

*zagrożenie tąpniętami,
podziemna eksploatacja rud miedzi,
konwergencja wyrobisk,
aktywność sejsmiczna*

Anna GOGOLEWSKA*, Radosław BARTOS**

OCENA STANU ZAGROŻENIA TĄPNIAAMI W WYBRANYCH ODDZIAŁACH WYDOBYWCZYCH O/ZG POLKOWICE–SIEROSZOWICE

Przeanalizowano zagrożenie tąpniętami w dwóch polach eksploatacyjnych O/ZG Polkowice–Sieroszowice: pole A oddziału G-23 oraz pole D oddziału G-54 O/ZG w latach 2005–2006. Scharakteryzowano warunki geologiczno–górniczne w obszarze badań. Ocenę stanu zagrożenia przeprowadzono na podstawie danych z pomiarów przeprowadzonych podstawowymi metodami identyfikacji tego zagrożenia, do których należy sejsmologia górnicza oraz pomiary konwergencji wyrobisk. Przedstawiono spostrzeżenia wynikające z bezpośredniej obserwacji poziomu zagrożenia w wybranych polach eksploatacyjnych. Szczególny nacisk położono na okresy wysokiego poziomu zagrożenia tąpniętami, a następnie na określenie przyczyn jego wzrostu. W analizach stanu zagrożenia nawiązano do aktualnej w momencie obserwacji sytuacji górnicznej.

1. WSTĘP

Eksploatacja podziemna złóż kopalin jest związana z wieloma zagrożeniami, które powodują, że środowisko pracy górników należy do jednego z najbardziej niebezpiecznych. Wynika to ze specyficznych i niezwykle złożonych warunków pracy pod ziemią. Konieczność eksploatacji w coraz bardziej zagrożonych rejonach wiąże się z podejmowaniem prac badawczych, które mają za zadanie dokładne poznanie zagrożeń i znalezienie sposobów ich zwalczania lub przynajmniej ograniczania. Dla górnictwa rud miedzi w Polsce podstawowym zagrożeniem są tąpnięcia [1] będące najczęściej skutkiem wysokoenergetycznych wstrząsów sejsmicznych.

* Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

** KGHM Polska Miedź S.A., O/ZG Polkowice-Sieroszowice

Dynamiczne przejawy ciśnienia górotworu ze skutkami w wyrobiskach niosą ze sobą największe straty materialne dla przedsiębiorcy oraz często kosztują ludzkie życie. Dlatego niezwykle ważne jest przeprowadzanie szczegółowych badań, analiz oraz ocena tego zagrożenia.

Celem opracowania jest dokonanie oceny stanu zagrożenia tąpnięciami w dwóch wybranych eksploatacyjnych polach O/ZG „Polkowice–Sieroszowice”: w polu A oddziału G-23 oraz polu D oddziału G-54, w latach 2005–2006. Analizę przeprowadzono na podstawie wyników pomiarów sejsmologicznych oraz konwergencji wyrobisk.

2. PRZYCZYNY WSTRZĄSÓW I METODY OCENY STANU GÓROTWORU

Zagrożenie związane z występowaniem wstrząsów sejsmicznych w kopalniach rud miedzi jest przedmiotem prac realizowanych przez wiele ośrodków naukowych, których zadaniem jest jego ograniczanie i kontrolowanie. W związku z wpływem tych zjawisk na bezpośrednie bezpieczeństwo załogi państwo za pośrednictwem powołanych do tego urzędów nakłada na przedsiębiorcę określone uwarunkowania prawne chroniące pracowników oraz złoże będące własnością Skarbu Państwa.

Zjawisko wstrząsu naturalnego w kopalniach rud miedzi w Polsce jest wynikiem gwałtownego rozładowania energii sprężystej zakumulowanej w górotworze skłonnym do tupań. Czynnikiem naturalnym sprzyjającym tąpnięciom są przede wszystkim [1]: duża wytrzymałość na ściskanie skał, zdolność sztywnych warstw skalnych do akumulowania energii, duża miąższość kompleksu skał węglanowych i anhydrytowych, duża głębokość zalegania złoża, tektoniczne zaangażowanie złoża.

Czynniki górnicze wpływające na zagrożenie sejsmiczne to: systemy eksploatacji złoża oraz sposób kierowania stropem, wielkość wyeksploatowanej powierzchni złoża i powstanie filarów oporowych, duża koncentracja robót górniczych, długość frontu eksploatacyjnego i wielkość otwarcia przestrzeni roboczej.

Badając charakter zaistniałych tąpnięć można wysunąć następujące wnioski [3]: lokalizacja tąpnięć ma w znacznej większości przypadków miejsce w strefach koncentracji naprężeń, (strefy przyzrobowe, przed linią rozcinki calizny na frontach eksploatacyjnych, w strefach nakładającego się działania ciśnienia eksploatacyjnego i wpływu zrobów); zniszczeniu ulegają zwykle filary o szerokości około 20 do 25 m. (filary o mniejszej szerokości oraz szerokości znacznie większej są mniej skłonne do tupań); przy tąpnięciach zwykle urobione zostają i wypchnięte do wyrobisk skały z ociosów (skały furty eksploatacyjnej), nie obserwowano natomiast wyrzutów skał ze stropu; strop pozostaje zwykle nienaruszony, a tylko niekiedy zdarzają się zawały spękanej warstwy stropu na wysokość około 2 m; spąg przy tąpnięciach ulega często spękaniu i mniejszemu lub większemu wyciśnięciu.

Poprzez system obserwacji i pomiarów dąży się do zlokalizowania stref niestabilnych w górotworze, które indukują wysokoenergetyczne wstrząsy powodujące często tapania i odprężenia. Podczas procesu eksploatacyjnego prowadzone są na bieżąco obserwacje i pomiary mające na celu ograniczyć ryzyko skutków dynamicznych przejawów ciśnienia górotworu. W zakres stosowanych obserwacji, pomiarów i badań wchodzi między innymi [1]: badania właściwości wytrzymałościowych skał budujących górotwór w nowych rejonach eksploatacyjnych i strefach występowania piaskowca o spoiwie anhydrytowym, obserwacje przejawów ciśnienia górotworu w wyrobiskach górniczych, pomiary konwergencji wyrobisk, pomiary deformacji górotworu w otworach badawczych (deformometria otworowa), pomiary niwelacyjne osiadania stropu, okresowe pomiary niwelacyjne obniżania powierzchni, pomiary tzw. stopnia wyężenia filarów, rejestracja i analiza aktywności sejsmicznej górotworu, pomiary wzbudzonej aktywności sejsmoakustycznej, pomiary rozwarstwień stropu, badania rozwarstwień stropu wziernikami peryskopowymi, pomiary rozwarstwień ociosów.

Spośród wyżej wymienionych metod oceny stanu górotworu dla omawianych pól eksploatacyjnych do analizy poziomu zagrożenia sejsmicznego wybrano następujące: sejsmologię górniczą i pomiar konwergencji wyrobisk. Kryteriami tego wyboru były: warunek praktycznego zastosowania ich dla tych pól przez kopalniane służby Działu Tapani i Obudowy Górniczej O/ZG „Polkowice–Sieroszowice”, dostępność pełnych danych dla tych metod, odzwierciedlających sytuację sejsmiczną w całym okresie 2005–2006 oraz efektywność w zakresie oceny stanu zagrożenia tapaniami.

Głównym celem interpretacji danych sejsmologicznych jest ustalenie aktualnego stanu zagrożenia sejsmicznego i wynikającego z niego zagrożenia tapaniami w odniesieniu do konkretnych lokalizacji, ale również predykcja zagrożenia sejsmicznego dla dalszych przedziałów czasowych. Zdecydowanie pozytywne efekty uzyskuje się wykorzystując wieloletnie doświadczenia w interpretacji wyników, które związane są z różnorodną specyfiką badanych rejonów kopalń. Oceny stanu zagrożenia tapaniami na podstawie danych zebranych metodami sejsmologii górniczej dokonuje się poprzez analizę statystycznych rozkładów aktywności sejsmicznej. Pomocne przy tym są następujące wskaźniki: ilość rejestrowanych wstrząsów, ilość wstrząsów wysokoenergetycznych, wielkość wyzwolonej energii sejsmicznej, wielkość energii sejsmicznej przypadającej na jednostkę powierzchni wybranego złoża lub ilości wydobytej rudy. Dla wartości wymienionych wskaźników tworzy się rozkłady statystyczne w kolejnych interwałach czasowych. Pozwala to na wychwycenie pojawiających się tendencji i dostosowania do nich odpowiedniej profilaktyki tapaniowej. Prawdopodobieństwo wystąpienia tapania w wyrobisku górniczym jest związane ze zbiorem parametrów fizycznych charakteryzujących wstrząs, cechy ośrodka skalnego oraz stateczność samego wyrobiska.

Istotną rolę wśród metod obserwacji stanu górotworu, a przez to pośrednio oceny stanu zagrożenia sejsmicznego [2] w polskich kopalniach rud miedzi pełnią pomiary konwergencji wyrobisk. Systematyczne ich prowadzenie pozwala na śledzenie wzajemnych przemieszczeń skał stropowych i spągowych będących przejawem ciśnienia

w ośrodku skalnym. Są one również uzupełnieniem do kontroli powstawania rozwarstwień w stropie w strefie powyżej zasięgu pomiarowego sygnalizatorów rozwarstwienia stropu [4]. W oparciu o wyniki jej pomiarów w kopalniach LGOM podejmuje się odpowiednie działania profilaktyczne. Prowadzone w oddziałach wydobywczych tych zakładów pomiary oraz obserwacje zachowania się górotworu stały się empiryczną podstawą do ustalenia pewnych prawidłowości przebiegu zjawisk dynamicznych w ośrodku skalnym. Głównym wyznacznikiem jest tutaj szybkość zaciskania się wyrobisk. W przypadku braku zagrożenia ze strony górotworu utrzymuje się ona w określonych przedziałach czasu i dla danych warunków geologiczno-górnicznych na stałym poziomie. Nie przekracza ona wyznaczonej doświadczalnie granicy, ani też nie obserwuje się gwałtownych zmian jej wielkości. Wzrost zagrożenia dynamicznymi przejawami ciśnienia górotworu jest sygnalizowany poprzez przyrost prędkości zaciskania powodujący przekroczenie ustalonych wielkości [2]. Wszystkie obserwowane anomalie przebiegu konwergencji oraz jego nieregularność powinny być interpretowane jako narastanie zagrożenia w badanym obszarze. Zarejestrowany po dłuższym okresie dużych przyrostów konwergencji nagły spadek prędkości zaciskania lub nawet jej całkowity zanik jest oznaką wysokiego ryzyka wystąpienia wysokoenergetycznego wstrząsu. Brak ruchu mas skalnych prowadzi do kumulowania się energii sprężystej, która nie znajduje źródeł wydatkowania. Wszystkie prowadzone pomiary konwergencji powinny jednak być ściśle korelowane z sytuacją górnictwem w rejonie obserwacji. Nieregularny przebieg nie jest jednoznaczny sam w sobie ze wzrostem zagrożenia sejsmicznego. Przykładem może być sytuacja, gdy przy zatrzymaniu się frontu lub zmniejszeniu szerokości otwarcia w polu roboczym obserwuje się również podobne anomalie konwergencji. Dla każdego oddziału wydobywczego należy stosować się do dotychczasowych doświadczeniach w zakresie szybkości zaciskania się wyrobisk w jego rejonie.

Metoda obserwacji górotworu polegająca na prowadzeniu pomiarów konwergencji w wyrobiskach może dostarczyć wielu cennych informacji do przeprowadzenia oceny stanu zagrożenia. Do zalet tej metody należą takie cechy jak brak inwazyjności badań górotworu oraz prosty sposób zbierania wyników pomiarów, co wpływa na jej niską pracochłonność. Wyniki otrzymuje się natychmiast bez dodatkowych obliczeń. Wadą natomiast jest częsta niejednoznaczność analiz dotycząca oceny stanu zagrożenia. W wyniku tego pomiary konwergencji nie powinny być jedynym źródłem informacji na temat zagrożenia sejsmicznego, ale w korelacji z innymi metodami mogą stanowić wartościowy kompleks sposobów kontroli stanu górotworu. Związek pomiędzy strefami kumulacji energii w ośrodku skalnym, odpowiedzialnymi za występowanie wysokoenergetycznych wstrząsów, a interpretacją pomiarów konwergencji wyrobisk nie jest jeszcze ostatecznie ustalony.

3. WARUNKI GEOLOGICZNO-GÓRNICZE W WYBRANYCH POLACH EKSPLOATACYJNYCH

Zakłady Górnicze „Polkowice–Sieroszowice” są oddziałem KGHM Polska Miedź S.A., jedną z trzech kopalń rud miedzi w Polsce. Kopalnia ta powstała w wyniku połączenia w 1996 r. kopalni "Polkowice" i "Sieroszowice". Kopalnia "Polkowice" powstała w 1963 r., natomiast "Sieroszowice" w 1980 r.

Cechą charakterystyczną złoża rud miedzi w O/ZG „Polkowice–Sieroszowice” jest jego niewielka miąższość. Około 35,4% zasobów przemysłowych zawiera się w klasie miąższości 2,01–3,0 m, a 21,3% zasobów przemysłowych należy do klasy - 0,1–1,5 m. Bardzo ważną pozycję w eksploatowanym złożu zajmuje ruda łupkowa, która obejmuje 16,8% zasobów przemysłowych, ale stanowi największą grupę zasobową miedzi (47,2%). Ruda łupkowa daje 39,5% zasobów srebra. Zawartość miedzi w rudzie jest bardzo wysoka i wynosi średnio 2,88%.

Do przeprowadzenia analizy stanu zagrożenia sejsmicznego w latach 2005–2006 wybrano dwa pola: dla obszaru „Polkowice” pole A oddziału górniczego G-23, dla obszaru „Sieroszowice” pole D oddziału górniczego G-54.

Eksploatacja w polu A prowadzona była w obszarze ograniczonym od północy granicą obszaru górniczego „Rudna I”, od zachodu linią przebiegającą wzdłuż upadowych, od południa linią przebiegającą wzdłuż chodnika, od wschodu linią zrobów oddziału G-21 wzdłuż pochylni. Złoże bilansowe występuje w spągu skał węglanowych cechsztynu i w stropie piaskowców czerwonego spągowca i obejmuje: piaskowce szare o spoiwie węglanowym i ilasto-węglanowym, dolomit graniczny ciemnoszary, słabo zwięzły i zwięzły silnie spękany, łupek miedzionośny ilasty i dolomityczno-ilasty, dolomit ilasty czarny, zwięzły, spękany, dolomit smugowany ciemnoszary, dolomit wapnisty szary, zwięzły i silnie spękany, dolomit laminowany ciemnoszary. Skały stropowe to seria węglanowa cechsztynu o miąższości około 80 m. Natomiast spągowe skały to szary piaskowiec czerwonego spągowca słabo zwięzły (spoiwo ilaste lub w przewadze ilaste) jednak stropowa jego część charakteryzuje się znaczną zwięzłością (spoiwo węglanowe). Rozciągłość złoża wynosi NWW-SEE, upad $1\div 5^\circ$ na NNE. Górotwór jest bardzo słabo zaangażowany tektonicznie. Złoże bilansowe zalega na głębokości 742 m do 819 m.

Eksploatacja w polu D prowadzona była w rejonie piętra D-1E oraz D-2E, który obejmował obszar ograniczony od północy wiązką upadowych, od zachodu chodnikiem oraz strefą pozbawioną okruszczenia bilansowego w rejonie piętra D1E, przy granicy z obszarem górniczym ZG „Rudna”, od wschodu calizną piętra D-3E, od południa granicą obszaru górniczego ZG „Polkowice-Sieroszowice”. Złoże występuje w dolnej części serii skał węglanowych cechsztynu (dolomity i łupki) oraz w stropowej części czerwonego spągowca (piaskowce szare). Obejmuje ono: piaskowiec szary, kwarcowy, drobnoziarnisty, łupek miedzionośny ilasty i dolomityczno-ilasty, dolomit smugowany ciemnoszary. Sumaryczna miąższość złoża bilansowego

waha się od 0,3 do 2,0 m w przypadku, gdy złoże występuje tylko w węglanach, i dochodzi do 3,5 m, gdy okruszczony jest dodatkowo piaskowiec. W centralnej części piętra D-1E przebiega strefa pozbawiona okruszczowania bilansowego (strefa kamienna), lokalnie w E części frontu D-2E pojawiają się też niewielkie strefy kamienne. Skały stropowe to seria węglanowa cechsztynu o miąższości 13,0÷16,0 m. Bezpośrednio na serii węglanowej zalegają anhydryty o sumarycznej miąższości od 69 do 118 m. W części wschodniej piętra D-2E na anhydrytach zalega pokład soli kamiennej o miąższości do 80 m. W spągu bezpośrednim występują piaskowce szare czerwonego spągowca, drobnoziarniste, równoziarniste, kwarcowe o spoiwie ilastym i węglanowo-ilastym, w części wschodniej obszaru lokalnie anhydrytowym. Miąższość szarych piaskowców waha się od 2 do 5 m w piętrze D-2E i około 14 m w piętrze D-1E. Stropowa część piaskowców ze względu na dużą ilość spoiwa węglanowego jest twardsza i bardziej zwięzła. Rozciągłość złoża to NW - SE, a upad $2\div 3^\circ$ na NE, lokalnie ulega zmianom tworząc nieregularne elewacje stropu piaskowca. Górnotwór jest słabo zaangażowany tektonicznie. Uławicenie warstw jest jednorodne z lokalnymi zafałdowaniami. W części zachodniej piętra D-2E występuje uskoki o biegu NW-SE i zrzucie 6 do 8 m na NE. W rejonie uskoku stwierdza się silne zaburzenia warstw stropowych. W pozostałej części frontu występują niewielkie, tak samo zorientowane uskoki. W części SW piętra D-1W występują pojedyncze uskoki o zrzutach 1,0–4,0 m. Uskoki te mogą lokalnie tworzyć system rowów i zrębów tektonicznych. Złoże zalega na głębokości od około 925 m p.p.t. (D1E) do 1010 m p.p.t. (D2E).

Stosowanym w polu A oddziału G-23 systemem eksploatacji był system komorowo filarowy jednoetapowy z ugięciem stropu (J-UG-PS). Likwidacja przestrzeni wybranej poprzez ugięcie stropu. Filary technologiczne miały wymiary 7×10 m i były usytuowane prostopadle do linii frontu. Głębokość zalegania średnio wynosi dla pola 850 m. Wysokość furty eksploatacyjnej wynosiła $3,5\div 3,8$ m. Średnia długość frontu to 320 m. Szerokość zrobów na skrzydle prawym wynosiła około 150 m, a na lewym znajduje się calizna.

Stosowanymi w polu D oddziału G-54 systemami eksploatacji były: dla piętra D-1E system komorowo filarowy z ugięciem stropu i ruchowym filarem zamykającym (J-UGR-PS), likwidacja przestrzeni wybranej poprzez ugięcie stropu z lokowaniem skały płonnej, filary technologiczne o wymiarach 6×8 m, usytuowane prostopadle; dla piętra D-2E system komorowo filarowy z wygradzeniem w zrobach dróg wentylacyjno-transportowych (J-UGW), likwidacja przestrzeni wybranej poprzez ugięcie stropu z lokowaniem skały płonnej, filary technologiczne o wymiarach 8×26 m, usytuowane prostopadle. Głębokość zalegania średnio wynosi dla pola 1000 m. Wysokość furty eksploatacyjnej wynosiła $2\div 2,6$ m. Średnia długość frontu to 460 m. Szerokość zrobów na skrzydle lewym wyniosła około 500, a na prawym około 8070 m.

4. AKTYWNOŚĆ SEJSMICZNA GÓROTWORU W POWIĄZANIU Z SYTUACJĄ GÓRNICZĄ

Analizy aktywności sejsmicznej omawianych pól eksploatacyjnych dokonano na podstawie danych sejsmologicznych z Kopalnianej Stacji Geofizyki Górniczej przy O/ZG „Polkowice-Sierszowice”.

Dane o aktywności sejsmicznej w polu G-23 A od początku eksploatacji w roku 2003 do końca 2006 roku ujęto w tabeli 1. Wskazują one na systematyczny wzrost zarówno ilości rejestrowanych wstrząsów, jak również wydatku energii sejsmicznej. Wyjątek stanowi rok 2004, w którym nastąpił niewielki spadek stanu zagrożenia sejsmicznego. Porównywalnie z innymi oddziałami wydobywczymi O/ZG „Polkowice-Sierszowice” wysoki stan zagrożenia tąpnięciami jest skutkiem lokalizacji tego pola w strefie złoza uwolnionego w wyniku pomniejszenia filarów ochronnych szybów P-III i P-IV. Zwiększona intensywność występowania dynamicznych przejawów ciśnienia górotworu jest spowodowana kilkoma często nakładającymi się czynnikami. Prowadzona w polu G-23 A eksploatacja obejmuje strefę wpływu zrobów kopalni „Rudna”. Postęp robót przebiegał wzdłuż, a czasem nawet w kierunku tych stref likwidacji. W obrębie pola zaobserwowano również zaburzenia tektoniczne. Kolejnym z czynników wpływających na zwiększony poziom zagrożenia tąpnięciami w tym polu stanowi bliskie sąsiedztwo upodatnionej strefy sieci wyrobisk podszybia szybów P-III i P-IV.

Analiza zmian ilości wstrząsów o energii sejsmicznej równej minimum 10^3 J wskazuje na wzrost o 887% w roku 2005 w porównaniu z rokiem poprzednim. Natomiast w roku 2006 zarejestrowano o 36% więcej takich wstrząsów niż w roku 2005. Jeśli chodzi o wydatek energii wyzwolonej w danym roku to wzrosty są jeszcze większe. W 2005 roku zanotowano gwałtowny skok o 1813%, a w roku 2006 suma energii sejsmicznej wzrosła o kolejne 982%. Taki rozkład ilościowo-energetyczny wstrząsów świadczy o zdecydowanym zwiększeniu stanu zagrożenia tąpnięciami w latach 2005–2006.

Tabela 1. Aktywność sejsmiczna na obszarze pola eksploatacyjnego G-23 A w trakcie prowadzonej eksploatacji w latach 2003–2006
Table 1. Seismic activity in A panel from 2003 to 2006

Rok	Ilość zjawisk sejsmicznych w klasach energii							Suma energii [$\times 10^5$ J]
	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Ogółem	
2003	12	15	5	1	–	–	33	46,6
2004	2	6	7	–	–	–	15	26,0
2005	49	57	34	7	1	–	148	497,4
2006	76	67	44	9	4	1	201	5379,8

Zmiana ilości wstrząsów o energii sejsmicznej równej minimum 10^5 J w roku 2005 wskazuje na wzrost o 500% w porównaniu z rokiem 2004. W roku 2006 zarejestro-

wano o 38% więcej takich wstrząsów w stosunku do roku poprzedniego. Niekorzystnym zjawiskiem jest głównie duży wzrost ilości wstrząsów o wyższych energiach, które mają decydujący wpływ na rozkład energii sejsmicznej w tych latach. Spośród wszystkich zarejestrowanych wstrząsów o energii większej niż 10^3 J wstrząsy o energii większej niż 10^5 J stanowią około 28% zarówno w roku 2005, jak i w 2006, co wpływa na zwiększenie stanu zagrożenia sejsmicznego w tym polu w związku z wyraźnym wzrostem ilości tych zjawisk w roku ubiegłym. Warunki górnicze występujące w tym polu będą prawdopodobnie w najbliższej przyszłości pogłębiać tę tendencję. Obecnie strefa, w której prowadzi się eksploatację jest otoczona z trzech kierunków przez zroby, a od południa przez szybowy filar ochronny. Można zaobserwować, że zdecydowaną część ilości wstrząsów w każdej z klas energetycznych stanowią zjawiska zarejestrowane w latach 2005–2006. Dla zjawisk o energii od 10^7 J jest to wyłączny okres ich występowania.

Dane o aktywności sejsmicznej w polu eksploatacyjnym G-54 D od roku 2001 do końca 2006 roku ujęto w tabeli 2. Wskazują one na systematyczny wzrost zarówno ilości rejestrowanych wstrząsów, jak również wydatku energii sejsmicznej. Wyjątek stanowi rok 2004, w którym podobnie jak w polu G-23 A nastąpił niewielki spadek stanu zagrożenia sejsmicznego. Względnie wysoki stan zagrożenia tąpnięciami w porównaniu z innymi oddziałami wydobywczymi O/ZG „Polkowice–Sieroszowice” jest skutkiem lokalizacji tego pola w strefie wpływu obecnej i zaszłej eksploatacji, głównie sąsiadujących od wschodu zrobów kopalni „Rudna”.

W 2005 nastąpił wzrost o 24% ilości wstrząsów o energii sejsmicznej równej minimum 10^3 J w porównaniu z rokiem poprzednim. Natomiast w roku 2006 zarejestrowano o 64% więcej takich wstrząsów niż w roku 2005. Wydatek energii sejsmicznej w dwóch ostatnich latach wzrósł w jeszcze bardziej znaczący sposób.

Tabela 2. Aktywność sejsmiczna na obszarze pola eksploatacyjnego G-54 D w trakcie prowadzonej eksploatacji w latach 2001–2006

Table 2. Seismic activity in D panel from 2003 to 2006

Rok	Ilość zjawisk sejsmicznych w klasach energii							Suma energii [$\times 10^6$ J]
	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Ogółem	
2001	2	7	4	–	–	–	13	1,7
2002	17	15	4	2	–	–	38	6,5
2003	17	26	11	4	1	–	59	62,5
2004	33	27	12	1	1	–	74	29,5
2005	31	36	21	3	1	0	92	56,3
2006	40	57	36	11	5	2	151	472

W 2005 roku suma energii sejsmicznej wzrosła o 91%, a w roku 2006 jej poziom wzrósł aż o 738% w porównaniu z rokiem poprzednim. Rozkład ilościowo-

energetyczny wstrząsów świadczy o zdecydowanym zwiększeniu stanu zagrożenia tapaniami w latach 2005–2006. W latach 2005–2006 można zaobserwować zjawisko niekorzystnych zmian proporcji wstrząsów o wyższych energiach do całkowitej ilości wstrząsów o energiach od 10^3 J. Świadczy to o częstym w tym okresie wyzwaniu energii sejsmicznej poprzez jednorazowe zjawiska dynamiczne o dużych energiach, co znacząco zwiększa stan zagrożenia tapaniami. Zmiana ilości wstrząsów o energii sejsmicznej równej minimum 10^5 J w roku 2005 wskazuje na wzrost o 79% w porównaniu z rokiem 2004. W roku 2006 zarejestrowano o 116% więcej takich wstrząsów w stosunku do roku poprzedniego. Znaczący wzrost ilości wysokoenergetycznych wstrząsów w roku 2006 wpłynął na najwyższy od początku eksploatacji w tym polu poziom energii sejsmicznej, który wyniósł $4,7 \times 10^8$ J. Spośród wszystkich zarejestrowanych wstrząsów o energii większej niż 10^3 J wstrząsy o energii większej niż 10^5 J stanowią około 27% w roku 2005, a w roku następnym aż 36%, co wpływa na zwiększenie stanu zagrożenia sejsmicznego w tym polu w związku z wyraźnym wzrostem ilości tych zjawisk w 2006 roku. Warunki górnicze występujące w tym polu będą prawdopodobnie w najbliższej przyszłości pogłębiać tę tendencję. Eksploatacja znajduje się w niekorzystnej lokalizacji pomiędzy strefami zrobów kopalni „Rudna” o szerokości 8070 m oraz własną 900 m. Kolejnym czynnikiem wpływającym na zwiększenie stanu zagrożenia tapaniami jest głębokość eksploatacji w tym polu wynosząca średnio 1000 m. Można zaobserwować, że zdecydowaną część ilości wstrząsów w każdej z klas energetycznych stanowią zjawiska zarejestrowane w latach 2005–2006. Wszystkie wstrząsy o energii od 10^8 J wystąpiły wyłącznie w 2006 roku. Zanotowano w nim również największą ilość wstrząsów w każdej z klas energetycznych w porównaniu z poprzedzającym okresem eksploatacji.

5. KONWERCENCJA WYROBISK NA TLE AKTYWNOŚCI SEJSMICZNEJ

Pomiary konwergencji prowadzi się raz na dobę w obu omawianych polach eksploatacyjnych w ramach obserwacji stanu górotworu. Systematyczność tych pomiarów pozwala na śledzenie wzajemnych przemieszczeń skał stropowych i spągowych będących przejawem ciśnienia w ośrodku skalnym. Szczególnie ważna z punktu widzenia bezpieczeństwa eksploatacji jest kontrola zaciskania się wyrobisk w następstwie wstrząsów wysokoenergetycznych, które często występują w tych polach. Dane z pomiarów konwergencji mogą być wykorzystane do oceny stanu zagrożenia tapaniami w tym rejonie eksploatacji. Wzrost zagrożenia dynamicznymi przejawami ciśnienia górotworu jest sygnalizowany poprzez gwałtowną zmianę prędkości zaciskania wyrobisk, przekraczającą ustalone wielkości. W analizach posłużono się wartościami średniej dobowej konwergencji wyrobisk, które zostały wyliczone dla całych pól oraz średniej 30-dniowej, obejmującej okres 30 dni poprzedzających aktu-

alny pomiar włącznie z nim. Ta druga wartość pozwala śledzić tendencje w rozładowywaniu się naprężeń w ośrodku skalnym w obrębie tych pól.

W polu eksploatacyjnym A od początku 2005 roku do połowy lutego obserwowano systematyczny wzrost średniej 30-dniowej konwergencji. Należy to interpretować jako narastanie naprężeń w górotworze. Od końca lutego do początku maja nastąpił okres gwałtownego rozładowywania tego ciśnienia poprzez wstrząsy o dużych energiach. W tym okresie wartość średniej dobowej konwergencji dla tego pola w krótkim okresie czasu spadała do 1 mm/dobę, a następnie rosła nawet do 4 mm/dobę. Kulminacją tego okresu jest kwiecień 2005 roku, w którym rejestrowano duże dobowe przyrosty konwergencji wyrobisk, będące skutkami wstrząsów wysokoenergetycznych. W większości przypadków przed wystąpieniem wstrząsu w okresie od jednego do trzech dni obserwowano nagły spadek prędkości zaciskania się wyrobisk, co świadczy o kumulowaniu się wtedy energii w ośrodku skalnym. Dowodzi to możliwości prognozowania zjawisk sejsmicznych w oparciu również o metodę konwergencji. Kolejnymi miesiącami, w których wystąpił wyraźny wzrost średniej 30-dniowej konwergencji w polu G-23 A są sierpień i wrzesień 2005 roku. Wynika on ze zwiększenia aktywności sejsmicznej w tym czasie. Średnia dobowa w tych miesiącach wynosiła od 2,5 do 4,5 mm/dobę. Również w tym czasie notowano jej spadki przed wystąpieniem wstrząsów o dużych energiach. Duża nieregularność w przebiegu średniej dobowej konwergencji świadczy o podniesionym poziomie zagrożenia sejsmicznego. Od listopada do grudnia 2005 roku następował przyrost średniej 30-dniowej. Największą aktywnością sejsmiczną charakteryzował się grudzień, w którym wystąpił wstrząs o energii rzędu 10^7 J, a jego skutkiem był wzrost średniej dobowej konwergencji dla całego pola do wartości 8 mm/dobę. Zagrożenie w tym miesiącu było wysokie, o czym świadczy duża dobowa zmienność konwergencji wyrobisk. Systematyczny wzrost średniej 30-dniowej od początku lutego do połowy marca 2006 roku był dobrym prekursorem wysokoenergetycznych zjawisk sejsmicznych, które miały miejsce w marcu. Dobowa średnia konwergencji w tamtych miesiącach wahała się między 3 a 7 mm/dobę. Stopień zagrożenia tapaniami był wtedy duży. Wstrząs o energii rzędu 10^7 J, który wystąpił w maju 2006 roku miał miejsce po zarejestrowaniu w ciągu kilku dni spadku konwergencji z 6 do 4 mm/dobę.

Spowodowany tym zjawiskiem wzrost średniej 30-dniowej konwergencji trwał do początku czerwca, a potem zarejestrowano systematyczny jej spadek. Było to przejawem kumulowania się naprężeń, które rozładowały się w postaci energii sejsmicznej wyzwolonej przez wstrząsy w lipcu 2006 roku. Wzajemną zależność między aktywnością sejsmiczną i konwergencją wyrobisk dobrze obrazuje sytuacja z lipca 2006 roku, w którym wystąpił wstrząs o energii rzędu 10^8 J. Skutkiem tego był gwałtowny wzrost średniej dobowej konwergencji do 32 mm/dobę. W niedługim czasie średnia dobowa spadła aż do wartości 4 mm/dobę, a więc gwałtownie zwolnił proces rozładowania energii przejawiający się poprzez zaciskanie wyrobisk. W następstwie tego wystąpił kolejny wstrząs o energii rzędu 10^7 J. Największa zmienność konwergencji w lipcu 2006 roku jest równoczesna z największą aktywnością sejsmiczną w tym mie-

siącu dla całego analizowanego okresu w polu G-23 A w latach 2005–2006. Ostatnim znaczącym w analizie przebiegu konwergencji okresem jej gwałtownego wzrostu jest październik 2006 roku. Średnia dobową konwergencji wzrosła wtedy w krótkim czasie z 3,5 do 10 mm/dobę jako reakcja górotworu na serię trzech coraz silniejszych wstrząsów. Wyniki pomiarów konwergencji wyrobisk są adekwatne do aktywności sejsmicznej w tym polu. Od początku listopada do końca 2006 roku nie zanotowano gwałtownych zmian średniej dobowej, co należy wiązać ze spadkiem zagrożenia łąpaniami w tym okresie.

Średnia dobową konwergencji wyrobisk dla pola D w pierwszych miesiącach 2005 roku charakteryzowała się jeszcze większą zmiennością niż w polu G-23 A. Jednodniowe spadki i wzrosty w tym okresie wynosiły nawet 5 mm/dobę. Największą aktywność sejsmiczną zarejestrowano w lutym. Zanotowano też wtedy najwyższe wartości średniej 30-dniowej konwergencji. W pierwszych czterech miesiącach 2005 roku średnia dobową wynosiła od 3 do 10 mm/dobę. Wstrząsy sejsmiczne występowały w większości przypadków po dużej zmianie średniej dobowej konwergencji, zarówno po spadku, jak i wzroście, co świadczy o dużych naprężeniach w górotworze w tamtym czasie. W związku z tym można mówić o dużym stanie zagrożenia łąpaniami. Duży wzrost średniej 30-dniowej w 2005 roku zanotowano również w czerwcu. Nie wystąpiła jednak w tym miesiącu duża ilość wstrząsów wysokoenergetycznych, z wyjątkiem jednego zjawiska o energii blisko 10^7 J. Duże wartości konwergencji świadczą o tym, że energia znajdowała w większości ujście w zaciskaniu wyrobisk. Ze względu jednak na jej wartość i obserwowane skutki należy stwierdzić, że w tym miesiącu istniało znaczne zagrożenie łąpaniami. Druga połowa 2005 roku nie przyniosła już tylu zmian średniej dobowej oraz zdecydowanie niższą aktywność sejsmiczną górotworu. Od stycznia do maja 2006 roku znów obserwowano okres wzmożonej ilości i energii zjawisk sejsmicznych. Po wysokoenergetycznych wstrząsach średnia dobową zwiększała się nawet o 32 mm/dobę. W całym tym okresie zmienność prędkości zaciskania się wyrobisk jest bardzo duża. Wynika to z dużej ilości zjawisk sejsmicznych, ale także często charakteryzuje ich przyczynę, czyli szybkie kumulowanie się energii w stropowych warstwach górotworu. Średnia 30-dniowa była ściśle związana z wstrząsami z wyższych klas energii, a dokładnie z ich skutkiem, którym jest zaciskanie wyrobisk. W pierwszej połowie maja wystąpił wstrząs o energii 10^8 J. Był on momentem zwrotnym w ocenie stanu zagrożenia sejsmicznego. Spowodował on rozładowanie dużej części energii nagromadzonej w górotworze. Średnia dobową w kilku tygodniach po tym wstrząsie miała bardzo wyrównane wartości i dopiero pod koniec czerwca zaczyna znów mieć dość nieregularny przebieg, co było zapowiedzią wstrząsu o energii 10^6 J, który wystąpił pod koniec tego miesiąca. Czerwiec i lipiec ogólnie charakteryzowały się niską aktywnością sejsmiczną, co ma swoje odzwierciedlenie w niskich wartościach średniej 30-dniowej. W sierpniu i wrześniu stan zagrożenia łąpaniami systematycznie wzrastał. W tym czasie średnia dobową konwergencji zmieniała się gwałtownie będąc odzwierciedleniem wysokiej aktywności sejsmicznej. Stan zagrożenia narastał aż do wystąpienia pod koniec września wstrząsu o energii

blisko 10^8 J. Spowodował on wzrost średniej dobowej do 81 mm/dobę bezpośrednio po tym wstrząsie, co przełożyło się na wysoką średnią 30-dniową przez następny miesiąc. Charakterystyczne dla tego okresu występowanie wstrząsów wysokoenergetycznych po dwa lub trzy w niewielkim odstępie czasu znalazło również swoje odzwierciedlenie w dużych wzrostach średniej dobowej. Listopad i październik przyniosły względne wyrównanie nieregularnego przebiegu średniej dobowej. Do końca 2006 roku średnia 30-dniowa systematycznie malała. Jest to związane z kumulowaniem się energii w ośrodku skalnym i małym jej wydatkiem na zaciskanie wyrobisk. Efektem tego był zarejestrowany w grudniu wstrząs o energii 10^8 J. Spowodował on gwałtowny spadek średniej dobowej prędkości zaciskania się wyrobisk w związku z rozładowaniem większej części energii zgromadzonej w stropach w rejonie jego zlokalizowania. Stan zagrożenia tapaniami w tym polu obniżył się.

6. PODSUMOWANIE

Analiza aktywności sejsmicznej w polach eksploatacyjnych G-23 A oraz G-54 D w latach 2005–2006 pozwala wyciągnąć następujące wnioski. W 2005 roku nastąpił wzrost stanu zagrożenia tapaniami w obu polach, a w roku 2006 ta tendencja się utrzymała. Niekorzystnym zjawiskiem jest zaobserwowany w omawianych obszarach rozkład ilościowo-energetyczny aktywności sejsmicznej górotworu, w którym prawie cała emisja energii sejsmicznej pochodziła od wstrząsów wysokoenergetycznych. W polu eksploatacyjnym A oddziału wydobywczego G-23 ilość wstrząsów o energii sejsmicznej równej minimum 10^3 J wzrosła o 887% w roku 2005 w porównaniu z rokiem poprzednim, a w roku 2006 zarejestrowano o 36% więcej takich wstrząsów niż w roku 2005. Emisja energii sejsmicznej w tych latach wzrastała odpowiednio o 1813% i 982%. Udział procentowy wstrząsów o energii równej lub większej od 10^5 J w ogólnej liczbie wstrząsów górotworu w tym polu wynosił w 2005 roku 28%, tak samo jak w 2006. W polu eksploatacyjnym D oddziału wydobywczego G-54 ilość wstrząsów o energii sejsmicznej równej minimum 10^3 J wzrosła w roku 2005 o 24% w porównaniu z rokiem 2004. W roku 2006 zarejestrowano o 64% więcej takich wstrząsów niż w roku 2005. Emisja energii sejsmicznej w tych latach wzrastała odpowiednio o 91% i 738%. Udział procentowy wstrząsów o energii równej lub większej od 10^5 J w ogólnej liczbie wstrząsów górotworu w tym polu wynosił w 2005 roku 27%, a w 2006 aż 36%. Wszystkie wysokoenergetyczne wstrząsy, które wystąpiły w analizowanych obszarach były związane z eksploatacją w strefach oddziaływania dużych powierzchni zrobów i to należy uznać za główną przyczynę wysokiego stanu zagrożenia tapaniami w tych polach. Na podstawie analizowanych danych o aktywności sejsmicznej oraz planów eksploatacji dla omawianych pól prognozuje się dalszy wzrost stanu zagrożenia tapaniami. Analiza przebiegu średniej dobowej konwergencji wyrobisk i jej średniej 30-dniowej w odniesieniu do rejestrowanej w latach 2005–2006 aktywności sej-

smicznej w polach eksploatacyjnych G-23 A oraz G-54 D wskazuje, że duże, gwałtowne zmiany konwergencji wyrobisk w omawianych polach można powiązać ze wzrostem zagrożenia tąpniętami. W okresach wyróżniających się względnie stałym poziomem konwergencji zagrożenie sejsmiczne malało. Nieregularność w przebiegu średniej dobowej konwergencji wiązała się w wielu przypadkach z podwyższonym poziomem zagrożenia sejsmicznego. W obu polach eksploatacyjnych obserwowano większe przedziały zmienności średniej dobowej konwergencji wyrobisk w roku 2006 niż w roku 2005, co należy interpretować jako przejaw wzrostu zagrożenia tąpniętami w porównaniu z rokiem poprzednim. Większą zmienność konwergencji zaobserwowano w polu G-54 D, w którym wyzwolona energia sejsmiczna również była większa. Największe wzrosty średniej dobowej konwergencji wyrobisk występowały po wstrząsach o energii rzędu 10^7 J i 10^8 J. W krótkim okresie czasu poprzedzającym większość wysokoenergetycznych wstrząsów obserwowano spadek prędkości zaciskania wyrobisk, co mogło świadczyć o kumulowaniu się wtedy energii w ośrodku skalnym. Stwarza to możliwość wykorzystania metody pomiaru konwergencji wyrobisk w prognozowaniu zjawisk sejsmicznych. Zmienność prędkości zaciskania wyrobisk miała w większości przypadków związek ze zmiennością aktywności sejsmicznej tych pól. Pomiar konwergencji wyrobisk mogą stanowić jeden z elementów oceny stanu zagrożenia tąpniętami pod warunkiem, że są korelowane z rejestrowaną aktywnością sejsmiczną, sytuacją górniczą oraz innymi wynikami badań innymi metodami określania poziomu tego zagrożenia.

Niezbędne jest opracowanie algorytmów dokładnego interpretowania wyników pomiarów konwergencji wyrobisk pod kątem oceny stanu zagrożenia tąpniętami z uwzględnieniem lokalnych doświadczeń. Pozwoli to udoskonalić kompleks metod predykcji zagrożenia sejsmicznego.

LITERATURA

- [1] BUTRA J., KICKI J., *Ewolucja technologii eksploatacji rud miedzi w polskich kopalniach*, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, IGSMiE PAN, Kraków 2003.
- [2] FRANASIK K., *Mechanika górotworu-Zwalczanie zagrożeń od zawałów i tępnię w kopalniach rud miedzi*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1978.
- [3] GOSZCZ A., *Wybrane problemy zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tąpniętami w kopalniach podziemnych*, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, IGSMiE PAN, Kraków 2004.
- [4] SZEPTUN K., *Instrukcja Nr 2/TGo wykonywania pomiarów przejawów ciśnienia górotworu*, KGHM PM S.A., 2003.

ROCKBURST HAZARD ASSESSMENT IN SELECTED MINING DISTRICTS OF POLKOWICE-SIEROSZOWICE COPPER ORE MINE

Rockburst hazard in two mining panels of Polkowice-Sieroszowice copper ore mine in 2005 and 2006 was depicted and analyzed in view of mining-and-geological conditions. The level of the hazard was

evaluated using the convergence and seismological data. The causes of seismic activity increase were also presented.