

*zagrożenie tąpniętami,  
podziemna eksploatacja rud miedzi,  
profilaktyka tąpniowa*

Anna GOGOLEWSKA\*, Radosław BARTOS\*\*

## **SKUTECZNOŚĆ PROFILAKTYKI TĄPNIOWEJ W WYBRANYCH POLACH EKSPLOATACYJNYCH O/ZG POLKOWICE–SIEROSZOWICE**

Przedstawiono metody profilaktyki tąpniowej stosowanej w dwóch polach eksploatacyjnych O/ZG Polkowice–Sierszowice: pole A oddziału G-23 i pole D oddziału G-54 w latach 2005 i 2006. Scharakteryzowano warunki geologiczno–górniczne oraz aktywność sejsmiczną w obszarze badań. Ocenę skuteczności stosowania technologicznych, aktywnych i organizacyjno–technicznych metod zwalczania zagrożenia tąpniętami przeprowadzono wykorzystując dane z pomiarów wykonanych metodą sejsmologii górniczej. Skuteczność organizacyjno–technicznych działań określono na podstawie dobowych rozkładów aktywności sejsmicznej górotworu. Skuteczność aktywnej profilaktyki tąpniowej oceniono poprzez analizę ilości i energii wstrząsów spowodowanych robotami strzałowymi. Natomiast badanie położenia epicentrow wstrząsów w wyrobisku pozwoliło na określenie skuteczności technologicznych metod w powiązaniu z sytuacją górnico–geologiczną.

### **1. WSTĘP**

Uwarunkowania geologiczno–górniczne w kopalniach Legnicko–Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) indukują zjawiska sejsmiczne, które mogą skutkować tąpniętami. W związku z tym w kopalniach Polskiej Miedzi podejmowane są wszystkie możliwe środki ochrony przed tym zagrożeniem, które nie zawsze są skuteczne. Zapobieganie tąpniętom ma w kopalniach Legnicko–Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) zorganizowaną formę, jest nierozdzielnie związane z technologią eksploatacji i polega na osłabianiu skał i pozbawianiu ich zdolności do akumulacji energii sprężystej oraz na ograniczaniu przebywania ludzi w zagrożonych rejonach.

---

\* Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

\*\* KGHM Polska Miedź S.A., O/ZG Polkowice–Sierszowice

Poprzez system obserwacji i pomiarów dąży się do zlokalizowania stref niestabilnych w górotworze indukujących wysokoenergetyczne wstrząsy, których skutkiem są bardzo często tąpnięcia i odprężenia górotworu.

Obniżenie w pewnych okresach skuteczności profilaktyki tąpniowej prowadzi do wzrostu stanu zagrożenia. Działania profilaktyki tąpniowej wymagają też zaangażowania dodatkowych środków. Zbadanie ich skuteczności stanowi pewien sposób oceny racjonalności tych kosztów. Poza tym, ocena skuteczności umożliwia stwierdzenie, czy dana metoda profilaktyki tąpniowej jest stosowana w wystarczający sposób, i czy nie zachodzi potrzeba jej modyfikacji w celu zwiększenia bezpieczeństwa.

Analizie poddano metody profilaktyczne stosowane w latach 2005–2006 w dwóch eksploatacyjnych polach w O/ZG Polkowice–Sieroszowice: w polu A oddziału G-23 i polu D oddziału G-54, które zaliczone są do III stopnia zagrożenia tąpnięciami. Przeprowadzono ocenę technologicznych, organizacyjno–technicznych oraz aktywnych metod zwalczania zagrożenia tąpnięciami.

## 2. WARUNKI GEOLOGICZNO–GÓRNICZE I AKTYWNOŚĆ SEJSMICZNA

O/ZG „Polkowice–Sieroszowice” prowadzą eksploatację w obrębie trzech obszarów górniczych („Polkowice II”, „Radwanice Wschód” i „Sieroszowice I”) o łącznej powierzchni 174,56 km<sup>2</sup>. Na terenie górniczym „Polkowice–Sieroszowice” wydobywanie prowadzone jest techniką strzelniczą. Stosowane są różnorodne systemy komorowo–filarowe z ugięciem stropu, właściwe dla poszczególnych obszarów i pól eksploatacyjnych. Prace związane z wydobywaniem rudy są w pełni zmechanizowane. Do charakterystycznej cechy złoża, którą jest jego niewielka miąższość (35,4% zasobów przemysłowych jest o miąższości 2,01–3,0 m, a 21,3% ma miąższość 0,1–1,5 m) został dopasowany park maszynowy (maszyny mają wysokość od 1,3 do 1,85 m).

Biorąc pod uwagę budowę litologiczną oraz właściwości geomechaniczne skał otaczających, złożę rudy miedzi znajduje się w trakcie eksploatacji w specyficznych warunkach obciążenia. Prawidłowością stwierdzoną w całym obszarze miedzionosnym jest zaleganie w spągu złoża serii piaskowcowej o niskiej i bardzo niskiej wytrzymałości, podatnej na odkształcenia o łagodnym charakterze deformacji bez właściwości eksplozywnych. W stropie złoża występuje zróżnicowanie cech litologicznych, fizycznych i mechanicznych. Litologię obszarów objętych eksploatacją cechuje duża zmienność miąższości poszczególnych warstw skalnych. Wapień cechsztyński osiąga największą miąższość w obszarze Polkowic (107,8 m), która średnio wynosi około 51 m. W obszarach Radwanic i Sieroszowic średnia miąższość wapienia cechsztyńskiego jest dużo niższa i wynosi odpowiednio 18,5 i 13,2 m. Łupek miedzionośny, który ze względu na duże okruszczenie stanowi ważną część zasobów przemysłowych, przyjmuje w omawianych obszarach średnią miąższość od 0,2 do

0,3 m. Największą nierównomierność występowania tej warstwy litologicznej ma obszar Sieroszowice, w którym rozpoznano lokalnie miąższości 1,7 m, jak również całkowity zanik złoża. Warstwa wapienia podstawowego ma znaczenie jedynie w obszarze Radwanic gdzie jej średnia miąższość wynosi 0,16 m. Warstwa piaskowcowa, rozpoznana jako biały spągowiec ma dla obszarów Polkowic i Radwanic podobną zmienność miąższości od 25 m do całkowitego zaniku, a średnio wynosi 5,2 m dla Radwanic i 6,9 m dla Polkowic. W obszarze Sieroszowice biały spągowiec ma od 0,6 do 16 m miąższości, średnio 4,3 m.

Zagrożenie tapaniami wynikające z trudnych warunków geologicznych, ale także dużego zaawansowania eksploatacji górniczej w opisywanej kopalni, kształtowało się w latach 1990–2006 na wysokim poziomie. Najwyższym poziomem energetycznym aktywności sejsmicznej w tym okresie charakteryzował się rok 2001, a największą liczbą wstrząsów o energii większej lub równej  $10^6$  J rok 1993. W obu omawianych latach 2005 i 2006 poziom aktywności sejsmicznej był podobny. Zarejestrowano w nich odpowiednio po 70 i 75 wstrząsów o energii większej lub równej  $10^6$  J. Suma energii sejsmicznej wynosiła w każdym z tych lat około  $1,7 \times 10^9$  J. Wydatek energii sejsmicznej w przeliczeniu na wydobyte osiągał wartości 146,8 i 139,1 J/t. Ze względu na wysoki poziom energii sejsmicznej zarejestrowanej w latach 2005–2006 należy uznać, że aktywność sejsmiczna w tym okresie znacznie wzrosła w porównaniu z rokiem 2004.

Do przeprowadzenia analizy skuteczności profilaktyki tapaniowej w latach 2005–2006 wybrano dwa pola: w obszarze „Polkowice” wybrano pole A oddział G-23, w obszarze „Sieroszowice” wybrano pole D oddziału G-54.

Eksploatacja w polu A była prowadzona w analizowanym okresie 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. Eksploatacja w polu D była prowadzona w analizowanym okresie w piętrach D2E i D1E. Obszar ten obejmuje złoże ograniczone 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”.

W polu A stosowany system eksploatacji to system komorowo filarowy jednoetapowy z ugięciem stropu (J-UG-PS). Likwidacja przestrzeni wybranej poprzez ugięcie stropu. Filary technologiczne mają wymiary  $7 \times 10$  m i są usytuowane prostopadłe do linii frontu. Głębokość zalegania średnio wynosi dla pola 850 m. Wysokość furty eksploatacyjnej wynosi  $3,5 \div 3,8$  m. Średnia długość frontu to 320 m. Szerokość zrobów na skrzydle prawym wynosi około 150 m, a na lewym znajduje się calizna. W polu D systemami eksploatacji są: 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  $6 \times 8$  m, usytuowane prostopadłe; 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 złoża wynosi 1000 m. Wysokość furty eksploatacyjnej wynosi 2÷2,6 m. Średnia długość frontu to 460 m. Szerokość zrobów na skrzydle lewym wynosi około 500 m, a na prawym osiąga 8070 m.

### 3. PROFILAKTYKA TĄPANIOWA

Profilaktyka tąpniowa obejmuje: obserwacje i pomiary stanu górotworu oraz technologiczne, aktywne i organizacyjno–techniczne metody zwalczania tąpań. W zakres stosowanych obserwacji, pomiarów i badań wchodzi [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.

Technologiczne oraz organizacyjno–techniczne metody zwalczania zagrożenia sejsmicznego obejmują [1]: dobór systemu eksploatacji dla danych warunków geologiczno–górnich oraz stanu zagrożenia wysokoenergetycznymi zjawiskami dynamicznymi; stosowanie długich frontów oraz utrzymywanie wyrównanej linii rozcinki i likwidacji oraz wzajemnego usytuowania linii rozcinki i likwidacji; dobranie odpowiedniej odległości utrzymywanej pomiędzy linią likwidacji a linią rozcinki calizny, właściwe usytuowanie 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. np.: utrzymywanie kąta rozwartego między linią rozcinki a linią zrobów sąsiednich pól z zachowaniem wyprzedzenia rozcinką na odcinku frontu przy zrobach oraz unikanie równoległego zbliżania się frontem do zrobów, chodników i zaburzeń); stosowanie tzw. głębokiego upodatkowania calizny; dobór odpowiedniej geometrii wycinanych filarów, zapewniającej ich pracę w fazie wytrzymałości pozniszczeniowej; regulowanie smukłości filarów poprzez zwiększenie szerokości wyrobisk przy stropie w przypadku występowania w przodkach piaskowca o spoiwie anhydrytowym; prawidłowa likwidacja wybranej przestrzeni, nie pozostawianie resztek, pozostawianie filarów oporowych o minimalnej szerokości co najmniej 350 m; wykonywanie tylko niezbędnej ilości wyrobisk chodnikowych; przystosowany do lokalnych warunków czas wyczekiwania po robotach strzałowych; wyznaczanie stref szczególnego zagrożenia tąpniowymi, w których

maksymalnie ogranicza się liczbę zatrudnionych osób; dekoncentracja wydobywania poprzez utrzymywanie stosunkowo dużych odległości pomiędzy wszystkimi czynnymi frontami.

Aktywne metody oparte są na specjalnych robotach strzałowych, wykonywanych w caliznie, niekiedy też w spągu. Roboty te oprócz osiągnięcia zasadniczego celu, jakim jest urobienie złoża, wykonuje się również dla odprężenia górotworu. Do najbardziej skutecznych aktywnych metod profilaktyki tapaniowej należą: grupowe strzelania urabiająco odprężające w przodkach (maksymalizacja ilości strzelanych przodków); strzelania odprężające w caliznie polegające na odpaleniu MW w dodatkowych otworach o zwiększonej średnicy i długości, wykonywane niezależnie jak i łącznie z odpalanymi przodkami; strzelania odprężające w filarach zdolnych do kumulacji naprężeń; wykonywanie strzelań odprężających w spągu.

W obu analizowanych polach eksploatacyjnych stosowane były metody profilaktyczne we wszystkich wyżej omówionych zakresach i obejmowały: metody technologiczne polegające na wyprzedającym upodatnianiu krawędzi calizn i filarów na linii rozcinki, stosowaniu systemów z szerokim otwarciem frontu oraz na dostosowaniu wielkości filarów technologicznych do lokalnych warunków geologiczno-górnicych;

Metody organizacyjno-techniczne polegające na: rozpoznawaniu budowy geologicznej górotworu, odpowiednim do warunków geologiczno-górnicych planowaniu kolejności i kierunków eksploatacji, doborze metod pomiarowych i obserwacyjnych, prowadzeniu rozcinki wyrównaną linią przodków, prowadzeniu eksploatacji długimi frontami, wyznaczeniu stref szczególnego zagrożenia tapaniami oraz na doborze czasu wyczekiwania po robotach strzałowych i wstrząsach sejsmicznych;

Metody aktywne polegające na grupowym strzelaniu przodków, strzelaniu urabiająco-odprężającym w caliznie, strzelaniu odprężającym w spągu (pole A) oraz na strzelaniu otworów odprężających wraz z przodkami (pole A).

#### 4. SKUTECZNOŚĆ PROFILAKTYKI TAPANIOWEJ

W związku z wysokim stanem zagrożenia tapaniami w omawianych polach eksploatacyjnych ogromną rolę odgrywa odpowiednio dobrana i prowadzona profilaktyka tapaniowa. Celem tego rozdziału jest przedstawienie oceny skuteczności metod profilaktycznych w oparciu o dane dotyczące aktywności sejsmicznej w badanych polach w latach 2005–2006. Analiza efektywności zwalczania zagrożenia umożliwi ocenić ryzyko wystąpienia niekontrolowanego zjawiska dynamicznego ze skutkami w oparciu o wcześniej przeprowadzoną ocenę stanu tego zagrożenia.

## 4.1. DOBOWA ZMIENNOŚĆ AKTYWNOŚCI SEJSMICZNEJ

Ocenę skuteczności organizacyjno–technicznych metod ograniczania zagrożenia tąpnięciami przeprowadzono poprzez analizę dobowych rozkładów aktywności sejsmicznej w latach 2005–2006. Pozwoliło to na zbadanie celowości i zasadności stosowanych długości czasów wyczekiwania po robotach strzałowych [2]. Może to również stanowić ocenę aktywnych metod profilaktyki tąpniowej, której celem jest uzyskanie odpowiedniego rozkładu dobowego sprowokowanych wstrząsów na tle całkowitej ilości i energii wszystkich zjawisk.

Tabela 1. Dobowy rozkład ilości wstrząsów sejsmicznych o energii  $\geq 10^3$  J i  $\geq 10^5$  J oraz ilości wyzwolonej energii sejsmicznej w polu A/G-23 w latach 2005–2006

Table 1. 24-hour-distribution of rock tremors with energy  $\geq 10^3$  J and  $\geq 10^5$  J in numbers and seismic energy in A/G-23 panel in 2005–2006

Godzina	Ilość zjawisk od $10^3$ J	Ilość zjawisk od $10^5$ J	Wyzwolona energia sejsmiczna [ $\times 10^8$ J/h]
0–1	8	2	0,02
1–2	10	3	0,01
2–3	9	4	0,02
3–4	6	0	0,00
4–5	11	1	0,01
5–6	15	7	0,10
6–7	10	2	0,02
7–8	7	2	0,01
8–9	8	0	0,00
9–10	6	1	0,01
10–11	11	1	0,01
11–12	11	5	0,01
12–13	14	4	0,20
13–14	18	2	0,01
14–15	8	1	0,01
15–16	7	2	0,01
16–17	16	1	0,01
17–18	44	21	4,50
18–19	78	30	0,85
19–20	8	2	0,01
20–21	16	1	0,01
21–22	8	2	0,01
22–23	12	4	0,03
23–24	8	2	0,01

W obu analizowanych rejonach ze względu na zakwalifikowanie ich do stref szczególnego zagrożenia tapaniami stosuje się 2-godzinny czas wyczekiwania, w związku z możliwością opóźnienia wystąpienia wysokoenergetycznego zjawiska dynamicznego względem momentu strzelania.

Tabela 2. Dobowy rozkład ilości wstrząsów sejsmicznych o energii  $\geq 10^3$  J i  $\geq 10^5$  J oraz ilości wyzwolonej energii sejsmicznej w polu D/G-54 w latach 2005–2006  
Table 2. 24-hour-distribution of rock tremors with energy  $\geq 10^3$  J and  $\geq 10^5$  J in numbers and seismic energy in D/ G-54 panel in 2005–2006

Godzina	Ilość zjawisk od $10^3$ J	Ilość zjawisk od $10^5$ J	Wyzwolona energia sejsmiczna [ $\times 10^8$ J/h]
0–1	12	2	0,20
1–2	6	0	0,00
2–3	7	2	0,72
3–4	8	4	2,26
4–5	10	3	0,19
5–6	16	5	0,29
6–7	10	5	14,64
7–8	8	2	3,33
8–9	7	2	0,03
9–10	6	2	0,05
10–11	11	4	0,23
11–12	7	1	0,02
12–13	11	4	1,75
13–14	13	5	2,65
14–15	4	1	0,22
15–16	13	6	1,14
16–17	9	3	0,39
17–18	14	4	13,18
18–19	14	9	9,85
19–20	16	3	0,39
20–21	10	3	0,12
21–22	15	3	0,05
22–23	5	0	0,00
23–24	11	6	0,71

W polu A roboty strzałowe odbywały się najczęściej około godziny 18<sup>00</sup>, z czego większość dotyczyła przedziału czasu 17<sup>50</sup>–18<sup>10</sup>. W tabeli 1 przedstawiono dobowy rozkład aktywności sejsmicznej w tym polu z uwzględnieniem dwóch reprezentatyw-

nych zbiorów zjawisk sejsmicznych o energiach  $\geq 10^3$  J i  $\geq 10^5$  J oraz wydatku energii sejsmicznej. Największa ilość rejestrowanych w tym polu zjawisk przypada na przedział czasu między 17<sup>00</sup>–19<sup>00</sup>. W tych samych godzinach wyzwoliła się największa ilość energii sejsmicznej. Taki rozkład energii jest wynikiem tego, że dwa najsilniejsze wstrząsy o energii rzędu  $10^8$  J były spowodowane i pojawiły się tuż przed godziną 18<sup>00</sup>. 35% wstrząsów wystąpiło w godzinach 17<sup>00</sup>–19<sup>00</sup>. Dla zjawisk o energii  $\geq 10^5$  J ten udział wynosił 51%. Wydatek energii w tych godzinach stanowił 91% całkowitej energii sejsmicznej. Można stwierdzić, że dobowy rozkład jest korzystny i nie wiąże się ze wzrostem zagrożenia sejsmicznego. Długości stosowanych czasów wyczekiwania po strzelaniu są wystarczające i zapewniają względne bezpieczeństwo dla załogi i sprzętu, która nie przebywa wtedy w rejonie eksploatacji. Tym samym można powiedzieć, że środki organizacyjno–techniczne stosowane w tym polu cechowały się wysoką skutecznością i spełniały swoje zadanie.

W polu D roboty strzałowe odbywały się najczęściej przed godziną 6<sup>00</sup> i 18<sup>00</sup>. Godziny prowadzenia robót strzałowych nie były w tym polu stałe, strzelania odbywały się również o 1<sup>00</sup> i 13<sup>00</sup>. Miało to wpływ na rozkład dobowy wstrząsów i utrudniało jego interpretację. W tabeli 2 przedstawiono dobowy rozkład aktywności sejsmicznej w tym polu z uwzględnieniem dwóch zbiorów zjawisk sejsmicznych o energiach  $\geq 10^3$  J i  $\geq 10^5$  J oraz wydatku energii sejsmicznej. 22% wstrząsów wystąpiło w godzinach 5<sup>00</sup>–7<sup>00</sup> oraz 17<sup>00</sup>–19<sup>00</sup>. Dla zjawisk o energii  $\geq 10^5$  J ten udział wynosił 29%. Wydatek energii w tych godzinach stanowił 72% całkowitej energii sejsmicznej. W związku ze sporadycznymi robotami strzałowymi w godzinach 1<sup>00</sup> i 13<sup>00</sup> należy uznać, że podane procentowe udziały nie odnoszą się do wszystkich zjawisk, które wystąpiły w czasie wyczekiwania i ich wartości powinny być większe. Można stwierdzić, że podany rozkład nie zwiększa zagrożenia sejsmicznego. Stosowane długości czasów wyczekiwania po strzelaniu są wystarczające, a więc profilaktyczne środki organizacyjno–techniczne zastosowane w tym polu miały wysoką skuteczność.

#### 4.2. POŁOŻENIE EPICENTRUM WSTRZĄSU W WYROBISKU

Aby ocenić skuteczności stosowania technologicznych metod ograniczania zagrożenia sejsmicznego w obydwu polach przeprowadzono analizę lokalizacji epicentrow zarejestrowanych w tych obszarach wstrząsów sejsmicznych. Możliwe do zarejestrowania położenie epicentrum wstrząsu zostało przypisane do jednej z czterech stref w polu eksploatacyjnym: calizny (A), rejonu frontu roboczego (B), zrobów (C), poza rejonem czynnego frontu (D).

W taki sposób podjęto próbę oceny skuteczności doprowadzania górotworu przez odpowiednio prowadzoną eksploatację do stanu pozniszczeniowego oraz technologicznego ograniczania tworzenia się stref kumulacji naprężeń w ośrodku skalnym przed i w rejonie prowadzenia robót. Posłużono się w tym celu analizą udziału położenia epicentrow wstrząsów w wymienionych strefach w ujęciu ilościowym i energetycznym. W szczególności ten drugi sposób analizy dostarcza informacji o rzeczywi-



stym zagrożeniu dla pracującej załogi oraz funkcjonalności wyrobisk. Udział ilościowy został opracowany dla wstrząsów o energiach większych lub równych  $10^3$  J oraz większych lub równych  $10^5$  J.

W czasie przechodzenia górotworu w stan pozniszczeniowy może dochodzić do wyzwolania energii sprężystej w postaci wstrząsów, zadaniem technologicznych metod profilaktyki tąpniowej jest takie prowadzenie frontu i kierowanie stropem, aby to wyzwolanie energii następowało łagodnie i stopniowo [2]. Z punktu widzenia bezpieczeństwa idealną sytuacją jest występowanie zjawisk dynamicznych wyłącznie w strefie zrobowej. Najbardziej niekorzystne jest występowanie wstrząsów wysokoenergetycznych w caliznie przed frontem eksploatacyjnym, gdyż mogą one w następstwie powodować tąpnięcia naprężeniowe.

W polu A rozkład wstrząsów w strefach A, B i C w analizowanym okresie był dość niekorzystny. Udział w strefie zrobowej wszystkich rejestrowanych wstrząsów wynosił zaledwie 18% w 2005 roku, a w roku następnym spadł do 14%. Zdecydowana większość około 70% epicentrow zjawisk sejsmicznych położona była w bezpośrednim rejonie prowadzenia eksploatacji, co zwiększało stan zagrożenia w tym polu. Dla szczególnie niebezpiecznych wstrząsów wysokoenergetycznych proporcje te były równie niekorzystne. Około 10% epicentrow wstrząsów zlokalizowano w caliznie przed frontem robót. Jest to sytuacja stwarzająca zagrożenie tąpnięciami, jednak ograniczenie ilości epicentrow poniżej zarejestrowanego poziomu jest raczej niemożliwe w tym polu z uwagi na trudne warunki eksploatacji w strefach przyzrobowych. Wydatek energetyczny w tych strefach był zadowalający dla calizny (po 6% w obu tych latach). Dysproporcja w ilości wstrząsów pomiędzy strefą zrobów, a frontem roboczym jest jeszcze bardziej widoczna i stwarza zagrożenie. Zauważono, że ilość i energia wstrząsów w powyższych strefach utrzymuje się na stałym poziomie. Należy uznać skuteczność stosowanych metod technologicznych zwalczania zagrożenia sejsmicznego za wystarczającą z uwagi na duży wpływ stref niestabilnych, które znacznie ograniczają ich działanie. Poza tym eksploatacja w tym polu zbliża się do końca i jest prowadzona w skrupowanych warunkach górniczych, co zasadniczo eliminuje możliwość podjęcia znaczących zmian w stosowanych metodach technologicznych.

W przeciwieństwie do poprzednio omawianego pola w polu D udział epicentrow wstrząsów w poszczególnych strefach uległ zdecydowanej zmianie w roku 2006 w stosunku do roku 2005. Skuteczność technologicznych metod zwalczania zagrożenia tąpnięciami w 2005 należy uznać za bardzo wysoką. Świadczą o tym analizy ilościowe i energetyczne lokalizacji epicentrow wstrząsów. Ilość wstrząsów w kolejnych strefach A, B i C miała zdecydowanie korzystny stosunek odpowiednio 1:5:4. Wydatek energii sejsmicznej w poszczególnych strefach przedstawiał się jeszcze lepiej: 3% energii przypadał na caliznę i 28% na front robót. W 2006 nastąpiło całkowite odwrócenie tych proporcji. Pod kątem energii stosunek A:B:C wynosił 5:4:1. Ilościowo zmiana nie była tak wielka, jednak zarejestrowano zwiększenie ilości zjawisk w caliznie i w bezpośrednim rejonie wydobywania. Z uwagi na to, że to energia sejsmiczna jest głównym parametrem kształtującym stan zagrożenia tąpnięciami należy uznać, że w

roku 2006 nastąpił duży wzrost tego zagrożenia w polu D wynikający ze stosunkowo mniejszej skuteczności technologicznych metod jego ograniczania. Miało to związek z intensywnością eksploatacji w strefie oddziaływania dużej powierzchni zrobów kopalni „Rudna”.

#### 4.3. SKUTECZNOŚĆ PROWOKOWANIA WSTRZĄSÓW

Ocenę skuteczności aktywnych metod profilaktyki tąpaniowej przeprowadzono na podstawie analizy ilości i energii wstrząsów sejsmicznych prowokowanych robotami strzałowymi. Oparto się na twierdzeniu, że sterowanie do pewnego stopnia czasem wystąpienia tych zjawisk pozwala na zmniejszenie ewentualnego zagrożenia sejsmicznego dla załogi, gdyż zgodnie z zasadami bezpieczeństwa nie przebywa ona w czasie strzelania w polach eksploatacyjnych. Wyniki z lat 2005–2006 zebrano dla obu pól w ujęciu rocznym oraz miesięcznym. Szczególnie ujęcie miesięczne pozwala na dokonanie korelacji wyznaczonych wartości ze stanem zagrożenia tąpnięciami w danym miesiącu. Skuteczność prowokowania wstrząsów wyliczono jako stosunek wstrząsów sejsmicznych, które wystąpiły w czasie wyczekiwania po robotach strzałowych i będą w dalszej części nazywane sprowokowanymi, do całkowitej ilości tych zjawisk. Wartości przedstawiono w postaci procentowej, która najlepiej obrazuje skuteczność. Podstawowym analizowanym parametrem w jej ocenie jest skuteczność w wymiarze energetycznym, gdyż wyzwolona energia sejsmiczna jest głównym czynnikiem niosącym z sobą zagrożenie. Oceniono również rozkłady skuteczności w wymiarze ilościowym dla wstrząsów o energii większej lub równej  $10^3$  J oraz większej lub równej  $10^5$  J.

Można stwierdzić, że efektywność aktywnej profilaktyki tąpaniowej w polu A wzrosła w każdym wymiarze w roku 2006 w porównaniu z rokiem poprzednim. Jest to pozytywne zjawisko, gdy weźmie się pod uwagę fakt, że stan zagrożenia sejsmicznego w roku 2006 był w tym polu wyższy niż w roku 2005. Szczególnie dobrym wynikiem jest 93% skuteczności w prowokowaniu energii sejsmicznej w 2006 roku. Świadczy to o występowaniu zjawisk dynamicznych o dużym wydatku energii w czasie wyczekiwania. Analizy skuteczności pozwala stwierdzić, że wstrząsy kolejnych, coraz wyższych klas energetycznych dają się wymuszać łatwiej niż zjawiska niskoenergetyczne. Taka proporcjonalność podatności na prowokowanie wstrząsu do jego energii sejsmicznej może wynikać z niestabilności górotworu i znajduje odzwierciedlenie w praktyce górniczej. Miesięczna skuteczność była nierównomierna. Wynika to przede wszystkim z dużej zmienności w czasie aktywności sejsmicznej w polu A, co w połączeniu z omówioną powyżej tendencją do łatwiejszego prowokowania w szczególności wstrząsów wysokoenergetycznych prowadzi do takich miesięcznych rozkładów. Przy ich interpretacji skupiono się głównie na okresach wysokiego stanu zagrożenia tąpnięciami. W pierwszym takim okresie obejmującym kwiecień i maj 2005 roku skuteczność prowokowania w aspekcie energii sejsmicznej była powyżej 90% w pierwszym z tych miesięcy, co należy uznać za bardzo dobry wynik. W maju ta sku-

teczność spadła do 73% i było to trochę niepokojące zjawisko, gdyż w tym miesiącu zarejestrowano niewiele niższy niż w kwietniu poziom wydatku energii sejsmicznej. W sierpniu i wrześniu 2005 roku zarejestrowano dużo zjawisk o energii większej lub równej  $10^5$  J. Skuteczność prowokowania była na względnie niskim poziomie i wynosiła odpowiednio 27% i 33%. Wprawdzie najsilniejsze wstrząsy, które wystąpiły w tym okresie miały energię rzędu  $10^6$  J, jednak ogólnie wysoki stan zagrożenia sejsmicznego nie kwalifikuje tej skuteczności do wysokich. Od listopada 2005 roku aż do lipca 2006 roku aktywność sejsmiczna była na wysokim poziomie, a jej kulminacja wystąpiła w lipcu. Skuteczność prowokowania zjawisk sejsmicznych w tym okresie była bardzo różna. Najlepsze wyniki powyżej 90% osiągnięto w miesiącach o najwyższym wydatku energetycznym, co świadczy, że zastosowane środki profilaktyki tąpniowej w tym polu były wystarczające. Ostatnim miesiącem analizowanego okresu, w którym notowano wysoki stan zagrożenia sejsmicznego jest październik 2006 roku. Również w tym miesiącu skuteczność prowokowania była bardzo duża i wyniosła dla wydatku energii sejsmicznej 96%.

W polu eksploatacyjnym D w roku 2006 odnotowano wzrost skuteczności w ujęciu energetycznym w stosunku do roku 2005. Niepokojącym zjawiskiem jest obniżenie się w tym polu skuteczności ilościowej prowokowania wstrząsów sejsmicznych o energii większej lub równej  $10^5$  J z 32% w roku 2005 do 26% w roku 2006. Miesięczna efektywność aktywnej profilaktyki tąpniowej była bardzo różna. Analizie poddano miesiące o stosunkowo wysokim stanie zagrożenia tąpniętami. W lutym 2005 roku przy dużym poziomie zagrożenia sejsmicznego osiągnano bardzo dobry wynik 96% dla skuteczności energetycznej. Natomiast w marcu ta skuteczność spadła do 9%, co jest negatywnym zjawiskiem ponieważ w tym miesiącu wydatek energii sejsmicznej wyniósł  $3,5 \times 10^6$  J. W czerwcu mimo wysokiego stanu zagrożenia skuteczność energetyczna była prawie zerowa, gdyż jedyny silny wstrząs o energii prawie  $10^7$  J wystąpił samoistnie. Przez drugą połowę 2005 roku w polu G-54 D rejestrowano względnie niską aktywność sejsmiczną. Proporcjonalnie do niej spadła skuteczność prowokowania zjawisk sejsmicznych. Od stycznia 2006 roku zagrożenie tąpniętami w tym obszarze badań rosło, a jego kulminacją był wstrząs o energii rzędu  $10^8$  J, który wystąpił w maju. W tym czasie efekty prowokowania zjawisk sejsmicznych były bardzo słabe, a jedynym pozytywnym momentem tych działań było sprowokowanie wspomnianego wstrząsu w maju. Świadczy to o niewystarczających środkach aktywnej profilaktyki tąpniowej w tym polu lub niesprzyjających warunkach geologiczno-górnictwowych. Kolejny okres wysokiego stanu zagrożenia, który przypada na sierpień 2006 roku również cechował się względnie niską skutecznością rozładowywania nagromadzonej w górotworze energii, wynoszącą około 26%. Dopiero we wrześniu skuteczność wróciła na wysoki poziom powyżej 90%. Pełna skuteczność energetyczna i ilościowa dla silnych wstrząsów wystąpiła również w grudniu 2006 roku. Jest ona związana ze sprowokowaniem w tym okresie kolejnego wstrząsu o energii rzędu  $10^8$  J.

## 5. PODSUMOWANIE

Analiza dobowych rozkładów aktywności sejsmicznej w omawianych polach eksploatacyjnych pozwala stwierdzić, że: zdecydowanie większą część aktywności sejsmicznej w polach G-23 A oraz G-54 D w analizowanym okresie stwierdzono w godzinach objętych czasami wyczekiwania po robotach strzałowych.

Organizacyjno-techniczne metody profilaktyki tapaniowej przynoszą wymiennie najlepsze rezultaty i są działaniem niezbędnym dla zapewnienia bezpieczeństwa pracującej załozdze. Długości czasów wyczekiwania dla rejonu badań były wystarczające i ich stosowanie cechuje wysoka skuteczność. Aktywność sejsmiczna malała w sposób logarytmiczny od momentu strzelania przez kolejne dwie godziny, a następnie utrzymywała się na względnie niskim poziomie.

Na podstawie analizy położenia epicentrow wstrząsów w wyrobisku można stwierdzić, że lokalizacja wstrząsów w wyrobiskach w polu G-23 A w 2006 roku była podobna do tej w 2005 roku. Duża ilość i energia sejsmiczna przypadająca na rejon frontu roboczego wpływały na podniesienie poziomu zagrożenia tapaniami w tym polu. Korzystnym zjawiskiem jest małe zagrożenie wynikające z małej ilości i energii wstrząsów zlokalizowanych w caliznie. Z uwagi na końcową fazę eksploatacji i warunki skrepowane w tym polu skuteczność technologicznych metod profilaktyki tapaniowej należy uznać za satysfakcjonującą.

W 2006 roku w polu G-54 D nastąpiło odwrócenie proporcji lokalizacji wstrząsów w poszczególnych strefach z korzystnego układu w 2005 roku na zwiększający poziom zagrożenia tapaniami. Energia wstrząsów zlokalizowanych w caliznie w 2006 roku stanowiła połowę wydatku energetycznego dla całego pola G-54 D. W 2006 roku skuteczność technologicznych metod zwalczania zagrożenia tapaniami spadła.

W obu polach z uwagi na szczególnie trudne warunki eksploatacyjne kierowanie stropem wymaga dużej ilości różnorodnych środków kontroli oraz wszystkich dostępnych metod profilaktyki tapaniowej.

Analiza skuteczności prowokowania wstrząsów w omawianych polach pozwala stwierdzić, stwierdzić, że skuteczność prowokowania zjawisk sejsmicznych w ujęciu energetycznym wzrosła w roku 2006 w obu analizowanych polach eksploatacyjnym.

Średnia skuteczność w ujęciu miesięcznym dla pola G-23 A utrzymywała się na stosunkowo wysokim poziomie, który był niezbędny dla utrzymującego się wysokiego stanu zagrożenia tapaniami. Środki aktywnej profilaktyki tapaniowej dla tego pola były wystarczające i przyniosły odpowiednie efekty. Zaobserwowano proporcjonalność skuteczności prowokowania wstrząsu do jego energii sejsmicznej w polu G-23 A, czyli większą skuteczność prowokowania wysokoenergetycznych wstrząsów.

Średnia skuteczność w ujęciu miesięcznym dla pola G-54 D była względnie niska w odniesieniu do ich energii, co było niepokojącym zjawiskiem przy istniejącym wysokim stanie zagrożenia tapaniami w tym polu. Sposobem na poprawę takiej sytuacji jest rozszerzenie w przyszłości działań w zakresie aktywnych metod profilaktyki tapaniowej w tym polu. Może to być zwiększenie liczby zasadniczych przodków strze-

lanych jednorazowo, jeśli nie przekroczy to dopuszczalnej liczby. Kolejnym sposobem może być zastosowanie metody strzelania długimi otworami odprężającymi wraz z przodkami, gdyż nie było to wykonywane w tym polu w badanych latach 2005–2006. Kolejnym sposobem może być zwiększenie ilości materiałów wybuchowych przy ładowaniu przodków w strefach niestabilnych.

Istnieje potrzeba doskonalenia aktualnych i poszukiwania nowych skuteczniejszych metod aktywnego zwalczania zjawiska tąpań.

#### LITERATURA

- [1] BUTRA J., KICKI J., *Ewolucja technologii eksploatacji rud miedzi w polskich kopalniach*, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, IGSMiE PAN, Kraków 2003.
- [2] BUTRA J., MROZEK K., OSADCZUK T., *Rozkłady dobowe aktywności sejsmicznej górotworu w aspekcie technologicznych metod ograniczania zagrożenia tąpniętami oraz bezpieczeństwa prowadzenia robót górniczych w oddziałach eksploatacyjnych kopalń KGHM „Polska Miedź” S.A.*, Materiały konferencyjne XXV Zimowej Szkoły Mechaniki Górotworu, Zakopane 2002.

#### EFFECTIVENESS OF ROCKBURST PREVENTION METHODS IN SELECTED MINING PANELS OF POLKOWICE–SIEROSZOWICE COPPER ORE MINE

Rockburst prevention methods used in 2005–2006 in two mining panels A/G-23 and D/G-54 of Polkowice–Sieroszowice copper ore mine were presented in the paper. Mining-and-geological conditions as well as seismic activity were depicted. The effectiveness of active, technological and organizational-technical methods for rockburst hazard reduction was evaluated using seismological data. The location of tremors' epicentres within the mining panels, the number and energy of tremors provoked with blasting and 24-hour-distribution of seismic activity were analysed in relation to mining-and-geological conditions to determine how effective rockburst prevention methods were.