

Damian ŁOPUSIŃSKI

Politechnika Wrocławska

Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

damian.lopusinski@gmail.com

Mateusz ŁOPUSIŃSKI, Ireneusz J. JÓŹWIAK

Politechnika Wrocławska

Wydział Informatyki i Zarządzania

mateusz.lopusinski2@gmail.com, ireneusz.jozwiak@pwr.wroc.pl

## **STRATEGIA PROWADZENIA ROBÓT GÓRNICZYCH W CELU OGRANICZENIA AKTYWNOŚCI SEJSMICZNEJ POLA EKSPLOATACYJNEGO**

**Streszczenie.** W artykule omówiono zagrożenia, jakie stanowią wstrząsy górnicze oraz tąpnięcia. Opisano zagadnienia profilaktyki tąpniowej ograniczającej aktywność sejsmiczną pola eksploatacyjnego górnictwa podziemnego rud miedzi. Przedstawiono strategię postępowania w przypadku zagrożenia tąpnięciami, mającą na celu jego zmniejszenie.

**Słowa kluczowe:** strategia, roboty górnicze, pole eksploatacyjne, aktywność sejsmiczna, profilaktyka tąpniowa.

## **STRATEGY OF MINING OPERATIONS IN ORDER TO REDUCE SEISMIC ACTIVITY AND ROCKBURST HAZARD OF MINING PANEL**

**Summary.** The paper presents hazard, what are the rock-mass tremors and rockbursts. Methodology of rockburst prevention, reducing seismic activity of mining panel in underground copper ore mine was described. The shown strategy of proceeding is used in rockburst hazard conditions in order to reduce it.

**Keywords:** strategy, mining operations, mining panel, seismic activity, rockburst prevention.

## 1. Wprowadzenie

Wstrząsy górnicze są częstym następstwem wybierania złoża. Skutkami wstrząsów górniczych mogą być odprężenia lub tąpnięcia. W górotworze występuje wówczas naruszenie stanu równowagi, które spowodowane jest uwolnieniem nagromadzonej energii potencjalnej. Ta uwolniona energia potencjalna zamieniana jest m.in. w energię sejsmiczną, która rozchodzi się w postaci fal sprężystych od źródła wstrząsu. Źródłem wstrząsu jest tu miejsce zniszczenia ośrodka skalnego. Odpowiedź na pytanie: jakie czynniki opisują aktywność sejsmiczną?, jest zawarta w pracy [7] i dotyczy podziemnej kopalni rud miedzi. Czynnikiemami tymi są: liczba zarejestrowanych wstrząsów, liczba wstrząsów wysokoenergetycznych, ilości wyzwolonej energii sejsmicznej oraz wielkość energii sejsmicznej przypadającej na jednostkę powierzchni wybranego złoża lub ilości wydobytej rudy.

Uwolniona energia potencjalna powoduje wstrząsy sejsmiczne, mogące skutkować tąpnięciami lub odprężeniami. Na te zagrożenia mają z kolei wpływ następujące czynniki [7]: budowa złoża, warunki geologiczno-górnicze, parametry wytrzymałościowe skał oraz organizacja produkcji.

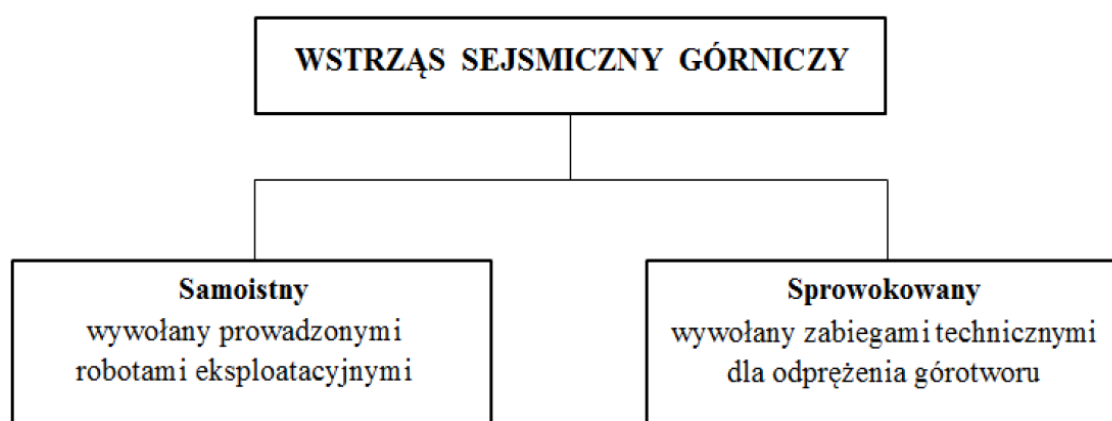
Tąpnięcia i odprężenia są kwalifikowane jako zjawiska dynamiczne. Mogą one prowadzić do strat materialnych lub do wypadków z udziałem ludzi. Bezpieczeństwo jest tu więc kluczowym problemem. Brak jest metod eliminacji zagrożeń. Należy zastosować profilaktykę tąpniową. Będzie ona ograniczać zagrożenie sejsmiczne oraz tąpnięciami. Ustala się ją oraz modyfikuje na bieżąco, w zależności od stanu zagrożenia.

W artykule zaproponowano strategię prowadzenia robót górniczych w celu ograniczenia aktywności sejsmicznej oraz zagrożenia tąpnięciami pola eksploatacyjnego. Opracowano ją, opierając się na pracy [7]. Na proces produkcyjny w podziemnych kopalniach rud miedzi istotny wpływ mają zagrożenia naturalne. Wyróżnia się następujące zagrożenia [3, 4]: klimatyczne, sejsmiczne, tąpnięciami, zawałami, wodne, radiacyjne, gazowe i gazogedynamiczne. W pracy rozpatrzono zagrożenie sejsmiczne. Przekroczenie wytrzymałości skał w chwili wystąpienia naprężeń w górotworze jest przyczyną powstawania wstrząsów górniczych. Duże znaczenie ma tu także prowadzenie działalności górniczej. Uwalnia się wówczas nagromadzona w górotworze energia potencjalna. Pewna jej część zmienia się w energię sejsmiczną, która rozchodzi się w formie fal sprężystych od miejsca wstrząsu, w którym następuje zniszczenie ośrodka skalnego. Energia zawiera się w przedziale od kilku do  $10^9$  J [5]. Niemożliwe jest całkowite wyeliminowanie zagrożenia. Można je tylko ograniczyć, wprowadzając pewną strategię, która na to pozwoli. W artykule przedstawiono propozycję rozwiązania problemu za pomocą sposobów kontrolowania zagrożenia.

## 2. Zjawisko wstrząsów i tąpnięć

W górotworze w wyniku naruszenia stanu jego równowagi występują wstrząsy sejsmiczne. Wzrost energii potencjalnej spowodowany jest pracą wykonywaną przez naprężenia. W przypadku gdy nastąpi przekroczenie wartości wytrzymałości skał, następuje natychmiastowe uwolnienie nagromadzonej energii potencjalnej [1]. Jest ona zamieniana także w energię sejsmiczną. Występują wówczas wstrząsy górnicze. Stanowią one wielkie niebezpieczeństwo, nic więc dziwnego, że podejmowane są badania ustalające przyczyny ich występowania oraz opracowywane są metody zapobiegania tym zagrożeniom.

Tąpnięcia lub odprężenia określane są jako wstrząsy górnicze ze skutkami w wyrobiskach. Na rysunku 1 przedstawiono podział górniczych wstrząsów sejsmicznych.



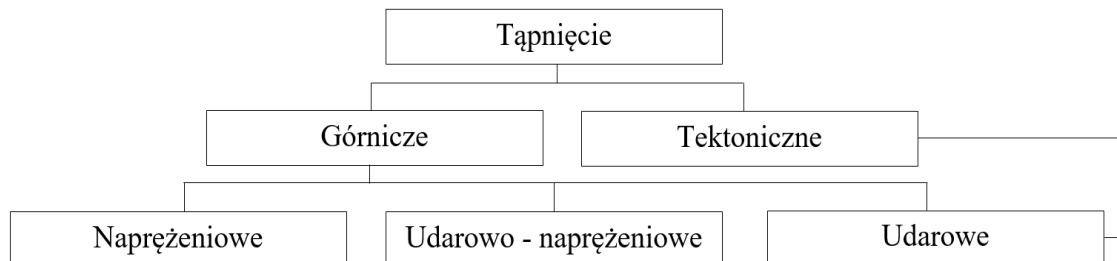
Rys. 1. Podział wstrząsów górniczych [1]

Fig. 1. Qualification of rock-mass tremors [1]

Źródło: Butra J.: Eksploatacja złoża rud miedzi w warunkach zagrożenia tąpnięciami i zawałami. Wydawnictwo KGHM Cuprum sp. z o.o. CBR, Wrocław 2010.

Tąpnięcie jest to gwałtowne uwolnienie się energii sprężystej, która jest nagromadzona w górotworze. Objawia się to drganiami górotworu. Drganiom tym towarzyszą zjawiska akustyczne i fala uderzeniowa. Powoduje to zniszczenie struktur skał i dynamiczne przemieszczenie skał do wyrobiska, czyli zniszczenie lub uszkodzenie wyrobiska, a także maszyn i urządzeń górniczych. Pojęcie odprężenia ma zastosowanie praktyczne ze względu na fakt, że nie jest możliwe określenie minimalnego uszkodzenia wyrobiska, które będzie tąpnięciem. Odprężeniem nazywa się także wyładowanie energii sprężystej, powodujące przemieszczenie skał do wyrobiska, które jednak nie narusza zmniejsza stateczności obudowy i funkcjonalności wyrobisk. Różnica między wstrząsem, tąpnięciem i odprężeniem wynika ze skutków i następstw w wyrobiskach górniczych.

Tąpnięcia można podzielić na górnicze i tektoniczne, co przedstawiono na rysunku 2. Tąpnięcia górnicze powstają wskutek działalności górniczej, a tektoniczne są związane z aktywnością stref tektonicznych.



Rys. 2. Rodzaje tąpnięć [2]

Fig. 2. Types of rockbursts [2]

Źródło: Dubiński J., Konopko W.: Tąpnięcia – ocena – prognoza – zwalczanie. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 2000.

Tąpnięcia naprężeniowe są spowodowane wzrostem naprężeń w sąsiedztwie wyrobisk. Zagrożenie przez nie wywoływane jest możliwe do przewidzenia. Tąpnięcia udarowe powstają w wyniku pęknięcia warstwy skalnej w stropie lub spągu. Następuje tu też przemieszczenie tej monolitycznej warstwy skalnej. Prognozowanie tąpnięć następuje na podstawie badań w skałach otaczających.

### 3. Profilaktyka tąpniowa

Wstrząsy w górnictwie podziemnym były i są zjawiskiem niebezpiecznym. Niezwykle ważnym aspektem jest możliwość ich prognozowania. Początkowo prognoza wstrząsów polegała na obserwacji zachowania się zwierząt (ptaków, myszy). Prognozowanie wstrząsów można także przeprowadzać, oceniając zjawiska akustyczne, jak np. stuki i trzaski w górotworze. Ponadto stacje geofizyki górniczej określają miejsce, energię i czas występowania wstrząsów. Zagrożenie tąpnięciami stanowi podstawowy problem bezpieczeństwa. Ważne jest zastosowanie odpowiedniej profilaktyki tąpniowej. Można wyróżnić następujące etapy profilaktyki [1]:

- a) ocena przyczyn, źródła i stanu zagrożenia,
- b) dobór metod zwalczania zagrożenia,
- c) realizacja przyjętej metody,
- d) kontrola skuteczności zastosowanej profilaktyki.

Przedstawione etapy profilaktyki tąpniowej są podstawą opracowania strategii zwalczania zagrożenia tąpnięciami.

#### 4. Strategia zwalczania zagrożenia tąpnięciami

Aby zwalczyć zagrożenie tąpnięciami, należy rozpatrzyć cały proces wydobywania rudy, rozpoczynając od etapu projektowania do eksploatacji złoża. Jak to zauważył D. Łopusiński w pracy [7], należy przez to rozumieć techniczne, technologiczne i organizacyjne przedsięwzięcia mające na celu ograniczenie lub likwidację istniejącego zagrożenia. Profilaktyka tąpniowa składa się z etapów wyszczególnionych w pracy [7]. Ich dobór zależy od stopnia zaawansowania procesu wydobywania rudy oraz stanu i źródeł zagrożenia. Profilaktyka powinna zapewnić eliminację lub przynajmniej ograniczenie zagrożenia, a także minimalizować jego skutki. Powinna także uwzględniać skalę zagrożenia sejsmicznego. Nie może być sprzeczna z wymaganiami bezpiecznej pracy w warunkach występowania innych naturalnych zagrożeń. Najtańszą i najskuteczniejszą profilaktyką tąpniową jest odpowiednio przygotowany Projekt Techniczny Eksploatacji. W polskim górnictwie rud miedzi stosuje się komorowo-filarowe systemy eksploatacji. Niezmiernie ważne są także technologia prowadzenia robót górniczych oraz środki doraźne i organizacyjne profilaktyki, z obserwacjami zmian stanu zagrożeń. Wyróżnia się następujące metody zwalczania zagrożenia tąpnięciami, uwzględniające istotę oraz możliwość ich wykorzystania w procesie wydobywczym podziemnych kopalń rud miedzi [1, 7]:

1. metody długofalowe,
2. metody doraźne,
3. metody organizacyjne.

**Ad 1.** Metody długofalowe związane są z procesem eksploatacji. Uwzględniają zagrożenie już na etapie dokumentacji złoża i badania budowy geologicznej górotworu. Realizacja przebiega przez rozłożenie eksploatacji złoża w czasie i w przestrzeni. Stosuje się tu odpowiednią technologię robót górniczych, projektując zagospodarowanie złoża zagrożonego tąpnięciami. Metody te są bardzo ekonomiczne i skuteczne. Głównym ich zadaniem jest minimalizacja występowania stref koncentracji naprężeń w otoczeniu wyrobisk.

**Ad 2.** Metody doraźne zwalczania zagrożenia tąpnięciami stosuje się, gdy zagrożenie spowodowane jest warunkami eksploatacji złoża. Wykorzystuje się tu metody mające na celu oddziaływanie na strukturę złoża i skał w celu zmniejszenia ich parametrów wytrzymałościowych i sprężystości. Prowokuje się także wstrząsy, tąpnięcia lub odprężenia, w momencie gdy w polu eksploatacyjnym nie ma ludzi. Do metod tych zalicza się przede wszystkim określone roboty strzałowe.

**Ad 3.** W zakres metod organizacyjnych wchodzi przede wszystkim akty prawne dotyczące prowadzenia robót górniczych w warunkach zagrożenia tąpnięciami. Musi być opracowana strategia zwalczania tego typu zagrożenia. Obejmuje ona kompleksowe i długoterminowe projekty eksploatacji złóż podatnych na tąpnięcia. Powołuje się kopalniane

służby do spraw zwalczania tępań. Mają one za zadanie ocenić zagrożenie, wybrać odpowiednie sposoby jego zwalczania oraz szkolić załogę i dozór górniczy.

Metody zwalczania tępań można podzielić także na pasywne oraz aktywne [6]. Metody pasywne polegają na zastosowaniu odpowiedniej technologii robót górniczych, ograniczającej zagrożenie lub minimalizującej skutki tępnięć. Metody aktywne rozładują naprężenia lub prowokują występowanie tępań w warunkach zapewniających ich nieszkodliwość [6, 7].

Biorąc powyższe pod uwagę, opracowano algorytm zwalczania zagrożenia tępianiami będący strategią zwalczania tych zagrożeń. Mówiąc o algorytmie, należy uwzględnić zasady, do których trzeba się stosować już od samego początku trwania robót w polu eksploatacyjnym. Można do nich zaliczyć:

- zastosowanie odpowiedniej odmiany systemu komorowo-filarowego w zależności od warunków geologiczno-górniczych wraz z odpowiednim sposobem kierowania stropem,
- stosowanie odpowiedniej obudowy wyrobisk,
- unikanie koncentracji robót górniczych,
- zachowanie równej linii rozcinki oraz utrzymywanie jej równoległe do linii likwidacji, przy zachowaniu odpowiedniego dystansu między tymi liniami (otwarcia przestrzeni roboczej),
- stosowanie głębokiego upodatnienia krawędzi calizny przed wykonaniem wyrobiska poprzecznego,
- zwiększanie liczby przodków przez lokowanie filarów technologicznych prostopadle to krawędzi rozcinanej calizny,
- dobieranie wymiarów filarów technologicznych, umożliwiających ich pracę w fazie pozniszczeniowej,
- stosowanie właściwego usytuowania linii, kierunku i postępu frontu, odpowiednio do występującej sytuacji górniczo-geologicznej (do linii zrobów sąsiedniego pola, wyrobisk, przez które będzie przechodził front, płaszczyzn uskoku itp.),

Dalsze działania strategiczne, mające na celu ograniczanie zagrożenia tępianiami to:

1. Wyznaczanie stref szczególnego zagrożenia tępianiami, w których ogranicza się do niezbędnego minimum liczbę zatrudnionych osób.
2. Stosowanie odpowiedniego czasu wyczekiwania po robotach strzałowych oraz jego zwiększanie (nawet do 24 h) w przypadku rosnącego zagrożenia.
3. Wykonywanie grupowych strzelań urabiająco-odprężających przodków, mających na celu odprężenie górotworu oraz w razie potrzeby zwiększanie liczby jednocześnie odpalanych przodków do maksimum w przypadku rosnącego zagrożenia tępianiami.
4. Wykonywanie strzelań odprężających w caliznie, polegających na odpaleniu materiału wybuchowego w dodatkowych otworach o zwiększonej średnicy i długości, niezależnie od strzelań przodków lub łącznie z nimi.
5. Wykonywanie strzelań odprężających w spągu i w filarach zdolnych do kumulacji naprężeń.

6. Regulowanie smukłości filarów przez zwiększenie szerokości wyrobisk przy stropie do 10 m w przypadku występowania w przodkach piaskowca o spoiwie anhydrytowym.
7. Wprowadzenie konieczności analizowania aktywności sejsmicznej oraz oceny zagrożenia tąpniętami ze zwiększoną częstotliwością.
8. Wprowadzenie konieczności pomiarów geodezyjnych deformacji powierzchni terenu.

W przypadku gdy powyższe działania strategiczne są niewystarczające, należy w polu eksploatacyjnym wprowadzić zmiany organizacyjne, do których można zaliczyć:

1. Wydzielenie bloków, mających na celu dekoncentrację naprężeń oraz wyrównanie linii frontu.
2. Podział pola eksploatacyjnego na bloki, przy szeregowym ich wybieraniu (tzn. kontynuacja prac w bloku Y dopiero po ich zakończeniu w bloku X).
3. Zaniechanie eksploatacji w polu (w ekstremalnych przypadkach).

## 5. Podsumowanie

Przy prowadzeniu robót górniczych istotne jest ograniczenie niebezpieczeństwa występowania wstrząsów górniczych. Modyfikacje profilaktyki tąpniowej mogą być tworzone na podstawie sporządzonego algorytmu. Zaproponowana strategia zwalczania zagrożenia tąpniętami poprawi bezpieczeństwo pracy ludzi w polach eksploatacyjnych podziemnych kopalń rud miedzi.

## Bibliografia

1. Butra J.: Eksploatacja złoża rud miedzi w warunkach zagrożenia tąpniętami i zawałami. Wydawnictwo KGHM Cuprum sp. z o.o. CBR, Wrocław 2010.
2. Dubiński J., Konopko W.: Tąpnięcia – ocena – prognoza – zwalczanie. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 2000.
3. Dziedzic D. i inni: Zagrożenie naturalne w polskim górnictwie rud miedzi. Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud, t. 42, nr 1, Wrocław 2007.
4. Hryciuk A. i inni: Zagrożenia naturalne i podejmowane działania profilaktyczne w KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG Rudna w latach 1993 – 2013. Prewencja zagrożeń naturalnych. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2013.
5. Janowski A.: Informacja na temat stanu zagrożenia tąpniętami i zawałami oraz skuteczności metod ograniczania tych zagrożeń w kopalniach LGOM w 2013 roku. CPBM Cuprum, Wrocław 2014.

6. Krzyżowski A.: Profilaktyka łąpaniowa w kopalniach węgla kamiennego. Materiały Międzynarodowego Sympozjum: łąpania. Stan badań i profilaktyki. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 2002.
7. Łopusiński D.: Wpływ modyfikacji profilaktyki łąpaniowej oraz tempa prowadzenia eksploatacji na aktywność sejsmiczną górotworu w polu XVII/1 w KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG Rudna. Praca dyplomowa magisterska. Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Wrocław 2016.

### **Abstract**

Safety is the most important thing in underground copper ore mining. The most dangerous are seismic and rockburst hazards. Daily distribution of number of recorded seismic events and the volume of energy released confirm the advisability of using this kind of hazard prevention. The methods of rockburst prevention were developed and they evolved over the past years. They can be separated into long-term, ad hoc and organizational methods. The strategy of algorithm-like proceeding proposed in the paper allows to define if the current prevention is correctly matched to mining panel and show how to modify it in order to decrease seismic activity and rockburst hazard. This method allows to improve safety of people working in underground copper ore mining panels.