

Jan Butra, Rafał Dębowski*, Zdzisław Iwulski**, Marcin Szpak**

ANALIZA DOKONANEJ EKSPLOATACJI ORAZ SPOSOBU DALSZEGO PROWADZENIA ROBÓT EKSPLOATACYJNYCH W POLU G-7/5 O/ZG „RUDNA”

1. Wprowadzenie

Pole G-7/5, znajduje się w południowo-wschodniej części obszaru górniczego kopalni „Rudna”. Złoże w tym rejonie udostępniono pochylniami centralnymi c- 1, 2, 3 oraz wiązkami chodników T,W-312 i dalej chodnikami T,W-416. W polu wydzielono trzy bloki „A”, „B” i „C”, z uwagi na odmienne warunki geologiczno-górnice, występujące w tych blokach oraz ze względów organizacyjnych (rys. 1).

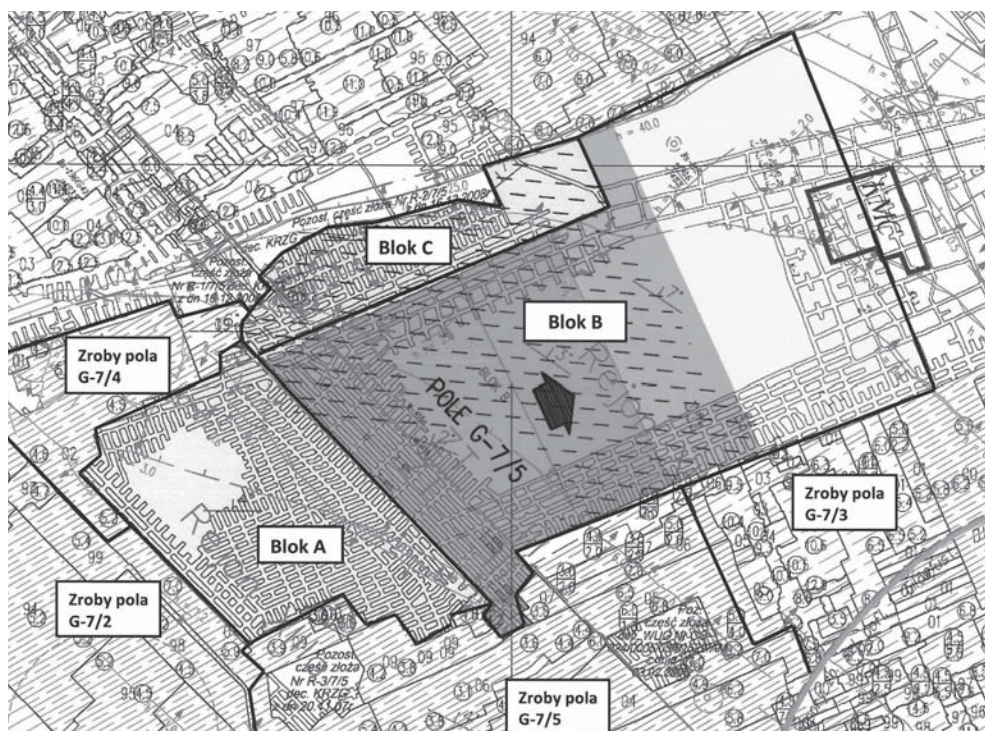
Roboty górnicze w polu G-7/5 rozpoczęto w roku 2002. Były one kontynuacją eksploatacji prowadzonej uprzednio w polu G-7/3. Zasadnicze roboty eksploatacyjne w ostatnich latach koncentrowały się w bloku A pola (rys. 1). Dotychczasowa eksploatacja, zwłaszcza w bloku A, prowadzona była w dość trudnych warunkach geologiczno-górnich, przy znacznym zagrożeniu tapaniami i zawałami. Aktualnie realizowana jest rozcinka calizny w bloku B. W bloku C roboty rozcinkowe już zakończono, a obecnie prowadzone są roboty likwidacyjne, podobnie jak w bloku A.

2. Opis warunków geologiczno-górnich

Złoże rud miedzi w polu G-7/5, zlokalizowane na głębokości około 870 m, w skrzydle wiszącym uskoku „Biedrzychowa”. Serię złożową tworzą dolnocechsztyńskie dolomity i łupki oraz białe piaskowce czerwonego spagowca [2]. Miąższość złoża w polu jest zróżnicowana i zmienia się w szerokim zakresie: od 1,0 do 8,0 m bloku A, średnio około 4,5 m,

* Centrum badawczo-rozwojowe, KGHM CUPRUM sp. z o.o., Wrocław

** Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków



Rys. 1. Lokalizacja bloków eksploatacyjnych w polu G-7/5 [1]

od $6,0 \div 13,0$ m w bloku B i od $5,0 \div 14,0$ m w bloku C. Strop wyrobisk w polu G-7/5 stanowią dolomity wapienste, skrytokrystaliczne. Całkowita miąższość skał węglanowych w tym rejonie waha się od 60 do 70 m. W spągu większości wyrobisk znajdują się słabo związane piaskowce kwarcowe o spoiwie ilastym.

Stopień zaangażowania tektonicznego w polu G-7/5 wzrasta wraz ze zbliżaniem się do strefy uskokowej „Biedrzychowa”, którą tworzy system uskoków o przebiegu NEE-SWW i zrzutach od 11 do 25 m, w kierunku NNW (blok C). W bloku A najistotniejsza dla prowadzonej rozcinki złoża jest strefa uskoków o biegu NWW-SEE, o zrzutach od 0,4 do 3,5 m, dzieląca blok na dwie części. W nieupodatkowanej części bloku występuje ona w formie pojedynczego uskoku o zrzucie od 2,4 do 3,0 m w kierunku NNE. W polu występują liczne spękania pionowe i stromo nachylone oraz związane z nimi wyklinowania warstw dolomitowych utrudniające prowadzenie stropu wyrobisk i utrzymania właściwej wysokości furty wybierania złoża. Spękania wypełnione są kalcytem, gipsem, anhydrytem lub substancją ilastą.

Pole G-7/5 usytuowane jest w rejonie XIII i XIIIa kopalni „Rudna”. Złoże w tych rejonach zaliczono do III-go stopnia zagrożenia tapaniami. Eksploatacja prowadzona jest w sąsiedztwie dużych obszarów zrobów zlikwidowanych z ugięciem stropu (pola G-7/1, G-7/2, G-7/4) i podsadzką hydrauliczną (G-7/3, G-7/4, G-3/4).

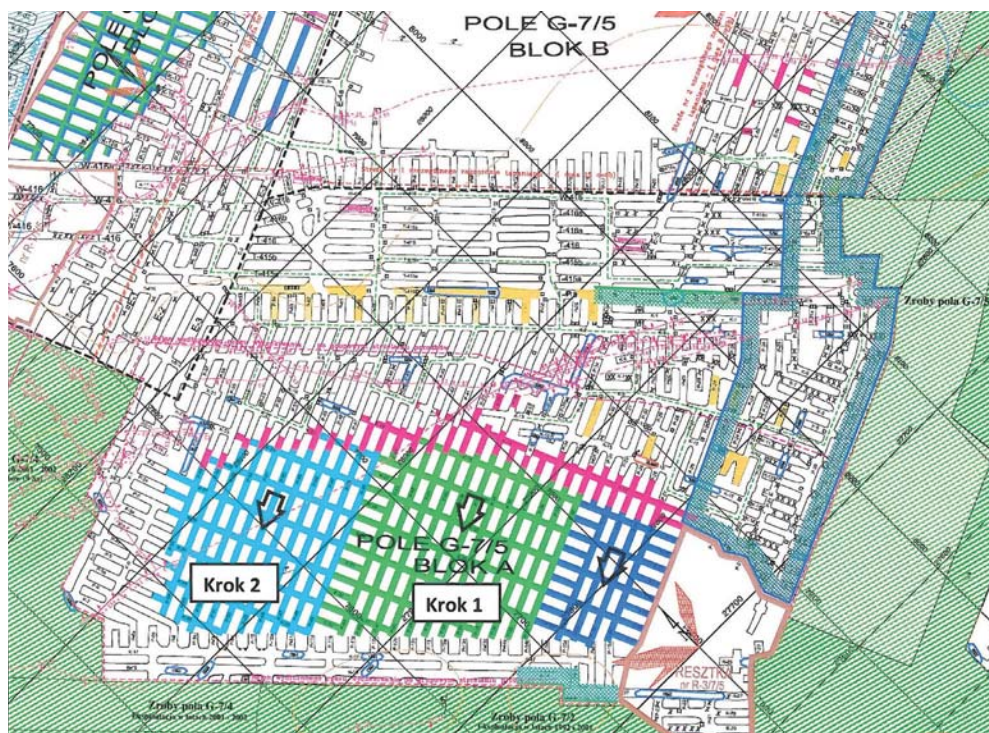
Zasady prowadzenia robót w polu mają na celu ograniczanie występowania zagrożenia tapaniowego i zawałowego. W bloku A pola G-7/5 aktualnie prowadzone są roboty likwidacji

cyjne na zasadach systemu eksploatacji R-UO [3]. W bloku B do miąższości złożeń wynoszącej 7,0 m stosowany będzie system z ugięciem stropu R-UO, przy miąższości złożeń poniżej 9 m dopuszcza się stosowanie systemu z podszadką suchą RG-6, powyżej miąższości 9,0 m stosowany będzie system z podszadką hydrauliczną RG-8. W bloku C stosowany jest system RG-6 dla złożeń o miąższości do 10 m, a powyżej system RG-8 [3].

3. Przebieg eksploatacji

Roboty górnicze w polu G-7/5 rozpoczęto w pierwszej połowie 2002 roku. Rozcięcie w bloku A rozpoczęto od próby wykonania nowych wyrobisk startowych w narożu calizny ograniczonym wiązką chodników T,W-411 oraz T,W-416. Eksploatację projektowano po rozciągłości, w kierunku północno-zachodnim, frontem prowadzonym równolegle wzdłuż wiązki chodników T,W-416. W trakcie rozcięcia napotkane warunki geologiczno-górnicze spowodowały występowania znacznego zagrożenia zawałowego i uniemożliwiły wykonanie robót przygotowawczych w zaplanowanym zakresie. Podjęto zatem kolejną próbę upodatnienia całego naroża calizny, frontem o długości około 200 m, prowadzonym z chodnika T-416 w kierunku strefy upodatnionej (chodniki T,W-411) i zrobów pola G-7/2 [4]. Ponownie wystąpiły trudności z utrzymaniem stateczności stropów, które umożliwiły wykonanie rozcięcia złożeń jedynie do wysokości pasa P-14. Wobec powyższego podjęto decyzję o wyłączeniu z eksploatacji przedmiotowej części złożeń w narożu calizny [4]. Od sierpnia 2004 roku, kilkakrotnie zmieniano kierunek rozcięcia złożeń, co jednak nie wpłynęło na poprawę istniejącej, niekorzystnej sytuacji górniczej w tej części bloku. Ostatecznie przyjęto, że rozcięcie w bloku A będzie wykonane frontem o długości około 550 metrów, z chodnika T-415 w kierunku do strefy upodatnionej i zrobów pola G-7/2. Podczas prowadzenia rozcięcia rozpoznano dużą ilość zaburzeń geologicznych, które przebiegały ukośnie przez całą długość frontu, na kierunku SE-NW. W związku z dużymi trudnościami z utrzymaniem stropu wyrobisk, następowało opóźnienie rozcięcia calizny i spowolnienie postępu robót. Robotom tym towarzyszyła wysoka aktywność sejsmiczna, przejawiająca się m.in. wystąpieniem dwóch bardzo silnych wstrząsów górotworu w lipcu i sierpniu 2006 roku (o energiach rzędu 10^7 J i 10^8 J). Warunki stropowe uniemożliwiały systematyczne prowadzenie frontu robót oraz wymuszały lokalne zmiany sposobu rozcinania złożeń. W wyniku licznych przebudów i przybierek stropu, na lewym skrzydle frontu furta przodków wyszła ponad złożeń.

W celu przyspieszenia rozcięcia złożeń w pozostałej caliznie postanowiono podzielić blok A na dwa mniejsze bloki eksploatacyjne oraz wyłączyć z eksploatacji część bloku A, na jego lewym skrzydle (rys. 2). Wymagało to wykonania wiązki wyrobisk konturujących z jednej strony wydzieloną resztkę, a z drugiej strony caliznę przeznaczoną do dalszej eksploatacji. Projekt dalszej eksploatacji zakładał wykonanie w pierwszej kolejności rozcięcia w bloku usytuowanym na lewym skrzydle frontu (rys. 2, krok 1) w dotychczasowym kierunku, w drugiej kolejności na prawym skrzydle, wzdłuż wyeksploatowanego wcześniej bloku (rys. 2, krok 2). W wyniku podjętych działań uzyskano poprawę stateczności wyrobisk i przyspieszenie regularnej rozcięcia, którą bez przeszkód prowadzono do lipca 2009 roku. W końcowej fazie rozcięcia podjęto decyzję o ukośnym usytuowaniu linii przodków, zapewniającym przyspieszenie upodatnienia ostrego naroża calizny na lewym skrzydle.



Rys. 2. Podział całego bloku A na mniejsze obszary [4]

W lipcu 2009 roku wystąpił kolejny silny wstrząs górotworu o energii $E = 9,3 \cdot 10^7$ J, którego epicentrum zlokalizowano w caliznie (na linii uskoku) przed frontem robót rozcinkowych. Na podstawie stwierdzonych skutków zjawisko zakwalifikowano jako tąpnięcie samoistne.

Jednym z elementów przyjętej profilaktyki tąpniowej po zaistniałym wstrząsie było wykonanie strzelania odprężającego, z wykorzystaniem długich otworów w stropie — w narożu calizny, w bezpośrednim sąsiedztwie strefy uskokowej, przebiegającej ukośnie przez blok A. Strzelanie to wykonano w dniu 21.11.2009 r. i sprowokowano kilka zjawisk sejsmicznych o energiach nieprzekraczających $1,0 \cdot 10^5$ J.

Do lutego 2010 roku wykonano rozcinkę calizny lewego skrzydła pomiędzy pasami P-32 a pasem P-42, równoległe prowadząc roboty likwidacyjne przy zrobach własnych oraz zrobach pola G-7/2. W lutym sprowokowano robotami strzałowymi wstrząs górotworu o energii $1,2 \cdot 10^8$ J, którego skutkiem było tąpnięcie. Epicentrum wstrząsu zlokalizowano w obrębie nierozciętej resztki calizny złoża, w pobliżu strefy ww. uskoku. W marcu 2010 roku kontynuowano roboty rozcinkowe w ograniczonym zakresie. Zaniechano dalszego prowadzenia robót rozcinkowych w części bloku A usytuowanej w skrzydle zrzuconym uskoku, natomiast kontynuowano roboty rozcinkowe w części wyniesionej, do strefy upodatnionej i zrobów pola G-7/4 [4].

Eksploatację w kierunku zrobów pól G-7/2 i G-7/4 prowadzono do końca sierpnia 2010 roku. Rozcinka komór od K-23 do K-29 osiągnęła planowany zakres. W pozostałej części frontu wystąpiły trudne warunki geologiczno-górnictwa oraz przejawy zagrożenia zawało-

wego, które uniemożliwiały dalszy postęp robót. Po przeanalizowaniu istniejącej sytuacji geologiczno–górnictwej, podjęto decyzję to zakończeniu rozcinki calizny złoza w bloku A i pozostawieniu resztki obejmującej nierozciętą część calizny (rys. 1). W kolejnym etapie przystąpiono o robót likwidacyjnych w bloku A na całej długości frontu, od chodników T,W–411 w kierunku wiązki chodników T,W–416 [4]. Roboty te są aktualnie realizowane.

W maju 2010 roku kopalnia przeanalizowała aktualną sytuację geologiczno–górnictwą w całym polu G–7/5 pod kątem uruchomienia eksploatacji w bloku B. Uwzględniając konieczność uniknięcia równoległego zbliżania się frontu do rozpoznanego uskoku na wybiegu tego bloku zalecono prowadzenie robót rozcinkowych rozpoczynając je od naroża calizny z wyprzedzeniem na lewym skrzydle frontu. Z uwagi na uskok zlokalizowany na wybiegu przodków oraz możliwe występowanie strefy zaburzeń w jego sąsiedztwie, w pierwszej fazie zalecono zachować azymut komór. Roboty rozcinkowe w bloku B uruchomiono w sierpniu 2010 roku. Zgodnie z założeniami projektowymi, na obecnym etapie rozcinka prowadzona jest w narożu calizny przy pochylni E–4a. Po rozpoznaniu i przejściu strefy uskoku planowana jest zmiana kierunku postępu przodków na równoległy do pochylni E–4a oraz E5. Front eksploatacyjny o długości około 470 m, będzie przemieszczał się po upadzie złoza w kierunku wiązki wyrobisk chodnikowych T,W–418 oraz wyrobisk komory maszyn ciężkich KMC.

4. Charakterystyka aktywności sejsmicznej

Dla oceny aktywności sejsmicznej w polu G–7/5 przeanalizowano dane archiwalne z lat 2007–2010. Ogółem, od lipca 2007 do końca września 2010 roku, zarejestrowano 400 wstrząsów o energiach większych od $1,0 \cdot 10^3$ J, wśród których wystąpiło 95 zjawisk o energiach co najmniej $1,0 \cdot 10^5$ J, w tym 6 zjawisk o energiach powyżej $1,0 \cdot 10^7$ J (m.in. 2 bardzo silne wstrząsy o energii rzędu 10^8 J w 2007 i 2010 roku). Całkowita energia wyładowana w tym polu, w analizowanym okresie, osiągnęła wartość $4,66 \text{ E}8$ J. Osiem wstrząsów wysokoenergetycznych ($E \geq 1,0 \cdot 10^5$ J), jakie zaistniały od października 2009 do września 2010 roku, zostało spowodowanych robotami strzałowymi. Skuteczność stosowanej profilaktyki tapaniowej w odniesieniu do wstrząsów wysokoenergetycznych wynosi około 33%.

Ze względu na poziom aktywności można wyróżnić trzy okresy podczas prowadzonej eksploatacji od października 2009 do września 2010 roku, które odpowiadają specyfice prowadzonych robót wybierkowych oraz stosowanej profilaktyce zagrożenia sejsmicznego. W okresie od października 2009 do lutego 2010 roku rejestrowano kilka silnych zjawisk w każdym miesiącu, a całkowita energia wyładowana wynosiła powyżej $1,0 \cdot 10^5$ J. W lutym 2010 roku zarejestrowano wstrząs o energii $E = 1,2 \cdot 10^8$ J, który spowodował odprężenie górotworu. Po tym wstrząsie przyjęto nowe zasady profilaktyki tapaniowej, w wyniku czego w kolejnych miesiącach nastąpiło obniżenie aktywności sejsmicznej. Kolejny jej wzrost obserwujemy od sierpnia 2010 roku i należy go wiązać z uruchomieniem rozcinki calizny w sąsiednim bloku B.

Lokalizacja ognisk wstrząsów o energii co najmniej $1,0 \cdot 10^5$ J w latach 2007–2009 wskazuje, że większość z nich występowała w liniach uskoków przebiegających przez strefę roboczą pola G–7/5 oraz na krawędziach prowadzonej rozcinki złoza (rys. 3).



Rys. 3. Lokalizacja źródeł wstrząsów o energiach $E \geq 1,0 \cdot 10^5$ J w polu G-7/5 w okresie od 01.10.2009 do 30.09.2010 roku [4]

5. Ocena wyników obserwacji i pomiarów ciśnienia górotworu

Dla bieżącej oceny stanu górotworu, prognozowania zagrożeń oraz właściwego doboru metod ich zwalczania w polu G-7/5 prowadzone są następujące obserwacje i pomiary: obserwacje wizualno-akustyczne i badania endoskopowe skał stropowych, pomiary konwergencji, pomiary deformacji otworów wiertniczych oraz wzbudzonej aktywności sejsmoakustycznej.

Cyklicznie prowadzona jest także kontrola obudowy wyrobisk. Dodatkowo dokonuje się analizy stref zagrożenia sejsmicznego metodą geotomografii pasywnej w cyklach comiesięcznych oraz prowadzi się pomiary osiadania powierzchni terenu wzdłuż istniejących linii pomiarowych.

Poniżej przedstawiono wyniki obserwacji i pomiarów jakie realizowane były w okresie ostatnich kilkunastu miesięcy, tj. od dnia października 2009 do końca września 30.09.2010 roku [4].

5.1. Obserwacje wizualno-akustyczne

Wszystkie wykonywane skrzyżowania wyrobisk objęte były obserwacją przy pomocy sygnalizatorów rozwarstwień stropu SRS. Lokalnie stwierdzano zagrożenie zawalowe (opadnięcie elementów wskaźnikowych SRS) szczególnie w strefach zuskokowanych. Pozostałe obserwacje wizualno-akustyczne kilkakrotnie wykazywały anomalie wskazujące na wzrost

zagrożenia tąpnięciami w polu G-7/5 i odnosiły się do stwierdzanych lokalnie dźwięczności górotworu oraz przejawów wzmożonego ciśnienia górotworu w postaci trzasków, łuszczenia się skał stropowych i ociosowych w rejonie przodków. Każdorazowo wykonywano wówczas wraz ze strzelaniami grupowymi przodków strzelania odprężające w spągu lub pod filarami technologicznymi w przedmiotowych wyrobiskach.

Analizując wyniki przeprowadzonych obserwacji endoskopowych warstw stropowych w aspekcie dotychczasowych doświadczeń można stwierdzić, że skały stropowe w rejonie pola G-7/5 mają generalnie tendencję do rozwarstwiania się.

5.2. Wyniki dokonanych pomiarów

Konwergencja wyrobisk, w analizowanym okresie generalnie wahała się w granicach od 0 do 9 mm/dobę, przy czym najwyższe wartości rejestrowano na prawym skrzydle frontu bloku A. Zaciskanie wyrobisk charakteryzowało się równomiernym tempem na całej powierzchni strefy roboczej.

Pomiary deformacji otworów wiertniczych prowadzone były za pomocą czujników ociosowych i stropowych, zabudowanych w caliźnie oraz w wybranych filarach wielkogabarytowych. Odnotowano dwukrotnie skokową zmianę wskazań czujników połączonej ze zwiększoną konwergencją, po tąpnięciu zaistniałym w dniu 20.02.2010 roku oraz po wstrząsie o energii $E = 8,4 \cdot 10^6$ J w dniu 22.09.2010 roku. W pozostałych okresach rejestrowano małe przyrosty ich wskazań co świadczy o ustabilizowanej pracy górotworu w rejonie zabudowy czujników deformacji.

Pomiary aktywności sejsmoakustycznej licznikami MLT-3 realizowano każdorazowo przy wykonywaniu strzelań grupowych przodków. W analizowanym okresie syntetyczny wskaźnik stabilności górotworu SWSG przyjmował wartości w zakresie od 1 do 10, w dziesięciostopniowej skali pomiarowej. W bloku A dwukrotnie odnotowano nagły wzrost wartości wskaźnika SWSG o 7 i 8 klas. Oba przypadki miały miejsce w lipcu 2010 roku. Zalecono wówczas wykonanie grupowych strzelań przodków, po których sprowokowano wstrząsy górotworu o małej energii.

Wyniki pomiarów niwelacyjnych osiadania powierzchni terenu prowadzone są w okresach półrocznych i nie odbiegały od obserwowanych dotychczasowo w tym rejonie.

Lokalizacje stref podwyższonej prędkości fali P, które wyznaczono metodą geotomografii pasywnej w okresie od października 2009 do września 2010 roku, miały bardzo zróżnicowaną lokalizację i praktycznie występowały w całym polu eksploatacyjnym [4].

6. Podsumowanie

Dotychczasowej eksploatacji polu G-7/5 towarzyszył wysoki poziom zagrożenia tąpnięciami i zawałami, głównie ze względu na:

- występowanie w stropie zasadniczym mocnych i sztywnych warstw węglanowych,
- występowanie w obrębie pola przekątnej strefy uskoków o zrzucie do około 3,0 m,

- eksploatację w warunkach skrzepowanych przez otoczenie pola, w tym bloku bloku A, znacznymi powierzchniami zrobów oraz rozcinanie calizny złoża w kierunku na strefę upodatnioną i sąsiednie zroby,
- stosunkowo wysoka aktywność sejsmiczną towarzyszącą eksploatacji w polu G–7/5 w ostatnich latach.

Bardzo trudne warunki geologiczno–górnice w polu, zwłaszcza w bloku A, powodowały wielokrotne zmiany kierunku prowadzenia robót, w tym na zroby i strefy upodatnione. Biorąc pod uwagę wyniki analizy dotychczasowej aktywności sejsmicznej w polu G–7/5, ze szczególnym uwzględnieniem lokalizacji wysokoenergetycznych wstrząsów sejsmicznych, mechanizmu ogniska wstrząsu o energii $9,3 \cdot 10^7$ J z dnia 21.07.2009 roku i rozpoznanej strefy uskokowej w bloku A można stwierdzić, że dalsze prowadzenie robót rozczinkowych w tym bloku byłby realizowane przy podwyższonym poziomie zagrożenia sejsmicznego. W tej sytuacji podjęto decyzję o pozostawieniu nierozciętej resztki złoża (o powierzchni około 3 ha), której regularny kształt, powinien przyczynić się do poprawy sytuacji geomechanicznej w tej części pola i równocześnie powinien sprzyjać stabilizacji strefy uskokowej, przechodzącej skośnie przez blok A.

Prawdopodobne jest, że w kolejnych miesiącach aktywność sejsmiczna w polu G–7/5 będzie zdeterminowana rozczinką złoża w bloku B przy stosunkowo niskim poziomie emitowanej energii sejsmicznej w trakcie prowadzenia robót likwidacyjnych w bloku A. W warunkach kopalń LGOM sporadyczne jest występowanie silnych wstrząsów, które zlokalizowane są na krawędzi pozostawionej w zrobach resztki. W analizowanych warunkach geologiczno–górnicznych bloku A pola G–7/5 nie można jednak wykluczyć zaistnienia pojedynczych, silnych wstrząsów górotworu.

W trakcie eksploatacji prowadzony był pełny zakres obserwacji zjawisk dla oceny zagrożenia tapaniami i zawałami. Analizując wyniki badań zachowania się górotworu w przedmiotowym polu należy stwierdzić, że skały stropowe mają tendencję do rozwarstwiania się, przez co w wyrobiskach eksploatacyjnych występowały liczne przypadki braku stateczności stropu i związane z tym zawały. Zagrożenie zawałowe występowało szczególnie w strefach przyuskokowych. Występujące problemy z utrzymaniem stropu wyrobisk uniemożliwiały regularny postęp eksploatacji. Sytuację dodatkowo komplikowała duża długość frontu robót rozczinkowych (np. w bloku A), co powodowało zmniejszenie prędkości postępu. W efekcie powstawała sytuacja geomechaniczna sprzyjająca destrukcji warstw stropowych.

LITERATURA

- [1] *Dębkowski R. i inni*: Kompleksowy Projekt Eksploatacji na lata 2011–2016. KGHM CUPRUM, Wrocław, 2010, (praca niepublikowana)
- [2] *Dębkowski R. i inni*: Geomechaniczna analiza możliwości dalszego prowadzenia robót eksploatacyjnych w bloku A pola G–7/5 O/ZG Rudna. KGHM CUPRUM, Wrocław, 2010, (praca niepublikowana)
- [3] Praca zbiorowa: Katalog systemów eksploatacji złóż rud miedzi dla kopalń KGHM Polska Miedź S.A. KGHM CUPRUM, Wrocław, aktualizacja 2010, (praca niepublikowana)
- [4] Materiały źródłowe O/ZG Rudna, Polkowice, 2009