast stosunkowo wysokimi parametrami wytrzymałościowymi, a także niewielkim zawodnieniem. Uwarunkowania jw. wymuszają konieczność stosowania specjalnych metod przygotowania masywu skalnego do głębnienia.

W ścisłym związku ze stosowanym modelem udostępnienia złoża oraz uwarunkowaniami geologiczno-hydrogeologicznymi w górotworze pozostają technologie głębnienia, które są ponadto dostosowane do typu zabudowywanej obudowy. Obecnie w interwale umiejscowienia poddawanych mrożeniu utworów kenozoicznych stosuje się urabianie mechaniczne, natomiast na odcinku zalegania skał zwięzłych technologią „Drill & Blast”. Metody głębnienia wyrobisk udostępniających, funkcjonujące w aktualnej formie, powstały na bazie stosowanych na początku lat 70. ubiegłego stulecia i dedykowanych dla szybów o średnicy 7,5 m. Zastosowanie technologii głębnienia w obecnej konfiguracji, umożliwi wydrążenie około 1250 m szybu, przy 650 m strefie mrożeniowej, w czasie 5 lat. Celowym jest więc, zważając na rozmiary i koszty inwestycji, dążenie do skrócenia czasu trwania prac i tym samym optymalizacji kosztów.

Celem artykułu jest opracowanie zmodyfikowanej ramowej technologii głębnienia szybów, umożliwiającej wykonanie wyrobiska udostępniającego w krótszym niż dotychczas czasie i przy jednoczesnym zachowaniu kryterium bezpieczeństwa prowadzonych robót (Praca ... 2016, Materiały ... 2018).

## 2. Przegląd aktualnie stosowanych rozwiązań technologicznych oraz ich weryfikacja w kontekście uzyskiwanych postępów głębnienia

Specyfika warunków geologicznych, hydrogeologicznych oraz górniczych w obrębie górotworu strefy złożowej kopalń LGOM istotnie wpływa na prace związane z udostępnianiem złoża, zarówno pod kątem przygotowania go do głębnienia, jak również podczas samego procesu wykonywania wyrobiska. Począwszy od powierzchni terenu do głębokości 330 ÷ 410 m p.p.t. zalegają utwory kenozoiczne, piaski, iły, mułki oraz węgle brunatne, w interwale których górotwór wykazuje duże zawodnienie. Konsekwencją tego jest konieczność zastosowania specjalnej metody przygotowania masywu skalnego za pomocą mrożenia, które nie tylko zabezpiecza przed możliwością dostania się wody do przodka głębnionego szybu, ale także wzmacnia niezabezpieczone ociosy do momentu wzniesienia obudowy. Poniżej ww. interwału w górotworze usytuowane są zwięzłe skały triasowo-permskie, spośród których wyróżnić można pakiety utworów górnego, środkowego oraz dolnego pstrego piaskowca (trias dolny), cechsztynu (perm górny) i czerwonego spągowca (perm dolny). Seria złożowa zlokalizowana jest w łupkach, dolomitach i piaskowcach, usytuowanych na granicy kontaktu cechsztynu i czerwonego spągowca. Skały triasowe, tj. piaskowce górnego i środkowego pstrego piaskowca cechują się zróżnicowanym zawodnieniem – niższym w starszych partiach złoża oraz wysokim w rejonach nowoudostępnia-

nych, zwłaszcza zlokalizowanych w północnej części obszaru złożowego. Ogół czynników charakterystycznych dla partii górotworu jw. wymusza również konieczność stosowania metody mrożeniowej. Jedną z dwóch newralgicznych warstw górotworu jest zalegający poniżej utworów triasu, silnie zawodniony oraz charakteryzujący się wysokimi parametrami wytrzymałościowymi dolomit główny, którego miąższość osiąga maksymalnie 20 m. Wody znajdujące się w warstwie dolomitu głównego wykazują wysoką agresywność korozyjną w stosunku do betonu, z którego wykonuje się obudowę. Kolejną kluczową warstwą jest sól kamienna, będąca materiałem o wybitnie reologicznych właściwościach, problematycznych w kwestii doboru obudowy szybowej, jej rodzaju oraz materiału i zależnych od grubości pakietu i usytuowania głębokościowego. Zidentyfikowane miąższości warstwy solnej, ustalone podczas realizacji obiektów szybowych są zróżnicowane, począwszy od kilkunastu (szyb R-XI) do ponad 150 m (szyb SW-4). Generalnie obserwuje się tendencję do znacznego wzrostu miąższości utworów solnych w północnych partiach złoża (Praca ... 2016, Materiały ... 2018).

Technologia głębnienia szybów jest ściśle uwarunkowana sytuacją geologiczno-hydrogeologiczną w miejscu planowanej inwestycji, sposobem przygotowania górotworu do głębnienia oraz rodzajem stosowanej obudowy. W konsekwencji tego uzyskiwane postępy prac są zróżnicowane i są efektem m.in. stosowanego wyposażenia technologicznego.

Generalnie, można wyróżnić następujące technologie głębnienia szybów w LGOM:

Technologia I – głębnienie szybu w obudowie tubingowej, z której można wyodrębnić:

- I.1 – głębnienie szybu w obudowie tubingowej w górotworze zamrożonym, z mechanicznym urabianiem skał przy pomocy kombajnu KDS-2;
- I.2 – głębnienie szybu w górotworze zamrożonym w obudowie tubingowej, z wykorzystaniem materiału wybuchowego do urabiania skał;
- I.3 – głębnienie szybu w obudowie tubingowej poniżej strefy mrożonej z urabianiem skał techniką strzelniczą.

Technologia II – głębnienie szybu w obudowie betonowej bądź innej, gdzie wyróżnia się:

- II.1 – głębnienie szybu w obudowie betonowej i żelbetowej z wykorzystaniem szalunku ślizgowego i z urabianiem skał techniką strzelniczą;
- II.2 – głębnienie szybu w obudowie betonowej, z drenażem górotworu i urabianiem skał przy pomocy materiału wybuchowego;
- II.3 – głębnienie szybu w warstwie soli kamiennej, gdzie technologia jest zmienna, w zależności od typu stosowanej obudowy.

Analizę elementów technologicznych procesu głębnienia szybów w LGOM, pod kątem wyznaczenia składowych mających największe znaczenie czasowe dla całego cyklu inwestycji, przeprowadzono w oparciu o harmonogram głębnienia szybu SW-4. Głębienie szybu o całkowitej głębokości wynoszącej 1219 m zrealizowane zostało ze średnim postępowaniem 0,61 m/dobę. Jest to wartość wynikająca z analizy harmonogramu głębnienia dla ww. wyrobiska, od II etapu głowicy powiązanego z zabudową pierwszego pierścienia obudowy tubingowej, do częściowego demontażu urządzeń z fazy robót, których łączny czas realizacji wyniósł 1989 dni (Fabich i in. 2017).

Ogół czynności składających się na proces głębnienia wyrobisk udostępniających można skategoryzować w dwie podgrupy, tj. czynności wpływające bezpośrednio (podgrupa I) oraz pośrednio (podgrupa II) na postęp przodka głębnionego szybu. Do czynności podgrupy I, realizowanych przy wykorzystaniu różnych technologii przyporządkowano: wy-

konanie wyłomów, obudów stóp, wnęk, wlotów i wykonanie zamknięcia dna szybu oraz do podgrupy II: prace montażowe i demontaże urządzeń w szybie, wiercenie otworów badawczych, zabudowę elementów systemu odwadniania, zabudowę zbrojenia tymczasowego itp. Dla wymienionych podgrup oszacowano procentowy ich udział w całkowitym czasie głębiania szybu, z którego wynika, iż czynności technologiczne na wprost przekładające się na postęp przodka zajmują około 66% całkowitego czasu trwania inwestycji. Pozostałe, konieczne do realizacji czynności, zajmują około 34% całkowitego czasu przeznaczanego na głębianie szybu (Praca ... 2016, Fabich i in. 2017).

Analizując harmonogram głębiania szybu SW-4, można stwierdzić, że najdłuższą trwającą czynnością technologiczną, pochłaniającą około 31,5% całkowitego czasu robót jest głębianie szybu w obudowie tubingowej, co jest bezpośrednim wynikiem tego, iż prawie 55% obudowy wyrobiska stanowi kolumna tubingowa. Kolejną z wytypowanych czynności, zajmującą około 15,4% czasu głębiania szybu jest iniekcja kolumny tubingowej - chociaż nie wpływa ona w sposób bezpośredni na postęp realizacji prac, jest bardzo ważnym elementem, gwarantującym właściwą pracę całej kolumny i spełnienie jej podstawowej funkcji, tj. uniemożliwienie migracji wód z górotworu do wyrobiska. Dodatkowo, z podgrupy czynności wpływających w sposób bezpośredni na postęp przodka głębianego szybu, wytypowano:

- głębianie szybu w obudowie betonowej/żelbetowej,
- głębianie szybu na odcinku soli kamiennej,
- głębianie szybu na odcinku wlotów.

Są to kolejne z najbardziej czasochłonnych czynności, zajmujące odpowiednio 10,2%, 9,2% i 7,4% całkowitego czasu głębiania.

Pośród działań pośrednio wpływających na postęp przodka głębianego wyrobiska udostępniającego istotnymi procesami technologicznymi są:

- montaż urządzeń szybowych, z których wyróżnić można: pomost zamknięcia zrębu szybu, pomost roboczy, pomost cementacyjny, kombajn szybowy, pierścienie montażowe tubingów oraz szalunek ślizgowy,
- wiercenie otworów badawczych,
- zabudowa zbrojenia tymczasowego na okres głębiania.

Ww. czynności zajmują odpowiednio 6,5%, 4,1% oraz 3,0% całkowitego czasu prac.

Pośród wydzielonych procedur, bezpośrednio i pośrednio związanych z postępowaniem głębiania wyrobiska (podgrupa I oraz II), oszacowano procentowe zaangażowanie każdej z czynności w odniesieniu do całkowitego czasu prac w danej podgrupie. W przypadku elementarnych czynności z podgrupy I najdłuższą trwają prace związane z głębianiem szybu w obudowie tubingowej z zastosowaniem mechanicznego urabiania skał strefy mrożeniowej (technologia I.1), zajmując ogółem około 23% czasu. Następną z najdłuższych trwających czynności jest głębianie szybu w obudowie tubingowej, gdzie urabianie skał realizowane jest poprzez zastosowanie materiału wybuchowego (technologia I.2), zajmuje ona około 20% czasu. Prace związane z głębianiem szybu w strefie obejmującej skały zamrożone obejmują łącznie około 43% czasu trwania czynności w podgrupie I, obejmującej czynności mające bezpośredni wpływ na postęp przodka głębianego wyrobiska. Przyjmując założenie o braku konieczności prowadzenia cementacji wyprzedzającej na odcinku poniżej strefy mrożonej, kolejną spośród najdłuższych trwających czynności jest głębianie szybu w obudowie betonowej/żelbetowej (technologia II.1), pochłaniając ogółem około 15,4% całkowitego czasu czynności podgrupy I. Rozpatrując ww. w połączeniu z wykonywaniem stóp technologicznych i wnęk, sumaryczny czas realizacji prac z wykorzystaniem technologii II.1 szacuje się na około 22%

czasu czynności z podgrupy I. Należy również wspomnieć, iż prace związane z głębianiem i zabudową obudowy na odcinku dolomitu głównego (technologia II.2) zajmują łącznie około 3,4% czasu czynności z podgrupy I, natomiast podobne prace realizowane w obrębie warstwy solnej o miąższości około 150 m (technologia II.3) pochłaniają około 14% czasu. Proces technologiczny dotyczący wykonywania wlotów do szybu, nad stropem warstwy solnej oraz do podszybia angażuje około 6% czasu ogółu prac wykonywanych w ramach podgrupy I.

Wśród czynności pośrednio wpływających na postęp przodka głębianego szybu (podgrupa II) najbardziej czasochłonne są prace związane z iniekcją kolumny tubingowej, zarówno etap II jak i III, zajmują około 45% czasu ogółu realizowanych czynności. Kolejnym, angażującym około 12% czasu realizacji robót, zabiegiem pośrednio wpływającym na postęp przodka głębianego wyrobiska jest wiercenie otworów badawczych. Inne czynności z przedmiotowej podgrupy w kwestii łącznego czasu prowadzenia prac mają znaczenie podrzędne (Fabich i in. 2017).

### 3. Analiza elementów technologicznych procesu głębiania szybu mających wpływ na czas realizacji inwestycji

Jak już wcześniej wspomniano, analizę elementów technologicznych procesu głębiania pod kątem wyznaczenia składowych mających największe znaczenie czasowe dla całego cyklu wykonywania wyrobiska udostępniającego przeprowadzono w oparciu o harmonogram prac zrealizowanych dla 1219 m szybu SW-4, który zgłębiony został w czasie 1989 dni, tj. ze średnim postępowaniem kształtującym się na poziomie 0,61 m/dobę (Fabich i in. 2017).

Wykazano, iż najwyższy postęp głębiania uzyskiwany jest obecnie przy wykorzystaniu technologii głębiania szybu w obudowie tubingowej (technologia I.1 oraz I.2), z tym że w przypadku mechanicznego urabiania skał kombajnem szybowym wynosi on 1,31 m/d, natomiast przy zastosowaniu techniki strzelniczej, tj. zmianie na technologię I.2, znacząco się obniża i wynosi 1,0 m/d. Przy głębianiu szybu z zastosowaniem technologii I.3 postęp jest jeszcze niższy, osiągając wartość około 0,7 m/d. Głębianie szybu w obudowie betonowej lub żelbetowej z zastosowaniem technologii II.1 umożliwiła osiągnięcie postępów wynoszących około 1,31 m/d, analogicznie jak w przypadku technologii I.1. Przy pracach związanych z wykonywaniem stóp lub wnęk technologicznych postęp robót również się zmniejsza i wynosi około 0,44 m/d. Głębianie szybu na odcinku dolomitu głównego (technologia II.1) realizowane jest z postępowaniem 0,54 m/d. Stan taki podyktowany jest realizacją poszczególnych prac w układzie szeregowym, gdzie każda z czynności wykonywana jest z postępowaniem – głębianie szybu w obudowie kotwowej 1,04 m/d, zabudowa drenażu 2,66 m/d oraz wykonanie obudowy betonowej z wykorzystaniem szalunków przekładanych 1,99 m/d. Postęp prac uzyskiwany przy zastosowaniu technologii II.3, tj. przy robotach prowadzonych w warstwach solnych, jest trudny do zidentyfikowania, co związane jest z różnymi typami stosowanej obudowy. Przy realizacji szybu SW-4, gdzie wykonano obudowę powłokową wzmocnianą stalowymi pierścieniami podatnymi wyniósł 0,86 m/d. Ogólnie można stwierdzić, iż postępy uzyskiwane w technologiach z mechanicznym urabianiem skał są wyższe niż w przypadku technologii, w których górotwór urabiany jest za pomocą techniki strzelniczej (Fabich i in. 2017).

W odniesieniu do osiągniętych postępów czynności z podgrupy II, istotne znaczenie dla całkowitego czasu prowadzonych prac jest iniekcja kolumny tubingowej, zarówno II jak i III jej etap, bowiem skutkuje ona przestojem w prowadzeniu

robót. Postęp prowadzenia III etapu iniekcji ze względu na swoją specyfikę jest trudny do oszacowania, natomiast w etapie II prace odbywają się z postępowaniem 2 pierścienie/dobę dla doszczelniania przez korki „betonowe” i „cementacyjne” oraz 3 pierścienie/dobę w przypadku cementacji przez korki „betonowe”. Można powiedzieć, iż średni postęp prac realizowanych w ramach II etapu iniekcji wynosi 2,1 pierścienia/dobę. Jako istotną czynność dla całkowitego czasu realizacji inwestycji wytypowano również zabudowę zbrojenia tymczasowego, które odbywa się ze średnim postępowaniem około 18,4 mb zbrojenia/dobę oraz wiercenie otworów badawczych przebiegające z postępowaniem około 20 m/dobę (Fabich i in. 2017).

#### 4. Możliwość zwiększenia postępu głębinowania szybów poprzez zmiany w technologii

Zwiększenia średniego postępu prac związanych z realizacją wyrobisk udostępniających na obszarach złożowych KGHM Polska Miedź S.A. należy upatrywać w możliwości redukcji czasu trwania poszczególnych czynności technologicznych w wydzielonych podgrupach. O ile w przypadku podgrupy I postęp prac jest dość łatwy do zidentyfikowania, to w kwestii procedur przypisanych do podgrupy II wyrazić go można jako wykonane jednostki w funkcji czasu. Spośród ogółu czynności, jako najistotniejsze w kwestii postępu prac wskazano:

- Podgrupa I:
  - głębinowanie szybu w obudowie tubingowej (technologia I.1 i I.2), obejmujące ogółem około 31,5% całkowitego czasu realizacji inwestycji;
  - głębinowanie szybu w obudowie betonowej (technologia II.1 i II.2), obejmujące ogółem ponad 10% całkowitego czasu realizacji inwestycji;
  - głębinowanie szybu na odcinku soli kamiennej (technologia II.3), obejmujące ogółem około 9,15% całkowitego czasu realizacji inwestycji (należy mieć tu jednak na uwadze, iż w zależności od lokalizacji wyrobiska udostępniającego miąższości oraz głębokości zalegania utworów solnych znacząco się różnią, co ma kluczowy wpływ na postęp prac).
- Podgrupa II:
  - II oraz III etap iniekcji kolumny tubingowej obejmującej ogółem około 15,4% całkowitego czasu realizacji inwestycji.

Celem zwiększenia postępów aktualnie realizowanych prac z ww. zakresu, dotyczącego łącznie około 66% całkowitego czasu realizacji obiektu szybowego, właściwym będzie dążenie do maksymalnego skrócenia elementarnych czynności, co w powiązaniu z krotnością ich wykonywania w dużej mierze wpłynie na skrócenie czasu trwania całości inwestycji. Uzasadnionym jest również podejście, w którym możliwie największa ilość prac wykonywana będzie równoległe. Biorąc również pod uwagę elementy, takie jak:

- wiercenie otworów badawczych,
  - zabudowa zbrojenia tymczasowego,
  - wykonywanie wlotów podszybia,
- zajmujące odpowiednio 4,1%, 3% i 7,4% czasu głębinowania, można dodatkowo potwierdzić słuszność niniejszych rozważań, skutkujących optymalizacją czasu głębinowania wyrobisk udostępniających (Praca ... 2016, Materiały ... 2018).

##### 4.1. Technologia I.1

Zakres proponowanych zmian obejmuje m.in. modernizację konstrukcji kombajnu szybowego oraz pierścienia montażowego wraz ze sposobem jego prowadzenia, równo-

ległe prowadzenie prac związanych z przeglądem kombajnu i betonowaniem przestrzeni za tubingami.

W dotychczas zgłębnionych szybach, w interwale skał zamrożonych, a dokładniej w obrębie warstwy kenozoicznej oraz częściowo stropowych partii piaskowca, urabianie górotworu odbywało się wyłącznie mechanicznie, gdzie ociosy zabezpieczone były głównie obudową tubingową, wykonywaną za postępowaniem przodka „z góry do dołu”, metodą podwieszania kolejnych pierścieni tubingowych. Jeden cały cykl technologiczny obejmujący elementarne czynności obecnie realizowane w ramach niniejszej technologii trwa średnio około 27,4 h, co przekładając na 1 mb wyrobiska pozwala na uzyskanie postępu robót wynoszącego około 1,31 m/d. Wartość ta uzależniona jest od stanu zamrożenia skał oraz ich rodzaju, co jest istotne w kwestii mechanicznego urabiania górotworu. Najważniejsze czynności realizowane w pełnym cyklu technologicznym to:

- prace związane z przygotowaniem górotworu do głębinowania,
- głębinowanie przy wykorzystaniu kombajnu szybowego wraz z załadunkiem i transportem urobku na powierzchnię (proces ten w 80% realizowany jest równoległe z urabianiem);
- roboty przygotowawczo-zakończeniowe związane z zabudową pierścienia tubingowego,
- zabudowa pierścienia obudowy tubingowej oraz wykonanie koszulki betonowej.

Mając na uwadze konieczność utrzymania bezpieczeństwa prowadzonych prac, należy zachować szczególną ostrożność w kwestii tempa prowadzenia prac, gdyż zbyt szybki postęp robót mógłby skutkować uszkodzeniem rur mroźniowych oraz gorszą jakością wykonanej obudowy, co związane jest z wydzielającym się ciepłem hydratacji betonu. Niemniej jednak, na podstawie wieloletnich doświadczeń można stwierdzić, że głębinowanie szybu w obrębie kenozoicznych skał płaszczka mroźniowego z zastosowaniem obudowy tubingowej i z postępowaniem wynoszącym około 2,0 m/d byłoby w pełni bezpieczne.

Spośród robót realizowanych w jednym pełnym cyklu technologicznym wydzielić można te, które w znacznym stopniu wpływają na wydłużenie czasu jego trwania. Są to:

- rewizja obudowy szybu i urządzeń trwająca 1,43 h,
- roboty przygotowawcze do urabiania, tj. przegląd kombajnu oraz wymiana noży.

Prowadzenie dobowej rewizji wyciągowych urządzeń szybowych wynika wprost z uregulowań prawnych (Rozporządzenie ... 2002), stąd też brak możliwości jej wyeliminowania. Skrócenie czasu trwania pełnego cyklu możliwe jest do osiągnięcia poprzez modernizację bądź budowę nowego kombajnu szybowego, o konstrukcji bazującej na dotychczasowych rozwiązaniach, lecz przy zastosowaniu mechanizmów o dużo większych sprawnościach z równoczesnym wyeliminowaniem obecnych wad. Wykorzystanie nowej konstrukcji organu urabiającego da możliwość zminimalizowania czasu niezbędnego na wymianę noży, co związane jest z ich stopniem zużywania się. Należy wspomnieć, iż czynności związane z prowadzeniem przeglądu kombajnu w pojedynczym cyklu technologicznym mogłyby być prowadzone równoległe z procesem wykonywania koszulki betonowej, co doprowadziłoby do sytuacji, w której kontrola stanu kombajnu szybowego nie miałaby wpływu na czas robót.

Spośród czynności bezpośrednio związanych z postępowaniem głębinowania należy wyróżnić urabianie górotworu na zabiór 1,5 m w połączeniu z operacją wydawania urobku na powierzchnię, co obecnie trwa średnio 8 h. Pomimo tego, iż czas ten uzależniony jest od stanu zamrożenia górotworu, uważa się, że zastosowanie nowej konstrukcji kombajnu szybowego powodującego wzrost wydajności urabiania, w połączeniu z reorganizacją sposobu prowadzenia robót w przodku wy-

robiska i zastosowaniem kubłów urobkowych o pojemności 4÷5 m<sup>3</sup> umożliwi skrócenie czasu trwania całości procesu do 7 h, w których zawiera się również przerwa niezbędna na przegląd stanu urządzenia.

Prace związane z zabudową pierścienia tubingowego trwające łącznie około 11 h podzielić można na dwie grupy, tj. czynności przygotowawcze (5 h) oraz opuszczanie do szybu i montaż w pierścieniu segmentów tubingowych wraz z połączeniem go z pierścieniem tubingowym zabudowanym w poprzednim cyklu technologicznym (6 h). Wspomniany czas 5 h obejmuje czynności związane ze zjechaniem pierścieniem montażowym oraz jego ustawieniem na dnie szybu i uszczelnieniem przestrzeni pomiędzy pierścieniem a ociosem - łącznie około 4 godziny. Pozostała godzina obejmuje montaż na pierścieniu montażowym podestów roboczych. Przy odpowiedniej modyfikacji konstrukcji pierścienia montażowego, gdzie podesty robocze byłyby jego integralną częścią, jak również przy zmianie sposobu uszczelnienia przestrzeni pomiędzy pierścieniem a ociosem oraz prowadzeniem pierścienia montażowego naciągach systemu Dywidag, czas ten mógłby być skrócony do około 1,5 godz. Uważa się, iż czas czynności z drugiej grupy nie może być zredukowany ze względu na brak zmiany usprzętowania wykorzystywanego do realizacji prac.

Proces wykonywania koszulki betonowej trwa obecnie około 6 h, z których samo betonowanie wraz z opuszczeniem niezbędnego do tego celu sprzętu trwa około 3,5 h. Roboty przygotowawcze, powiązane z równoległym wykonywaniem centrowania i niwelacji zabudowywanego w danym cyklu pierścienia tubingowego trwają obecnie około 1 h. Prawie 1,5 h trwają czynności prowadzone bezpośrednio po zakończeniu betonowania (m.in. wydanie na powierzchnię wlewk i węży po betonowaniu oraz demontaż z pierścienia montażowego tubingów wszystkich podestów). Zakładając, że podesty będą integralną częścią pierścienia montażowego czynności te mogą zostać skrócone o 0,5 h. Przyjmując dodatkowo, że pierścień montażowy będzie prowadzony naciągach systemu Dywidag, cały proces wykonywania koszulki betonowej, łącznie z robotami zakończeniowymi można skrócić do około

4,25 h. Równoległe z procesem betonowania trwającym 2,5 h prowadzony będzie przegląd kombajnu wraz z przeglądem organu urabiającego oraz wymianą noży (Praca ... 2016, Materiały ... 2018).

Zmodernizowany sposób realizacji robót z zastosowaniem technologii I.1 przedstawiono na rys.1.

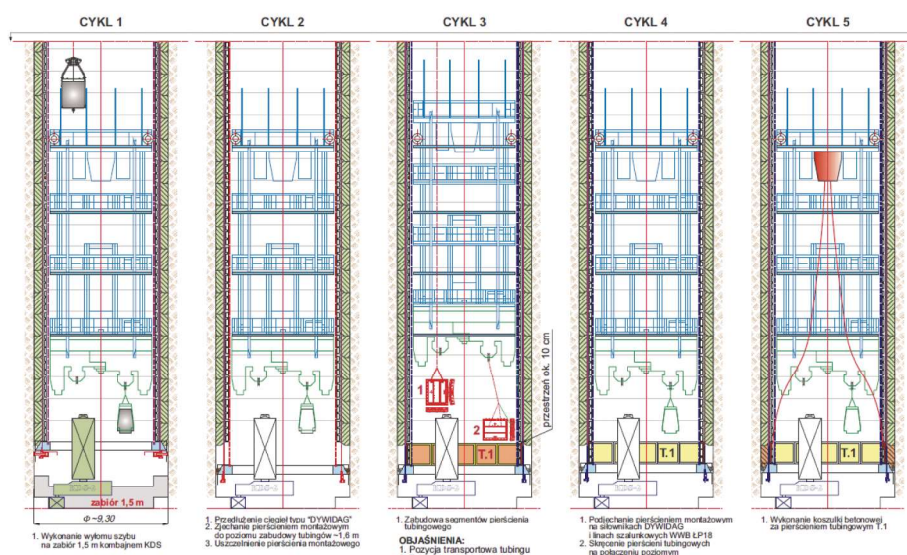
W wyniku analizy można stwierdzić, że cały cykl technologiczny można skrócić do około 20,18 h, co przekłada się odpowiednio na postęp rzędu 1,78 m/d.

## 4.2. Technologia I.2

W ramach modyfikacji dla technologii I.2 planuje się: wprowadzenie mechanicznego sposobu urabiania skał oraz modernizację konstrukcji pierścienia montażowego.

Niniejsza technologia w obecnie funkcjonującej postaci dotyczy czynności związanych z głębieniem szybu w interwale zamrożonych skał górnego (jeśli występuje) oraz środkowego pstręgo piaskowca (trias dolny), w sytuacji gdy ich wytrzymałość uniemożliwia zastosowanie kombajnu szybowego. Ociosy wyrobiska zabezpieczane są przy wykorzystaniu obudowy tubingowej. Prace realizowane są z postępowaniem około 1,02 m/d. Wielkość otwarcia dna szybu wynosi maksymalnie 5,8 m, co jest wynikiem prób przyspieszenia tempa prac poprzez zmniejszenie sumarycznego czasu trwania robót strzałowych w przeliczeniu na liczbę zabudowywanych pierścieni tubingowych.

W odniesieniu do czynności realizowanych w pojedynczym cyklu prac zauważono znaczące jego wydłużenie w przeliczeniu na jeden zabudowywany pierścień tubingowy w odniesieniu do technologii I.1. W przypadku urabiania skał materiałem wybuchowym, czynności obejmujące wiercenie otworów strzałowych, przeprowadzenie robót strzałowych oraz wydanie urobku na powierzchnię, trwają łącznie 79,54 h (dla czterech zabudowywanych pierścieni tubingowych). W przeliczeniu na jeden pierścień tubingowy daje to czas wynoszący około 13,25 h. Samo przejście z mechanicznego urabiania skał na urabianie skał robotami strzałowymi wydłuża czas głębienia szybu (w przeliczeniu na 1,5 m gotowej



Rys. 1. Technologia I.1: głębienie szybu w obudowie tubingowej w całej strefie górotworu zamrożonego – mechaniczne urabianie górotworu (zabudowa jednego pierścienia tubingowego) (Praca ... 2016)

Fig. 1. Technology no I.1: shaft sinking process with the use of tubing lining in the zone of frozen rocks – mechanical excavation (building in of one tubing ring) (Praca ... 2016)

obudowy) o 5,25 h. Z całą pewnością istnieją możliwości optymalizacji tej technologii, z tym jednak, że większy efekt dadzą tu działania organizacyjne niż techniczne. Najlepszym z kierunków działań byłoby tu wprowadzenie wydłużonych zabiorów tak, by każdorazowo po zabiorze o wysokości 3,0 m móc zabudowywać po dwa pierścienie tubingowe. Takie podejście zmniejszałoby o połowę czas trwania robót przygotowawczych do wiercenia i betonowania. Jedyną i najważniejszą barierą do wprowadzenia tych zmian jest bezpieczeństwo otworów mroźniowych.

W celu zwiększenia postępów robót proponuje się zastosować na odcinku skał zwięzłych, w górotworze zamrożonym, zmodernizowany kombajn szybowy.

Modernizacja technologii I.2 musiałaby objąć następujące elementy:

- przystosowanie pierścienia montażowego do podwieszania segmentów pierścienia tubingowego na ciągłach Dywidag;
- przystosowanie organu urabiającego do urabiania skał zwięzłych (pstry piaskowiec);
- dobór noży do organu skrawającego górotwór zwięzły;
- wzmocnienie konstrukcji nośnej kombajnu;
- wymiana hydrauliki siłowej opuszczania głowicy z organem urabiającym (dla wspomaganie organu urabiającego) (Praca ... 2016, Materiały ... 2018).

Zmodernizowany sposób realizacji robót z zastosowaniem technologii I.2 przedstawiono na rys.2.

Na skutek wprowadzenia ww. zmian możliwe będzie prowadzenie robót z zastosowaniem niniejszej technologii z postępowaniem kształtującym się na poziomie około 1,64 m/d.

### 4.3. Technologia II.1

Planowane do wprowadzenia zmiany w Technologii II.1 obejmują m.in. modernizację konstrukcji szalunku ślizgowego wraz ze sposobem jego prowadzenia i zmianę konstrukcji pomostu roboczego.

W chwili obecnej niniejsza technologia stanowi podstawę głębinienia szybu i wykonywania obudowy na odcinku skał zwięzłych, gdzie nie zachodzi konieczność stosowania specjalnych metod przygotowania górotworu. Proces urabiania realizowany jest przy wykorzystaniu materiału wybuchowego, a obudowa betonowa wznoszona jest za szalunkiem ślizgowym wysokości 3,5 m przy wielkości zabioru 3,7 m (wiercenie

przy zastosowaniu wiertarek ręcznych i/lub wiertnicy szybowej trzyławetowej). Prace odbywają się ze średnim postępowaniem wynoszącym około 1,31 m/d.

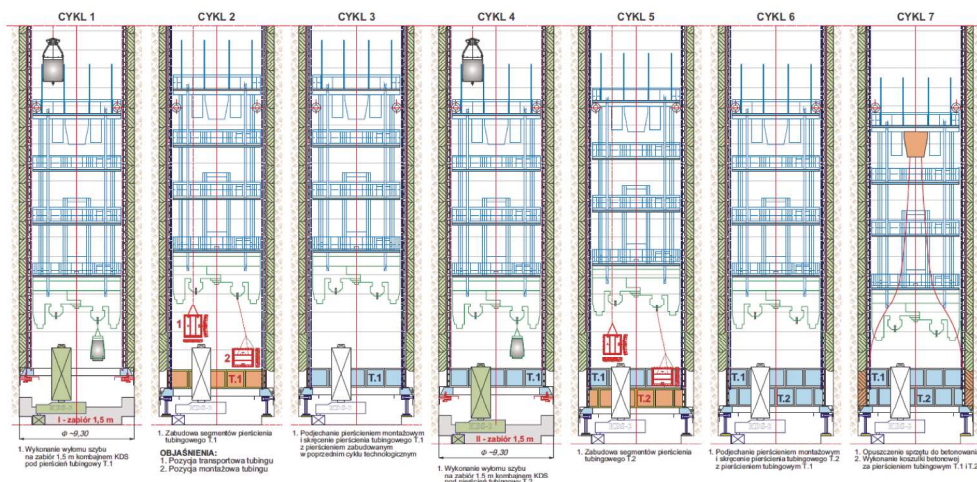
Głębinienie szybu w obudowie ostatecznej betonowej aktualnie prowadzone jest za postępowaniem przodka, gdzie po wykonaniu robót strzałowych i przewietrzeniu wybieranie urobku prowadzone jest ładowarkami dwukabinowymi do dwóch kubłów o pojemności 4 m<sup>3</sup>. Po wybraniu urobku do wysokości ~3,55 m od odcinka obudowy wzniesionej w poprzednim cyklu technologicznym przystępuje się do robót przygotowawczych do betonowania. Rozpierzany hydraulicznie szalunek ślizgowy o wysokości 3,5 m ustawiany jest bezpośrednio na uprzednio zniwelowanym urobku. Betonowanie przestrzeni za szalunkiem odbywa się dwoma węzłami ze zbiornika zabudowanego pod dolnym podestem pomostu roboczego. Dotychczas stosuje się pomost roboczy trzypodestowy z monorelsem i ładowarkami zabudowanymi pod konstrukcją dolnego podestu pomostu roboczego.

Celem uzyskania większych postępów robót, proponowana jest metoda głębinienia szybu w obudowie ostatecznej, polegająca na odejściu od wykonywania obudowy betonowej za szalunkiem ślizgowym bezpośrednio na dnie szybu. Nowa metoda polegać będzie na ustawieniu szalunku wielosekcyjnego i betonowaniu za szalunkami w rejonie pomostu roboczego. Zasadnicza technologia głębinienia szybu w obudowie betonowej polegać będzie na:

- wykonaniu wyłomu robotami strzałowymi na zabiór 3,7 m;
- wybraniu urobku po robotach strzałowych – czynność ta powinna być realizowana na cztery kubły o pojemności 4 ÷ 5 m<sup>3</sup>, jedną lub dwoma ładowarkami szybowymi (równoległą czynnością, prowadzoną w trakcie wybierania urobku jest kotwienie ociosów szybu);
- wykonaniu obudowy betonowej za szalunkami sekcyjnymi, max 6 m, z podestów pomostu roboczego (Praca ... 2016, Materiały ... 2018).

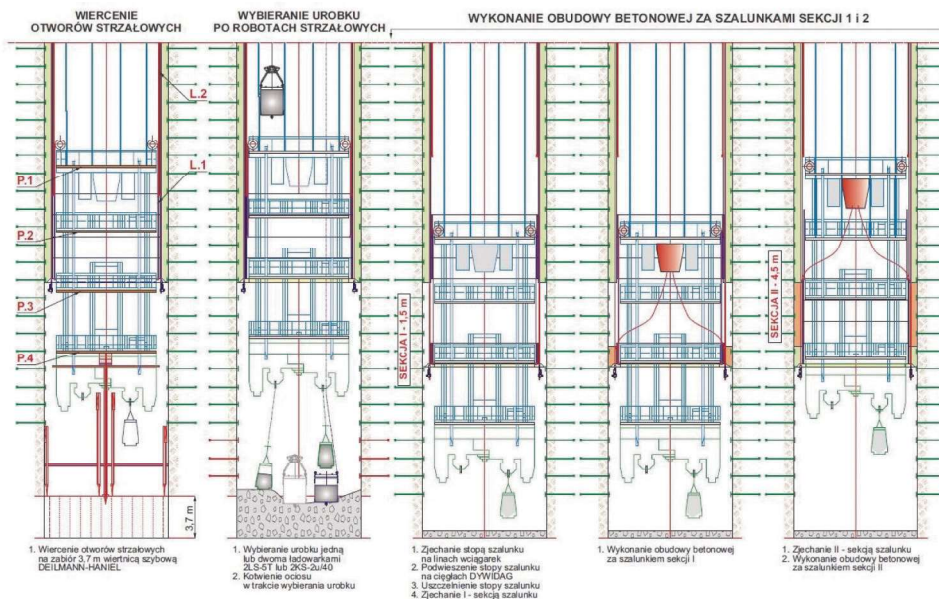
Zoptymalizowany sposób realizacji robót z zastosowaniem technologii II przedstawiono na rys.3.

Powyższa analiza pozwala przyjąć, że na skutek wprowadzenia zmian w przedmiotowej technologii głębinienia możliwe będzie prowadzenie robót z postępowaniem kształtującym się na poziomie około 2,00 m/d.



Rys. 2. Technologia I.2: głębinienie szybu w obudowie tubingowej – urabianie kombajnem w pstry piaskowcu (Praca ... 2016)

Fig. 2. Technology no I.2: shaft sinking process with the use of tubular lining – mechanical excavation in mottled sandstone layer (Praca ... 2016)



Rys. 3. Technologia II: głębienie szybu w obudowie betonowej – urabianie górotworu materiałem wybuchowym (Praca ... 2016)  
 Fig. 3. Technology no II: shaft sinking process with concrete lining installation – excavation with use of explosives (Praca ... 2016)

4.4. Procesy pośrednio wpływające na postęp prowadzonych prac

Czynnością wpływającą w sposób znaczny na całkowity czas głębienia szybu jest iniekcja obudowy tubingowej. W chwili obecnej trwa ona około 360 dni. Ograniczenie czasu związanego z tym procesem przełoży się w sposób bezpośredni na redukcję czasu związanego z całym procesem głębienia szybu. W ramach prowadzonych prac opracowano dwutorową metodę, aby osiągnąć zamierzony cel. Wprowadzenie zmian w ramach prac pośrednio wpływających na postęp przodka głębionego szybu dotyczyć będą:

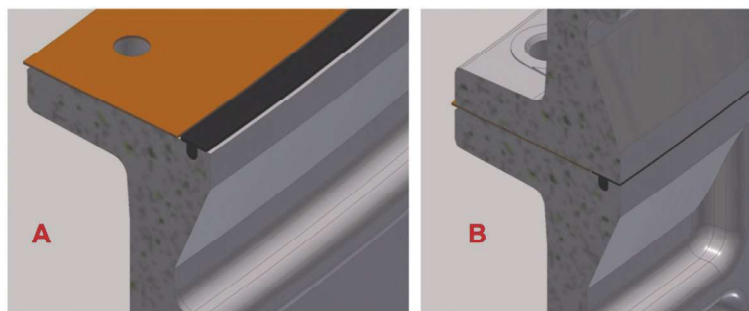
- modyfikacji sposobu uszczelnienia w obrębie złączy poziomych kolumny tubingowej z wprowadzeniem dodatkowej uszczelki z tworzywa sztucznego np. Sikaswell 2010H,
- ograniczenia czasu prowadzenia II etapu iniekcji kolumny tubingowej wyłącznie do korków betonowych oraz modyfikacji sposobu prowadzenia przedmiotowych prac.

Pierwszą modyfikacją jest poprawa szczelności złączy poziomych kolumny tubingowej, która pozwala na skrócenie czasu prowadzenia zabiegów iniekcyjnych Etapu III iniekcji

doszczelniającej. Przeanalizowano możliwość modyfikacji sposobu uszczelnienia segmentów tubingowych w zakresie gwarantującym trwałą szczelność obudowy po rozmrożeniu górotworu. Wytypowano możliwą do zastosowania uszczelkę, wykonaną z tworzywa sztucznego. Zastosowanie dodatkowego uszczelnienia kolumny tubingowej wymagać będzie wprowadzenia drobnych modyfikacji w konstrukcji segmentów tubingowych. Należy jednak zaznaczyć, iż konieczne jest utrzymanie obecnego sposobu uszczelnienia, tj. bazującego na uszczelkach ołowianych.

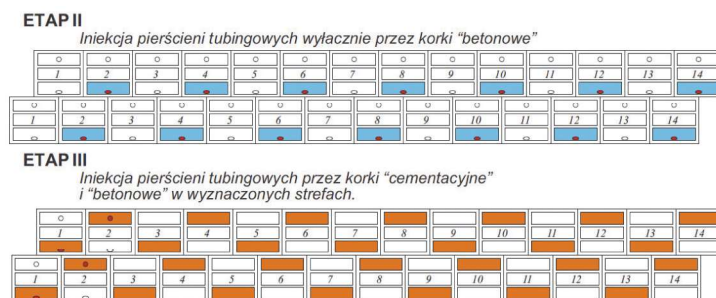
Na rys.4. przedstawiono propozycję zabudowy dodatkowego uszczelnienia segmentów tubingowych w obrębie złączy poziomych (Praca ... 2016, Materiały ... 2018).

Drugą modyfikacją jest optymalizacja samego procesu iniekcji obudowy tubingowej polegająca na ograniczeniu w II jej etapie zatłaczania mleczka cementowego wyłącznie przez korki wlewu betonu DN100 (korki „B”), natomiast w III etapie iniekcji tzw. uszczelniającej osiągnięte to będzie poprzez jej ograniczenie do prowadzenia przez korki do wlewu betonu oraz cementacyjne wyłącznie zaczynami chemicznymi i tylko w ściśle wskazanych strefach, gdzie zauważalny będzie wyciek wody. Ponadto w celu osiągnięcia zamierzonego celu



Rys. 4. Dodatkowe uszczelnienie złączy poziomych kolumny tubingowej przy zastosowaniu uszczelki wykonanej z tworzywa sztucznego (Praca ... 2016)

Fig. 4. Additional sealing of the tubing ring on its horizontal surface with the use of plastic gasket (Praca ... 2016)



**Rys. 5. Koncepcja iniekcji doszczelniającej obudowę tubingową. Oznaczenie kolorów: niebieski-zaczyn cementowy, pomarańczowy – iniekty chemiczne (Praca ... 2016)**

**Fig. 5. The concept of 2nd and 3rd stage of tubing lining injection. Description of colors: blue – concrete grouting, orange – chemical grouting (Praca ... 2016)**

uważa się za konieczne reorganizację sposobu prowadzenia prac, gdzie wskazane jest:

- prowadzenie iniekcji dwoma zestawami pompowymi,
- dostosowanie obsady stanowisk roboczych na czas trwania zabiegów iniekcyjnych.

Na rys.5. przedstawiono koncepcję prowadzenia iniekcji kolumny tubingowej (Praca ... 2016, Materiały ... 2018).

W trakcie realizacji projektu wykazano, iż na skutek wprowadzonych zmian możliwe będzie prowadzenie II Etapu iniekcji z postępem kształtującym się na poziomie około 6,00 m/d, tj. obejmującej 4 pierścienie tubingowe na dobę. Skuteczność zastosowania dodatkowego uszczelnienia kolumny tubingowej na złączach poziomych możliwa będzie do zweryfikowania po zakończonych testach.

## 5. Wnioski

Technologie głębenia szybów funkcjonujące w aktualnej formie i stosowane w ramach procesu realizacji wyrobisk udostępniających w obrębie obszarów złożowych monokliny przedsudeckiej wypracowane zostały na przestrzeni wielu lat i są gwarantem bezpieczeństwa prowadzonych robót. Jest to bardzo ważną kwestią, zważając na fakt napotykanym obecnie, coraz trudniejszych warunków geologiczno-hydrogeologicznych oraz górniczych w miejscu lokalizacji kolejnych szybów. Nie bez znaczenia są tu również zwiększające się głębokości wyrobisk. Konieczność optymalizacji stosowanych rozwiązań techniczno-technologicznych wynika przede wszystkim z długiego czasu głębenia wyrobisk, którego konsekwencją są koszty całości inwestycji.

Jak wykazano, istnieje możliwość skrócenia czasu głębenia wyrobisk udostępniających, co może być zrealizowane poprzez wprowadzenie zmian w zakresie stosowanych maszyn i urządzeń oraz odpowiedniej organizacji pracy. Szczególną uwagę przyłożono do analizy elementarnych cykli technologicznych realizowanych w ramach aktualnie funkcjonujących technologii głębenia. Wskazano na konieczność zmian w zakresie:

- Technologia I.1: modernizacja konstrukcji kombajnu szybowego oraz pierścienia montażowego wraz ze sposobem jego prowadzenia, równoległe prowadzenie prac związanych z przegładem kombajnu i betonowaniem przestrzeni za tubingami;
- Technologia I.2: wprowadzenie mechanicznego sposobu urabiania skał oraz modernizacja konstrukcji pierścienia montażowego;
- Technologia II.1: modernizacja konstrukcji szalunku ślizgowego wraz ze sposobem jego prowadzenia i zmiana konstrukcji pomostu roboczego;

- Prace pośrednio wpływające na postęp przodka: wprowadzenie dodatkowego uszczelnienia w obrębie złączy poziomych segmentów tubingowych, ograniczenie czasu prowadzenia Etapu II iniekcji doszczelniającej wraz z reorganizacją sposobu prowadzenia prac.

Udowodniono, iż w konsekwencji proponowanych zmian możliwe będzie zwiększenie postępu realizacji prac w zakresie elementarnych cykli technologicznych realizowanych w ramach poszczególnych technologii głębenia. Efekt ten, zważając na krotność powtarzania czynności, skutkował będzie wyraźnym skróceniem całkowitego czasu głębenia. Nawiązując do całości procesu zrealizowanego przy głębeniu szybu SW-4, wprowadzenie ww. modyfikacji, umożliwiłoby skrócenie czasu trwania robót z około 1989 do około 1548 dni. Nie wyklucza się możliwości dalszej optymalizacji technologii głębenia, a tym samym osiągnięcia jeszcze większego zysku czasowego.

*Zaprezentowany artykuł powstał na podstawie wyników Zadania 5 Projektu I-MORE, finansowanego ze środków NCBiR oraz KGHM Polska Miedź S.A.*

## Literatura

- FABICH S., ŚWITOŃ S., CHOJNACKI W., RUTKOWSKI T. 2017 - Ocena możliwości optymalizacji technologii głębenia szybów w polskich kopalniach rud miedzi. KGHM CUPRUM, PeBeKa S.A., Wrocław.
- Materiały** dot. realizacji Etapów I-VII Zadania nr 5 Projektu I-MORE: Innowacyjna technologia wykonywania wyrobisk udostępniających złoża na dużych głębokościach w obszarach koncesyjnych KGHM Polska Miedź S.A. KGHM CUPRUM, PeBeKa S.A., Akademia Górniczo-Hutnicza, Główny Instytut Górnictwa, Politechnika Wrocławska, Wrocław, styczeń 2018 r.
- Praca** zbiorowa dot. realizacji Etapu I Zadania nr 1 Projektu I-MORE: Analiza dotychczas stosowanych rozwiązań technologicznych oraz organizacyjnych w procesie wykonywania wyrobisk udostępniających złoża rudy miedzi w Polsce, ze wskazaniem elementów mających największy wpływ na osiąganą wydajność. KGHM CUPRUM, PeBeKa S.A., Wrocław, styczeń 2016 r.
- Rozporządzenie** Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 28 czerwca 2002 roku w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. 2002 Nr 139, poz. 1169 z późn. zm.).

Artykuł wpłynął do redakcji – kwiecień 2018  
Artykuł akceptowano do druku 11.07.2018