

*zagrożenie tapaniami,
podziemna eksploatacja rud miedzi,
aktywna profilaktyka tapaniowa*

Anna GOGOLEWSKA*,
Gabriela DĄBROWSKA**

SKUTECZNOŚĆ AKTYWNEJ PROFILAKTYKI TĄPANIOWEJ W WYBRANYCH POLACH EKSPLOATACYJNYCH O/ZG „LUBIN”

Przedstawiono metody profilaktyki tapaniowej stosowanej w dwóch polach eksploatacyjnych O/ZG „Lubin”: pole XIII/1a oddziału G-2 i pole XII/5 oddziału G-8 w latach 2006 i 2007. Scharakteryzowano warunki geologiczno-górniczne oraz aktywność sejsmiczną w obszarze badań. Ocenę skuteczności stosowania aktywnych metod zwalczania zagrożenia tapaniami przeprowadzono wykorzystując dane z pomiarów wykonanych metodą sejsmologii górniczej. Skuteczność aktywnej profilaktyki tapaniowej oceniono poprzez analizę ilości i energii wstrząsów spowodowanych robotami strzałowymi, dobowy rozkład aktywności sejsmicznej, ilość wstrząsów natychmiastowych i zwłocnych oraz ilość materiału wybuchowego wykorzystanego do prowokowania wstrząsów sejsmicznych.

1. WSTĘP

O/ZG „Lubin” jest jedną z trzech polskich podziemnych kopalń, które eksploatują jedno z największych złóż rud miedzi na świecie. W chwili podjęcia działalności górniczej, zostaje zaburzona pierwotna równowaga górotworu. Pierwotny stan naprężeń wynika z sił grawitacji i z naprężeń tektonicznych wokół wyrobisk górniczych. Stan wtórny, wynika z koncentracji naprężeń wokół wyrobisk i z przemieszczeń otaczającego górotworu wraz z nakładem.

* Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Instytut Górnictwa, pl. Teatralny 2, 50-051 Wrocław.

** Absolwentka, Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Instytut Górnictwa, pl. Teatralny 2, 50-051 Wrocław.

Obydwa stany naprężeń sumują swoje działania. W wyniku tego może zostać zniszczona struktura skał, powstać wokół wyrobisk strefa spękana, a także nastąpić odprężenie górotworu.

W dniu dzisiejszym eksploatację prowadzi się na coraz większych głębokościach dochodzących nawet do 1200 m oraz z coraz większą koncentracją wydobywania. Powoduje to powstawanie wielu zagrożeń naturalnych. Jednym z nich jest zagrożenie sejsmiczne, którego skutki określane jako tąpnięcia, są bardzo groźne i powodują ogromne straty materialne oraz zagrożenie dla życia i zdrowia górników.

Zagrożenie sejsmiczne znane było już w XIX wieku. W polskich kopalniach rud miedzi Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) pierwsze tąpnięcie wystąpiło w 1972 roku w kopalni Polkowice–Sieroszowice (cztery lata od rozpoczęcia eksploatacji). Od tego czasu wraz z postępem eksploatacji, wzrostem jej głębokości oraz powiększaniem się powierzchni zrobów, rośnie zagrożenie tąpnięciami we wszystkich kopalniach LGOM. Początkowo wstrząsy były zjawiskiem rzadkim o charakterze lokalnym, lecz w miarę poszukiwania i udostępniania złóż zagrożenie to nasilało się. Doświadczenia górnicze i badania naukowe pozwalają stosować odpowiednią profilaktykę tąpaniową, która realizowana jest za pomocą metod oceny stanu górotworu, oraz aktywnych, technologicznych i organizacyjno-technicznych metod zwalczania zagrożenia tąpnięciami.

Rozwój metod profilaktyki tąpaniowej jest bardzo ważny w kopalni Lubin, gdyż większość oddziałów wydobywczych znajduje się w III stopniu zagrożenia tąpnięciami a w ostatnich latach zarejestrowano w niej kilka tąpnięć i odprężeń. W 2003 roku wystąpiły trzy tego rodzaju zjawiska: w oddziale G-7 samoistny wstrząs sejsmiczny o energii rzędu $1,4 \times 10^6$ J spowodował tąpnięcie i sprowokowany wstrząs sejsmiczny o energii $5,8 \times 10^6$ J oraz w oddziale G-8 samoistny wstrząs sejsmiczny o energii $1,9 \times 10^8$ J połączone były z tąpnięciem. W 2004 roku wystąpiły trzy takie zjawiska, tj.: w oddziale G-6 samoistny wstrząs sejsmiczny o energii $4,7 \times 10^7$ J, którego skutkiem było odprężenie górotworu, w oddziale G-7 sprowokowany wstrząs o energii rzędu $8,3 \times 10^7$ J spowodował również odprężenie górotworu i również w tym oddziale samoistny wstrząs sejsmiczny o energii $1,5 \times 10^5$ J, który spowodował tąpnięcie.

Jednym z najbardziej skutecznych sposobów ograniczenia zagrożenia tąpnięciami są grupowe roboty strzałowe wchodzące w skład aktywnej profilaktyki tąpaniowej.

Celem opracowania jest scharakteryzowanie aktywnych metod profilaktyki tąpniowej w wybranych oddziałach wydobywczych O/ZG „Lubin” oraz określenie skuteczności grupowych robót strzałowych w prowokowaniu wysokoenergetycznych wstrząsów.

Badaniami objęto dwa pola eksploatacyjne: pole XIII/1a w oddziale G-2 oraz pole XII/5 w oddziale G-8. Analizie poddano zmienną w czasie aktywność sejsmiczną górotworu. Określono skuteczność prowokowania wstrząsów grupowymi robotami strzałowymi w latach 2006–2007. Ocenę skuteczności przeprowadzono w oparciu o: dobowe rozkłady wstrząsów i ich energii, udział wstrząsów sprowokowanych w cał-

kowej ilości wstrząsów, udział energii sprowokowanych wstrząsów w sumarycznej wyzwolonej energii sejsmicznej, ilość i energię natychmiastowych i zwłocznych wstrząsów sprowokowanych oraz ilość materiału wybuchowego zużytego do wyładowania określonej ilości energii górotworu.

2. PROFILAKTYKA TĄPANIOWA

W okresie ostatnich 22 lat w kopalniach rud miedzi KGHM Polska Miedź S.A. zarejestrowano w sumie 11 617 wstrząsów górotworu o energiach przekraczających 10^5 J, a ich łączny wydatek energetyczny (wielkość mierzonej energii sejsmicznej) wyniósł ponad 72 GJ. Oznacza to statystycznie, że średniemu rocznemu wydobyciu w wysokości 28,3 milionów Mg rudy towarzyszyło 528 wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu o sumarycznej, rocznej energii sejsmicznej 3,276 GJ. Wstrząsy te wywołały średnio przeszło 3 tąpnięcia rocznie, które były przyczyną ponad 10 wypadków, w tym średnio 2 wypadków śmiertelnych [4].

W kopalniach LGOM aktualnie eksploatuje się złożę w obszarach zagrożonych tąpnięciami. Większość oddziałów prowadzi eksploatację przy III stopniu zagrożenia tąpnięciami [1]. Zapobieganie tąpnięciom (profilaktyka tąpniowa) ma, więc zorganizowaną formę i jest nierozdzielnie związane z technologią eksploatacji. Polega to na osłabieniu skał i pozbawieniu ich zdolności do akumulowania energii sprężystej oraz na ograniczeniu czasu pracy górników w zagrożonych rejonach. Poprzez system obserwacji i pomiarów dąży się do zidentyfikowania lokalizacji stref niestabilnych, które indukują wstrząsy wysokoenergetyczne.

Profilaktyka tąpniowa stosowana w LGOM obejmuje cztery grupy metod: obserwacje i pomiary stanu górotworu, technologiczne metody zwalczania (ograniczania) zagrożenia tąpnięciami, aktywne metody zwalczania (ograniczania) tąpnięć, organizacyjno-techniczne metody zwalczania (ograniczania) tąpnięć

Badania, pomiary i obserwacje przejawów ciśnienia górotworu w kopalniach rud miedzi prowadzone są od czasu poprzedzającego uruchomienie pierwszej eksploatacji ścianowej. Po okresie doskonalenia w warunkach eksploatacji doświadczalnej w kopalni „Lubin”, badania te i pomiary stały się obowiązkowe. Ich celem stało się wykonywanie ciągłych ocen zachowania się górotworu i stanu zagrożenia tąpnięciami.

W zakres stosowanych obserwacji, pomiarów i badań wchodzi [2]: badania własności wytrzymałościowych skał budujących górotwór w nowych rejonach eksploatacyjnych i strefach występowania piaskowca o spoiwie anhydrytowym (rozdział 3), rejestracja i analiza aktywności sejsmicznej górotworu (sejsmologia górnicza), obserwacje wizualno-akustyczne przejawów ciśnienia górotworu w wyrobiskach górniczych, pomiary wzbudzonej aktywności sejsmoakustycznej, pomiary konwergencji wyrobisk, pomiary niwelacyjne osiadania stropu, pomiary rozwarstwień stropu (sygnalizatory rozwarstwień, wzierniki peryskopowe), pomiary deformacji górotworu

w otworach badawczych (deformometria otworowa), pomiary rozwarstwień ociosów, pomiary tzw. stopnia wyężenia filarów, okresowe pomiary niwelacyjne obniżania powierzchni. Pozwalają one ocenić skuteczność stosowanej technologii i profilaktyki tapaniowej, natomiast nie są wystarczające dla prognozowania wstrząsów i tapani.

Podstawową metodą zwalczania tapani są metody technologiczne. Opierają się one na doborze odpowiedniego systemu eksploatacji, a w dalszych etapach wybierania złoża na odpowiednim kierowaniu stropem i sposobie likwidacji przestrzeni wybranej. Metody te polegają głównie na: wyprzedzającym upodatnieniu krawędzi calizny i filarów na linii rozcinki, stosowaniu systemów z szerokim otwarciem frontu, dostosowaniu wielkości filarów technologicznych do lokalnych warunków geologiczno-górnictwowych, koncentracji naprężeń w skałach i w wyrobiskach oraz w strefach niestabilnych żeby nie doszło w nich do utraty. Najważniejszą zasadą jest niedopuszczenie do powstania stref stateczności.

Przystosowanie komorowo-filarowych systemów do bezpiecznej eksploatacji w warunkach zagrożenia tapaniami oparto na hipotezie wyprzedzającego spękania górotworu Labase'a i opracowanej dla warunków LGOM hipotezie pokrytycznej podporności filarów międzykomorowych. Zgodnie z tymi hipotezami filary technologiczne wycinane z calizny pokładu komorami i tzw. pasami mogą być niszczone ciśnieniem eksploatacyjnym już na linii calizny, jeżeli mają odpowiednio małe wymiary. Calizna odształconych filarów przechodzi ze stanu przedkrytycznego w stan pokrytyczny (pogniszczeniowy), uzyskując strukturę słupowo-klinową. Tak rozgniecione filary technologiczne pracując w polach eksploatacyjnych z pogniszczeniową (residualną) podpornością, zapewniają utrzymanie stateczności stropu w polach eksploatacyjnych [2].

Dla jak największego upodatnienia calizny na froncie stosowane są komorowo-filarowe systemy eksploatacji z filarami usytuowanymi dłuższą osią prostopadle do linii frontu. Pozwala to na zwiększenie ilości komór i ilości odpalanych przodków na danym odcinku frontu, przy zachowaniu odpowiedniej powierzchni filarów międzykomorowych.

Przy stosowaniu profilaktyki tapaniowej należy brać również pod uwagę aspekt zabezpieczenia przed skutkami tapani i odprężeń sieci dróg dojsciowo-wentylacyjnych, znajdujących się przed frontem eksploatacyjnym. Drogi te można chronić również przez wykorzystanie pogniszczeniowych właściwości pokładu obciążonego ciśnieniem eksploatacyjnym.

Niezależnie od rozwiązań technologicznych stosowane są aktywne metody ograniczania zagrożenia tapaniami. Aktywne metody zwalczania zagrożenia tapaniami służą wyładowaniu naprężeń w strefach gdzie mogą się koncentrować lub prowokacji wyładowania energii. Opierają się one przede wszystkim na specjalnych robotach strzałowych wykonywanych w caliznie, niekiedy w stropie lub spągu. Roboty strzałowe wykonywane są: w przodkach wyrobisk dla urabiania rudy, w warstwach stropowych celem wywołania zawału wymuszonego i likwidacji wybranej przestrzeni, a także w ociosach filarów i w spągu złoża dla wywołania odprężenia górotworu [2].

W kopalniach LGOM stosuje się następujące aktywne metody profilaktyki tapaniowej grupowe strzelanie przodków, strzelanie odprężające w spągu, strzelanie urabiająco-odprężające w caliźnie, strzelanie długich otworów odprężających wraz z przodkami. Trzy pierwsze metody stosowane są w polach o wysokim stopniu zagrożenia tapaniami. W pozostałych polach metody te stosuje się doraźnie.

Przy wykonywaniu zawału technologicznego (do końca lat osiemdziesiątych) w stropie jednocześnie odpalano do kilkudziesięciu otworów strzałowych o długości około 12 m, detonując do 2 Mg materiału wybuchowego. Mimo tego nie udało się tymi robotami strzałowymi w stropie spowodować odprężeń górotworu czy tąpińć. Wynikało to z faktu, że zawałowe otwory strzałowe na frontach eksploatacyjnych znajdują się zawsze w strefie odprężonego i rozwarstwowanego górotworu.

Strzelanie urabiające w przodkach komór i pasów na frontach eksploatacyjnych ma bardziej prowokujący charakter, ponieważ otwory strzałowe leżą w strefie ciśnienia eksploatacyjnego górotworu. Prowokowanie odprężeń górotworu grupowymi przodkowymi robotami strzałowymi polega na jednoczesnym pozbawieniu podparcia warstw stropowych na dość długim odcinku frontu i na równoczesnym zmniejszeniu składowej poziomej stanu naprężeń w samym pokładzie, tj. zmianie stanu naprężeń w przyociosowej części złoża z trójosiowego na jednoosiowy. Pozbawienie podparcia stropu na długim odcinku frontu oznacza równocześnie przyłożenie dodatkowego obciążenia na następną silnie już obciążoną strefę caliżny pokładu, co może wywołać odprężenia i tapania. Efektu podcięcia stropu nie mogą dać pojedyncze i nieregularnie rozłożone przodki. Można to osiągnąć przez jednoczesne odpalenie skoncentrowanych obok siebie, co najmniej kilku, a nawet kilkunastu przodków. W celu zwiększenia efektu prowokującego podczas urabiających robót strzałowych stosuje się też często w przodkach tzw. długie otwory odprężająco-włomowe o większej średnicy (około 64–76 mm, a nawet większe). Pozwala to na przeładowanie przodków materiałem wybuchowym i zwiększenie zabiorów. Ze względów technicznych i organizacyjnych najczęściej odpala się jednocześnie od 8 do 15 przodków. Przyjęto, że po takich skoncentrowanych robotach strzałowych prowokujących obowiązuje odpowiednio długi czas wyczekiwania, zwykle 8 godzin. Jednoczesne odpalenie skoncentrowanych przodków odbywa się z reguły na kolejnych odcinkach frontu eksploatacyjnego. Skuteczność prowokowania górotworu zależy również od stanu naprężeń w strefie przed linią przodków i od długości odcinka frontu, na jakim przodki są odpalane.

Torpedowanie stropu ma na celu dezintegrację ośrodka skalnego i polega na odpaleniu silnego ładunku materiału wybuchowego w otworze wykonanym w stropie. Odpalenie ładunku powoduje propagację fal, które rozchodzą się na duże odległości. Zależy to głównie od sprężystości ośrodka skalnego, odległości i miejsca posadowienia ładunku materiału wybuchowego oraz wielkości tego ładunku. Torpedowanie stropu wykonywane jest wówczas, gdy skały tworzące górotwór odznaczają się od-

powiednią wytrzymałością i sprężystością. Pewną odmianą strzelania torpedującego jest odpalenie odpowiednio dużego ładunku materiału wybuchowego w sąsiedztwie skał stropowych. Ośrodek skalny torpedowany w taki sposób powinien odznaczać się stromym charakterem spękań. Tarcie występujące na powierzchni tych spękań, wynikające z licznych nierówności i zazębień, powoduje zatrzymanie pionowego przemieszczania się w dół bloków skalnych nad zrobami. W momencie detonacji materiału wybuchowego, pokonując siłę tarcia następuje poślizg bloku skalnego, czego pożądanym skutkiem w wyrobisku jest wystąpienie tąpnięcia. Metoda ta była stosowana z powodzeniem w kopalniach rud miedzi

Strzelanie odprężające w spągu wykonywane jest zazwyczaj wówczas, gdy w warstwie przyspągowej znajduje się strefa koncentracji naprężeń. Wykonanie takich robót strzałowych powoduje to, że poprzez zniszczenie struktury spągu następuje rozładowanie naprężeń, a strefa koncentracji naprężeń przemieszcza się w głąb górotworu. Metoda ta polega na jednoczesnym odpaleniu ładunków materiału wybuchowego w otworach odwierconych w spągu wyrobiska na odcinkach frontu eksploatacyjnego, lub przed frontem. Otwory strzałowe wykonuje się pod kątem 60–70°, długość ich wynosi około 1,5 m, a średnica od 40 do 50 mm. Odległość między otworami wynosi od 1,5 do 2 m.

W celu zwiększenia skuteczności zapobiegania tąpniom opracowano metodę polegającą na wykonaniu dodatkowego, długiego, centralnego otworu wielkośrednicowego (\varnothing 127 mm i dł. około 8 m). Otwór odwiercony w środku przodka posiada większą długość niż otwory włomowe, przy czym ładunek MW rzędu 40–50 kg dynamitu znajduje się w jego przedniej części położonej już w strefie deformacji sprężystych poza strefą spękań. Pozostała, nie załadowana część otworu stanowi powierzchnię odsłonięcia, przez co zwiększa się efekt urabiania przy odpaleniu pozostałych otworów. Odpalenie silnego ładunku powoduje rozchodzenie się w skałach fali detonacyjnej prowokującej wstrząsy. Ocenia się, że liczba wstrząsów spowodowanych tym sposobem w stosunku do ogółu wstrząsów wynosi około 30% [3]. Aby prowadzić eksploatację z użyciem materiałów wybuchowych oraz roboty strzałowe w ramach aktywnych metod zwalczania dynamicznych przejawów ciśnienia górotworu musi powstać odpowiednia dokumentacja, na którą składa się m.in. metryka strzałowa. Metryka strzałowa jest podstawowym dokumentem ustalającym sposób wykonywania robót strzelniczych dla każdego przodka. Metryka strzałowa zawiera część opisową i część rysunkową.

Szczegółowe zasady prowadzenia robót strzałowych w rejonach zakwalifikowanych do odpowiedniego stopnia zagrożenia tąpniami, w aspekcie profilaktyki tąpniowej i aktywnych metod zwalczania zagrożenia tąpniami ustala się w „Aktualizacji Projektu Technicznego – Projekcie Szczegółowym Eksploatacji” dla danego pola, każdorazowo opiniowanym przez Kopalniany Zespół ds Zwalczania Tąpań i Zawalów oraz zatwierdzanym przez Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego.

W przypadku konieczności wykonania robót strzałowych innych niż określone powyżej, obowiązują następujące zasady profilaktyki tapaniowej: do rygoru minimalnej ilości przodków, przy robotach strzałowych grupowych, można wliczać przodki prowadzonych na zbiecie pasów lub komór w strefie nieupodatnionej do czasu, gdy szerokość pozostałej do zbiecia calizny jest większa niż 10 m oraz strzelania w otworach spągowych w strefie nieupodatnionej, przyjmując za 1 przodek 30 otworów spągowych o długości minimum 1 m; roboty strzałowe w strefie nieupodatnionej, związane z przystrzalkami ociosów i spągów oraz związane z zestrzeliwaniem stropu i rozstrzeliwaniem gładów ponadwymiarowych, mogą być wykonywane niezależnie, przy zachowaniu limitu maksymalnego odpalania 20 kg MW łącznie w całej strefie nieupodatnionej oraz minimalnych czasów wyczekiwania jak dla grupowych strzelań przodków określonych w projekcie eksploatacji; roboty strzałowe w strefie upodatnionej mogą być wykonywane niezależnie, przy zachowaniu minimalnych czasów wyczekiwania określonych, o ile projekt eksploatacji nie stanowi inaczej; jeżeli projekt eksploatacji wymaga prowadzenia rozczinki z zastosowaniem dodatkowych otworów odprężających o długości minimum 6 m to strzelania te muszą być wykonywane do momentu, gdy szerokość pozostałej do zbiecia calizny jest większa niż 15 m; w przypadku, gdy zajdzie potrzeba uzyskania właściwej geometrii czoła przodków to strzelania w caliźnie z tym związane należy wykonywać łącznie ze strzelaniem grupowym przodków. Przy ograniczonej ilości przodków na froncie dopuszcza się wliczanie ww. robót strzałowych do rygoru minimalnej ilości przodków określonej w projekcie eksploatacji; w razie konieczności wykonywania doraźnych robót strzałowych związanych z bieżącą profilaktyką tapaniową lub odpalaniem otworów lub przodków zawiedzionych, decyzję o ich wykonaniu oraz obowiązujących rygorach podejmuje w podległym Rejonie Kierownik Działu Robót Górniczych lub osoba wyższego dozoru górniczego prowadząca zmianę. Decyzja taka musi być udokumentowana.

W polach eksploatacyjnych, w których wprowadzono obowiązek grupowego odpalania przodków, wszystkie metryki strzałowe dla robót strzałowych w caliźnie muszą uwzględniać zwiększoną ilość MW w otworach włomowych, dotyczy to strzelań urabiająco-odprężających. Za nadzór i kontrolę nad przestrzeganiem powyższych zasad odpowiada Główny Inżynier Górniczy, oraz Zawiadowca Ruchu i Zastępca Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego. W kopalniach LGOM dozwolone są roboty strzałowe na ustalonych zmianach: zmiana II godziny: 17³⁰–18¹⁵ i zmiana IV godziny: 05³⁰–06¹⁵.

Prowokowanie górotworu skoncentrowanymi robotami strzałowymi okazało się skuteczną metodą ograniczania zagrożenia tapaniami w kopalniach LGOM. Większość rejestrowanych zjawisk dynamicznych jest spowodowana tymi robotami. Jako spowodowane przyjęto te odprężenia, które wystąpiły bezpośrednio po strzelaniu przodków lub też w okresie wyczekiwania po robotach strzałowych. Prowokowanie górotworu skoncentrowanymi robotami przodkowymi pozwala również w znacznym

stopniu sterować czasem występowania wstrząsów górotworu (dobowym rozkładem występowania wstrząsów). W oddziałach eksploatacyjnych stosujących prowokowanie górotworu poprzez jednoczesne odpalanie większej ilości przodków znaczny procent wstrząsów występuje w okresie nieobecności załogi, tj. bezpośrednio po wykonaniu robót strzałowych i w czasie wyczekiwania po strzelaninach [2].

3. WARUNKI GEOLOGICZNE I GÓRNICZE

Do analizy wybrano dwa pola eksploatacyjne należące do oddziałów O/ZG „Lubin”. Podstawą takiego wyboru była różnorodna aktywność sejsmiczna tych obszarów. Analizie poddano pole XIII/1a oddziału G-2 oraz pole XII/5 oddziału G-8. Pola te usytuowane w północno-wschodniej części obszaru górniczego.

Pole XIII/1a położone jest w centralnej części kopalni w północnej części oddziału G-2, od południa graniczy ze zrobami pola XIII/1, natomiast pole XII/5 zlokalizowane jest we wschodniej części rejonu Lubin Zachodni w oddziale G-8. Od strony zachodniej graniczy ono ze zrobami zawałowymi pola XII/2, od południa, z chodnikiem.

W każdym z omawianych obszarów złoża zróżnicowane jest pod względem litologicznym i mineralogicznym. W polu XIII/1a złoża bilansowe tworzą tu dolomity ilaste, łupki dolomityczno-ilaste cienko-warstwowane i szare piaskowce kwarcowe, w polu XII/5 okruszcowanie obejmuje warstwy łupka i piaskowca, dolomit na przeważającym obszarze jest płonny. Średnia miąższość bilansowa złoża w polu XIII/1a wynosi 0,80 m przy zawartości 3,22% Cu natomiast w polu XII/5 wynosi 3,5 m.

W polu XIII/1a nad stropem złoża zalega dolomit smugowany substancją ilastą, przechodzący w wapnisty. Nad nim występują szare i szarobeżowe, skrytokrystaliczne wapienie dolomityczne. Nad nimi leżą dolomity wapniste silnie zailone, miejscami porowate, średniolawicowe; łączna miąższość warstw węglanowych wynosi 65,90 m. W polu XII/5 nad serią łupkową zalega ciemnoszary dolomit ilasty smugowany, przechodzący ku górze w dolomit wapnisty szary, o wysokich parametrach wytrzymałościowych. Powyżej występuje wapień dolomityczny szaro-beżowy oraz dolomit barwy popielatej masywny, zwięzły a strop wykazuje doszczelnienie zrobów na skutek samoczynnego obrywania się i odpadania płatów skalnych, sumaryczna miąższość serii węglanowej w opisywanym obszarze wynosi ok. 68,0 m. Powyżej tych utworów zalegają anhydryty i gipsy. W polu XIII/1a w spagu zalegają szare piaskowce kwarcowe o lepyszczu ilastym, w polu XII/5 spąg zbudowany jest z piaskowca szarego drobnoziarnistego o spoiwie ilastym, którego zwięzłość zmniejsza się wraz z głębokością. Pole XIII/1a położone jest w północno-centralnej części złoża, monoklinalnie zapadającego w kierunku N–NNE pod kątem 5–6°. Tektonika objawia się w postaci spękań, brak jest deformacji nieciągłych (uskoków). Przeważający kierunek spękań stropu w omawianym obszarze to NW, NWN–SE i SES. Większość stanowią spękania pionowe i prawie pionowe, a ich szczeliny wypełnione są gipsem, kalcytem lub

substancją ilastą. Strop spękany jest nierównomiernie, występują strefy intensywniej spękane oraz strefy o nielicznych spękaniach.

Złoże w polu XII/5 zalega regularnie na głębokości od 570 m do 638 m, z upadem w kierunku NNE i NE pod kątem 3° – 5° . Obszar ten charakteryzuje się niewielkim stopniem zaangażowania tektonicznego. W wyrobiskach opasujących opisywane pola nie stwierdzono występowania uskoków. Przeważają natomiast spękania i szczeliny oraz ślizgi śródlawicowe, udokumentowane w obrębie warstw stropowych. Dominujący kierunek tych nieciągłości zawarty jest w przedziale od 295° do 330° . Są to głównie spękania płaskie o kątach nachylenia płaszczyzn od 12° do 35° . Podrzędnie występują spękania o stromych kątach nachylenia (65° – 85°) i azymucie 20° – 45° . Ich powierzchnie z reguły zabliźnione są substancją ilastą lub gipsem.

Współczynnik tektonicznego zaangażowania złoży jest w przedstawionych polach w tej samej klasie średniego zaangażowania i wynosi 0,68. W polu XII/5 złoże leży od 638 do 570 m pod poziomem terenu, w polu XIII/1a około 760 m.

Na podstawie powyższego zestawienia można stwierdzić, że warunki geologiczne w tych polach są do siebie zbliżone.

Głębokościowy rozkład parametrów wytrzymałościowych systemu spąg–furta eksploatacyjna–strop w tych dwóch polach ma zbliżony charakter: w polu XIII/1a 30,3–58–135,8 MPa, w polu XII/5 26,1–44–131,9 MPa.

Oddział G-2 w polu XIII/1a prowadzi eksploatację w III i II stopniu zagrożenia tąpaniem, złoże w polu XII/5 oddziału G-8 w zachodniej części pól zaliczone zostało do III stopnia zagrożenia tąpaniem natomiast w części wschodniej do II stopnia zagrożenia tąpaniem. Tylko w rejonie pola XII/5 w 2006 roku wystąpił wstrząs połączony z tąpnięciem oraz wstrząs połączony z odprężeniem. W rejonie pola XIII/1a nie wystąpiły tąpnięcia lub odprężenia w okresie objętym analizą.

W polu XIII/1a stosowany jest system komorowo-filarowy z ugięciem stropu i ruchowym filarem zamykającym J-UGR-PS, a w polu XII/5 system komorowo-filarowy z ugięciem stropu J-UG.

W obydwu polach, prowadzona jest podobna profilaktyka tąpaniowa. W ramach obserwacji i pomiarów przez Kopalnianą Stację Geofizyki Górniczej wykonywana jest ciągła obserwacja aktywności sejsmicznej a przez Dział Tapań: pomiary konwergencji 1 raz na dobę roboczą, obserwacje wizualne wyrobisk 1 raz na dobę roboczą, pomiary wzbudzonej aktywności sejsmoakustycznej licznikiem trzasków MLT-3 podczas robót strzałowych technologicznych jeden raz na dobę roboczą a Kopalniany Zespół ds. Tapań i Zawałów 1 raz w miesiącu analizuje sytuację geologiczno-górnica w obydwu polach.

W polu XIII/1a aktywne metody zwalczania zagrożenia tąpaniem obejmują: grupowe strzelanie minimum 8 przodków rozcinających caliznę na froncie pola; w strefie wyrobisk nie zlikwidowanych, rozpoznających złoże wzdłuż północno-wschodniej granicy pola strzelanie grupowe min 4 przodków rozcinających caliznę; dopuszcza się strzelanie w robotach pozaprzedkowych do 50 kg MW poza rygorem robót strzało-

wych grupowych. Natomiast stosowanie aktywnych metod zwalczania zagrożenia tapaniami, tj. robót strzałowych odprężających, urabiająco-odprężających w caliznie, strzelanie pod filary eksploatacyjne, strzelanie szczeliny w spągu oraz strzelanie długich otworów odprężających wraz z przodkami realizowane jest wg zasad określonych przez kierownika działu robót górniczych w porozumieniu z Głównym Inżynierem ds. Tapań i jest wykonywane doraźnie, w razie zaistnienia takiej konieczności.

W polu XII/5 aktywne metody zwalczania zagrożenia tapaniami obejmują: strzelanie grupowe min. 10 przodków rozcinających caliznę lub filary wielkogabarytowe w każdej z calizn pozostałych do rozcięcia, w przypadku ich równoczesnego strzelania; strzelanie grupowe min. 15 przodków rozcinających caliznę lub filary wielkogabarytowe w przypadku strzelania tylko jednej z calizn pozostałych do rozcięcia; dopuszcza się równoczesne wykonywanie w drugiej caliznie robót strzałowych uzupełniających dla wyrównania linii rozcinki, jednak nie więcej niż 3 przodków. Stosowane jest również strzelanie urabiająco-odprężające w caliznie. Inne aktywne metody, tj. strzelanie odprężające w spągu i strzelanie długich otworów odprężających wraz

z przodkami stosowane są w przypadku stwierdzenia wzrostu zagrożenia tapaniami i decyzję podejmuje kierownik działu robót górniczych w porozumieniu z Głównym Inżynierem ds. Tapań.

W obydwu polach, wyznaczone są strefy szczególnego zagrożenia tapaniami. Czas wyczekiwania po robotach strzałowych wynosi: w strefach szczególnego zagrożenia tapaniami – 2,0 godziny, w pozostałej części pól – 1,5 godziny.

Chociaż strzelanie przodków jest elementem stosowanego w LGOM systemu eksploatacji złoża, to jednak w oparciu o analizę bilansu przemian energetycznych nie sposób pominąć wpływu odstrzelenia ładunku prawie 11,5 tysiąca Mg materiału wybuchowego na wielkość energii wtórnej, wynikającej przede wszystkim z koncentracji naprężeń w sąsiedztwie wyrobisk górniczych [4].

Fakt ten potwierdza tezę dotyczącą możliwości sterowania wstrząsami górotworu za pomocą odpowiednio realizowanych robót strzałowych, umiejętnie zaś sterowanie wstrząsami górotworu, przy odpowiednio wyznaczonym czasie wyczekiwania po robotach strzałowych zmierza bez wątplenia do poprawy skuteczności czynnej profilaktyki tapaniowej. Skuteczność ta, bowiem wynika z faktu, że wstrząsy górotworu zaistniałe w okresie wyczekiwania po strzelaniu przodków są wstrząsami oczekiwanymi. Tym sposobem, można na obecnym etapie sprostać oczekiwanej predykcji czasowej wystąpienia wstrząsu, czyli potencjalnego zagrożenia tapaniem. Dowodem skuteczności prowokowania górotworu robotami strzałowymi jest wskaźnik wielkości energii wyemitowanej na skutek strzelania umownym ładunkiem 1 kg materiału wybuchowego. Oznacza to, że odstrzelenie 1 kg materiału wybuchowego w roku 2006 wywołało reakcję górotworu w postaci pomierzonej energii sejsmicznej wynoszącej około 713 J [4]. W O/ZG Lubin zużyto najwięcej materiału emulsyjnego.

Działania organizacyjno-techniczne mają na celu utrzymanie ruchu ludzi i sprzętu w strefach upodatnionego i odprężonego górotworu, niezależnie od stosowanego systemu eksploatacji, oraz osiągnięcie większego stopnia skuteczności prowokowania wstrząsów sejsmicznych oraz tąpnięć i odprężeń. Metody te polegają 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 tąpnięciami, doborze czasu wyczekiwania po robotach strzałowych i wstrząsach sejsmicznych.

Aby ujednoczyć zasady prowadzenia robót strzałowych w polach eksploatacyjnych ustalono według stopni zagrożenia tąpnięciami, minimalne czasy wyczekiwania po robotach strzałowych obowiązujące w promieniu minimum 150 m od miejsca wykonywania robót strzałowych. W oddziałach gdzie wystąpiły wstrząsy o energii $E \geq 10^5$ J oraz tąpnięcia lub odprężenia obowiązuje dłuższy minimalny czas. W przypadku utrzymywania się stanu podwyższonej aktywności sejsmicznej czas wyczekiwania odpowiednio wydłuża się ponad czas minimalny.

Właściwa ocena stanu zagrożenia pozwala w dużym stopniu na podjęcie odpowiednich środków i działań mających na celu zminimalizowanie lub wyeliminowanie zagrożenia. Podkreślić należy, że najwyższa skuteczność w ograniczaniu zagrożenia tąpnięciami osiągana jest w rezultacie odpowiednio zaprojektowanej eksploatacji [3]. Podstawową zasadą w zakresie stosowanej technologii eksploatacji na dużej głębokości w górotworze skłonnym do tupań jest utrzymywanie załogi dołowej i sprzętu w górniczych wyrobiskach eksploatacyjnych znajdujących się w górotworze już odprężonym, który jest w stanie pozniszczeniowym (pokrytycznym). Taki górotwór ma małą zdolność do akumulowania energii sprężystej [1].

Udoskonalenia systemów eksploatacji i zasad ich stosowania w określonych warunkach geologiczno-górnicych jednoznacznie wskazują na sukcesy w technologicznym ograniczaniu zagrożenia tąpnięciami w kopalniach LGOM. Trudno jest jednak ilościowo określić ich skuteczność. Podobnie jest ze skutecznością aktywnej (doraźnej) profilaktyki ograniczającej się do robót strzałowych dla upodatnienia bądź odprężenia złoża (filarów, złoża w linii rozcinki). Bardziej jednoznaczne są zabiegi prowokujące dynamiczne zjawiska, zwłaszcza grupowe strzelanie przodków. Ich skuteczność można określić udziałem zjawisk sprowokowanych w ogólnej ilości zjawisk dynamicznych w określonych czasach po strzelaniu.

4. AKTYWNOŚĆ SEJSMICZNA W LATACH 2006–2007

Prognoza, czyli przewidywanie wszelkich procesów i zjawisk sprowadza się do określenia miejsca, czasu i wielkości tych zjawisk. W odniesieniu do wstrząsów górotworu, na podstawie rozeznania naukowego tego zjawiska i doświadczeń prak-

tycznych górnictwa, można stwierdzić, że o ile z większym lub mniejszym prawdopodobieństwem, można przewidzieć miejsce wystąpienia wstrząsów górotworu i ich energię, o tyle prognoza czasu wystąpienia wstrząsu górotworu jest obecnie nierealna. Wprawdzie od czasu do czasu pojawiają się poglądy na temat skuteczności tych, czy innych metod prognostycznych, jednak w konfrontacji z praktyką okazuje się, że metody te, co najwyżej sprowadzają się do rejestracji wstrząsów, jakie już wystąpiły [4].

Aktywność sejsmiczną w kopalniach charakteryzuje się zarówno ilością zarejestrowanych wstrząsów sejsmicznych w poszczególnych klasach energetycznych, ich sumaryczną energią i wydatkiem energii sejsmicznej w stosunku do ilości wydobytej rudy oraz ilością tąpnięć i odprężeń górotworu. Porównanie tych danych z poszczególnych pól eksploatacyjnych pozwala na zlokalizowanie miejsca największego potencjalnego zagrożenia zjawiskami dynamicznymi. Analiza parametrów aktywności sejsmicznej pozwala również ocenić i kontrolować skuteczność zastosowanych metod profilaktyki. Na podstawie danych uzyskanych z kopalnianej Stacji Geofizyki Górniczej przy O/ZG „Lubin”, przeprowadzono analizę aktywności sejsmicznej dla pola XIII/1a w oddziale G-2, oraz pola XII/5 w oddziale G-8.

W oddziale G-2 w 2007 roku aktywność sejsmiczna spadła w porównaniu z rokiem 2006. W 2006 roku ilość wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J wynosiła 517 a ich energia $5,19 \times 10^7$ J. Natomiast w 2007 roku ilość wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J spadła do 413 a ich energia do $2,42 \times 10^7$ J.

W oddziale G-2 w 2006 roku wystąpiło 71 wstrząsów wysokoenergetycznych ($E \geq 10^5$ J) o sumarycznej energii $4,4 \times 10^7$ J. W 2007 roku ilość tych wstrząsów spadła do 64 a ich całkowita energia do $1,77 \times 10^7$ J.

Można stwierdzić, że aktywność sejsmiczna w 2007 roku w oddziale G-2 zmniejszyła się w porównaniu z rokiem 2006. Ilość wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J spadła o 12% a ilość silnych wstrząsów spadła tylko o 7%. Pocięszającym jest fakt znacznego zmniejszenia się wyzwolonej energii, energia wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J spadła o 32%, a dla wstrząsów wysokoenergetycznych spadek ten wyniósł 42%.

W oddziale G-8 w roku 2007, podobnie jak w oddziale G-2, aktywność sejsmiczna spadła w porównaniu z rokiem 2006. W 2006 roku ilość wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J wynosiła 1142 a ich energia $3,8 \times 10^8$ J. W 2007 roku ilość wstrząsów tej klasy energetycznej spadła w porównaniu z rokiem 2006 i wyniosła 918, a ich energia osiągnęła $8,81 \times 10^7$ J.

W 2006 roku w oddziale G-8 ilość wysokoenergetycznych wstrząsów wyniosła 214 a ich sumaryczna energia $3,66 \times 10^8$ J. W 2007 roku ilość silnych wstrząsów spadła w porównaniu z rokiem 2006 i wyniosła 145, a ich energia $7,69 \times 10^7$ J.

Można stwierdzić, że w oddziale G-8 ilość wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J spadła w 2007 roku o 10% a ich energia o 62% w porównaniu z 2006 rokiem. Spadek ilości wysokoenergetycznych wstrząsów w 2007 roku w odniesieniu do 2006 roku wyniósł 20%, a ich energii o 66%.

Zaobserwowany spadek aktywności sejsmicznej w obydwu polach może być związany z dużą skutecznością profilaktyki tąpaniowej w analizowanym okresie.

O wysokich miesięcznych energiach sumarycznych decydują przede wszystkim silne wstrząsy o energii $E \geq 10^5$ J. Zagrożenie tąpaniem jest związane wyłącznie z występowaniem tego typu zjawisk, jednak zmiany ilości wstrząsów o niższych energiach stanowią dobry materiał analityczny do oceny stanu zagrożenia sejsmicznego.

W oddziale G-2, w okresie od stycznia do maja 2006 obserwuje się systematyczny spadek aktywności sejsmicznej górotworu, a tym samym znaczne obniżenie sumarycznej energii sejsmicznej. Wystąpienie w styczniu 2006 roku dwóch silnych wstrząsów tj. o energii $E \geq 10^6$ J oraz $E \geq 10^7$ J spowodowane było trudnymi warunkami eksploatacji. W związku z tymi zjawiskami nastąpiło zwiększenie stanu zagrożenia tąpaniem w tym rejonie. Z dalszym postępowaniem eksploatacji nie zanotowano jednak powtórnego zdarzenia tego typu oprócz, marca 2006 roku, gdzie w stosunku do pozostałych miesięcy odnotowano znacząco większą ilość wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J. Pozostałe 20 miesięcy miało aktywność na jednakowym poziomie zarówno pod względem ilości zjawisk sejsmicznych o energii $E \geq 10^3$ J (ich liczba nie przekroczyła 50 w skali miesiąca), jak również pod względem sumarycznej energii sejsmicznej.

W oddziale G-2 w 2006 roku najwięcej wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J wystąpiło w styczniu (82), lutym (72) i marcu (67). Od kwietnia, w którym pojawiło się 46 wstrząsów, można zaobserwować systematyczny spadek ilości wstrząsów do 17 w maju, 41 w czerwcu, 25 w lipcu, 41 w sierpniu oraz 23, 29, 25 i 49 we wrześniu, październiku, listopadzie i grudniu odpowiednio. Średnio w miesiącu wystąpiło 46 wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J.

Najwyższa energia została wyzwolona przez wstrząsy o energii $E \geq 10^3$ J w styczniu $1,92 \times 10^7$ J, co związane było z dużą ilością wysokoenergetycznych wstrząsów, a najmniejsza w maju, $6,56 \times 10^5$ J. W pozostałych miesiącach energia wyzwolana była rzędu 10^6 J.

W 2006 roku w oddziale G-2 najwięcej wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J wystąpiło w styczniu 15, w marcu 11, lutym 8 i grudniu 7, a najmniej w maju 1 wstrząs. Średnio wystąpiło 6 wysokoenergetycznych wstrząsów na miesiąc. Również w styczniu pojawiły się wstrząsy o energii rzędu 10^6 J jeden wstrząs i rzędu $E \geq 10^7$ J jeden wstrząs. W pozostałych miesiącach wstrząsy o energii rzędu 10^7 J nie wystąpiły. W marcu, kwietniu, czerwcu, sierpniu, wrześniu, listopadzie i grudniu wystąpiło po jednym wstrząsie o energii rzędu 10^6 J. Na wielkość wyemitowanej energii zasadniczy wpływ miało pojawianie się tych wysokoenergetycznych wstrząsów.

W 2007 roku w oddziale G-2 najwięcej wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J było w marcu (44). Rozkład ilości wstrząsów w pozostałych miesiącach jest równomierny od 26 do 40, średnio 34 wstrząsy na miesiąc. Największa energia została wyzwolona we wrześniu ($3,68 \times 10^6$ J), co związane było z pojawieniem się wstrząsu o energii rzędu 10^6 J, a najmniejsza $9,68 \times 10^5$ J w marcu. W 2007 roku najwięcej wstrząsów wysoko-

energetycznych wystąpiło w lipcu (11), w czerwcu (7), sierpniu (7) i grudniu (7), najmniej w październiku i listopadzie po dwa wstrząsy. Średnio 5 wstrząsów na miesiąc. Jedynie we wrześniu pojawił się wstrząs o energii rzędu 10^6 J w pozostałych miesiącach wstrząsy o energii $E \geq 10^6$ J nie wystąpiły.

W oddziale G-8 w 2006 roku miesięczny rozkład ilości wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J był nierównomierny. Najwięcej wstrząsów zarejestrowano we wrześniu (139), w lutym (103), w marcu (113), w kwietniu (102) i w maju (111). W pozostałych miesiącach wystąpiło od 61 do 94 wstrząsów, średnio 95 wstrząsów na miesiąc. Największa energia $1,08 \times 10^8$ J wyzwolona została w październiku, co związane było z pojawieniem się dwóch wstrząsów o energii rzędu 10^7 J. Najmniejsza energia $4,61 \times 10^6$ J była wyemitowana w czerwcu. W pozostałych miesiącach energia była rzędu od 10^6 do 10^7 J. Wysoka energia jest oczywiście związana z występowaniem wysokoenergetycznych wstrząsów ($E \geq 10^5$ J).

W 2006 roku w oddziale G-8 najwięcej wysokoenergetycznych wstrząsów było w maju (29), w lutym (24), w lipcu (23) i sierpniu (22), średnio 18 wstrząsów na miesiąc. W tych miesiącach również energia była wysoka: $3,38 \times 10^7$ J w maju, $3,82 \times 10^7$ J w lutym, $3,61 \times 10^7$ J w lipcu i $3,69 \times 10^7$ J w sierpniu. W październiku, w którym wyzwolona energia była największa $1,08 \times 10^8$ J wystąpiły dwa wstrząsy o energii rzędu 10^7 J. Jedynie w styczniu, marcu, czerwcu, listopadzie i grudniu nie wystąpiły wstrząsy o energii rzędu 10^7 J. W grudniu zarejestrowano 4 wstrząsy o energii rzędu 10^6 J. Tylko w styczniu, czerwcu i październiku nie wystąpiły wstrząsy o energii $E \geq 10^6$ J.

W 2007 roku w oddziale G-8 najwięcej wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J wystąpiło w lipcu (122), kwietniu (119), sierpniu (113), styczniu (93) i czerwcu (91), najmniej w listopadzie (25) i grudniu (31). Średnio zarejestrowano 76 wstrząsów na miesiąc. Największa energia wyzwolona została w styczniu ($1,08 \times 10^7$ J) i lipcu ($1,29 \times 10^7$ J), a najmniejsza w październiku i grudniu ($3,38 \times 10^6$ J w każdym). Wysoka energia związana była z występowaniem wysokoenergetycznych wstrząsów.

W 2007 roku w oddziale G-8 najwięcej wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J wystąpiło w sierpniu (21), lipcu (17), w styczniu, lutym, kwietniu i wrześniu po 15 wstrząsów. Najmniej wstrząsów pojawiło się w październiku i listopadzie, pięć w każdym miesiącu. Średnio zarejestrowano 11 wstrząsów wysokoenergetycznych na miesiąc. W lutym wystąpiły 4 wstrząsy o energii rzędu 10^6 J, w styczniu i lipcu po 3 wstrząsy o energii tego rzędu. Tylko w czerwcu i październiku nie było wstrząsów o energii rzędu 10^6 J. W całym roku nie wystąpiły wstrząsy o energii $E \geq 10^7$ J.

Aktywność sejsmiczna wykazuje znaczną różnicę zarówno pod względem ilościowym jak i energetycznym między oddziałami G-2 i G-8. Oddział G-2 charakteryzuje się znacznie mniejszą aktywnością sejsmiczną niż oddział G-8. Zarejestrowano w nim znacznie mniejszą niż w oddziale G-8 ilość zjawisk dynamicznych oraz energię sejsmiczną zarówno w roku 2006 jak i 2007. Decydujący wpływ na ilość rejestrowanych wstrząsów w obszarze oddziału G-8 ma opisana w rozdziale 5 geologia złoża, a co za

tym idzie sposób jego wybierania. W oddziale tym mimo braku deformacji nieciągłych, dokumentuje się liczne spękania i szczeliny, a także ślizgi śródlawicowe w skałach stropowych.

W 2006 roku ilość wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J w oddziale G-8 wyniosła 1142 i była około trzy razy większa niż w oddziale G-2 gdzie wystąpiło 517 wstrząsów. Energia wyzwolona przez wstrząsy o energii $E \geq 10^3$ J w oddziale G-8 była ponad 10 razy większa niż w oddziale G-2 ($3,8 \times 10^8$ J w G-8 i $5,19 \times 10^7$ J w G-2).

Podobnie było w roku 2007 z tym, że różnica aktywności pomiędzy obydwoma oddziałami była mniejsza. W oddziale G-8 w 2007 roku ilość wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J osiągnęła 918 a w oddziale była dwa mniejsza i wyniosła 413. Wyzwolona energia przez wstrząsy o energii $E \geq 10^3$ J w oddziale G-8 była 4 razy większa niż w oddziale G-2 ($8,81 \times 10^7$ J w G-8 i $2,42 \times 10^7$ J w G-2).

Tak samo ilość wstrząsów wysokoenergetycznych i ich energia w oddziale G-8 była większa niż w oddziale G-2 w obydwu latach. W 2006 roku w G-8 było 214 wstrząsów a 71 wstrząsów w G-2. Energia wstrząsów wysokoenergetycznych w G-8 wyniosła $3,66 \times 10^8$ J i była około 10 razy większa niż w oddziale G-2 gdzie wyniosła $4,4 \times 10^7$ J. W roku 2007, w oddziale G-8 ilość wstrząsów wysokoenergetycznych była ponad dwa razy większa niż w oddziale G-2 (145 w oddziale G-8 i 64 w oddziale G-2) a energia w oddziale G-8 ponad 7 razy większa niż w oddziale G-2 ($1,77 \times 10^7$ J w G-2 i $7,69 \times 10^7$ J w G-8).

Można stwierdzić, że oddział G-8 jest najbardziej zagrożonym oddziałem w całej kopalni „Lubin” ze względu na możliwość wystąpienia tąpnięcia lub zawału. W roku 2006 zarejestrowano jedno silne tąpnięcie samoistne wywołane wstrząsem o energii $2,20 \times 10^7$ J. Miało ono miejsce dnia 11.07.2006 na froncie eksploatacyjnym, a jego skutkiem było urobienie północnego ociosu w komorze K-42 od czoła przodka do pasa P-17 i północnego naroża komory K-39 z pasa P-17, obsypanie ociosów w komorach K-41, K-40 i K-39 od czoł przodków do pasa P-16, obsypanie ociosów komorze K-38, od pasa P-16 do P-15, obsypanie ociosów w komorach K-37, K-36, K-35 i K-34 od czoł przodków do pasa P-15, oraz wypiętrzenie spągów w K-39 od P-17 do P-16 i w K-35 od czoła przodka do P-15.

W dniu 02.08.2006 w omawianym rejonie miało miejsce również jedno odprężenie samoistne, którego skutkiem było urobienie ociosów na głębokość od 0,5 do 1,0m na odcinkach od czoła przodków do pierwszego wykonanego pasa w komorach K-38 do K-42 oraz obsypanie ociosów na odcinkach od czoła przodków do pierwszego wykonanego pasa w komorach K-30 do K-37. W związku z tym zjawiskiem odnotowano trzy wypadki lekkie.

Analiza przedstawionych zestawień statystycznych zarejestrowanych wstrząsów sejsmicznych za lata 2006–2007 pozwala na sprecyzowanie następujących wniosków.

W oddziale G-2 i G-8 zauważalny jest spadek ilości zjawisk dynamicznych oraz wyzwolonej energii sejsmicznej górotworu w 2007 roku w stosunku do roku 2006.

W oddziale G-2 zarejestrowano: brak tąpnięć i odprężeń w analizowanych latach (2006–2007), spadek ilości wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J z 517 do 413 (około 12%), spadek wyzwolonej energii wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J z $5,19 \times 10^7$ J do $2,42 \times 10^7$ J (około 36%), spadek ilości wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J z 71 do 64 (około 7%), spadek wyzwolonej energii wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J z $4,40 \times 10^7$ J do $1,77 \times 10^7$ J (około 42%),

W oddziale G-8 zarejestrowano: brak tąpnięć i odprężeń w 2007 roku, spadek ilości wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J z 1142 do 918 (około 10%), spadek wyzwolonej energii wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J z $3,80 \times 10^8$ J do $8,81 \times 10^7$ J (około 62%), spadek ilości wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J z 214 do 145 (około 20%), spadek wyzwolonej energii wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J z $3,66 \times 10^8$ J do $7,69 \times 10^7$ J (około 66%).

5. SKUTECZNOŚĆ AKTYWNEJ PROFILAKTYKI TĄPANIOWEJ

Ocena skuteczności profilaktyki tąpaniowej przeprowadzana jest głównie na podstawie analizy wyników badań sejsmologicznych i sejsmoakustycznych, jak też pomiarów geotechnicznych, takich jak pomiar konwergencji, rozwarstwień stropu oraz deformacji otworów. Badania te mają na celu określenie stanu zagrożenia tąpnięciami.

W celu dokonania prawidłowej oceny skuteczności aktywnych metod zwalczania zagrożenia tąpnięciami, stosowanych w polu XIII/1a oddziału G-2, oraz w polu XII/5 oddziału G-8 w okresie od 01.01.2006 r. do 31.12.2007 r. poddano analizie dane sejsmologiczne i te dotyczące robót strzałowych. Ocenę skuteczności aktywnych metod profilaktyki tąpaniowej a przede wszystkim grupowych robót strzałowych przeprowadzono w oparciu o dobowe rozkłady ilości i energii wstrząsów, udział wstrząsów spowodowanych grupowymi robotami strzałowymi w całkowitej ilości wstrząsów oraz udział ich energii w sumarycznej wyzwolonej energii, ilość i energię wstrząsów natychmiastowych i zwłocznych oraz ilość materiału wybuchowego zużytego do wyzwolenia określonej ilości energii.

5.1. DOBOWE ROZKŁADY AKTYWNOŚCI SEJSMICZNEJ

Na podstawie rozkładów dobowych aktywności sejsmicznej górotworu zarówno pod względem ilości wstrząsów sejsmicznych, jak również wyzwolonej energii oparto ocenę profilaktyki tąpaniowej polegającej na prowokowaniu zjawisk dynamicznych robotami strzałowymi i stosowaniu odpowiednich czasów wyczekiwania po tych robotach. Przy prowokowaniu zjawisk dynamicznych najkorzystniejsze są te przypadki, gdy zjawiska te mają miejsce w obowiązującym czasie wyczekiwania po robotach strzałowych (wstrząsy kontrolowane) i w tym samym czasie zostanie wyzwolona największa ilość energii.

W oddziale G-2 w 2006 roku dobowy rozkład ilości wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J wskazuje, że najczęściej wstrząsów 57 (13%) wystąpiło w godzinach robót strzałowych między 17 a 19 oraz 40 (10%) między godziną 5 a 7, a więc podczas nieobecności załogi pod ziemią. Również w tych godzinach wyzwolona została największa energia, w godzinach 5–7 wyzwolone zostało 9% energii a w godzinach 17–19, 38%. W pozostałych godzinach ilość wstrząsów i ich energia były na zbliżonym do siebie poziomie.

Na podstawie dobowego rozkładu ilości wstrząsów wysokoenergetycznych i ich energii w oddziale G-2 w 2006 roku, można stwierdzić, że najczęściej silnych wstrząsów (16) wystąpiło między godziną 17 a 19, a więc w czasie wyczekiwania. Również w tych godzinach wyzwolona została największa energia, 47%. W pozostałych godzinach rozkład ilości wstrząsów i ich energii był równomierny.

Dobowy rozkład ilości i energii wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J w 2007 roku w oddziale G-2 wskazuje, że najczęściej wstrząsów, 51 (10%), wystąpiło między godziną 5 i 7 oraz 92 wstrząsy (25%) między 17 a 19. Natomiast największa energia wyzwolona została w godzinach 2–3 (15%) oraz 17–19 (17%). W pozostałych godzinach wstrząsy i ich energia rozkładały się równomiernie.

Na podstawie dobowego rozkładu ilości wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J i ich energii w oddziale G-2 w 2007 roku, można stwierdzić, że najczęściej silnych wstrząsów 10 (17%) pojawiło się w godzinach 17–19 oraz 2–4 (9 wstrząsów, 15%). W godzinach 17–19 wyzwolona została największa energia (25%), a także duża energia pojawiła się w godzinach 2–4 (22%). W pozostałych godzinach rozkład ilości wstrząsów i ich energii był równomierny.

W oddziale G-8 dobowy rozkład ilości i energii wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J w 2006 roku wskazuje, że najczęściej wstrząsów 146 (14%) wystąpiło w godzinach 17–19 oraz w godzinach 5–7 126 wstrząsów (11%). Największa energia wyzwolona została w godzinach 4–5 (22%) i 17–19 (17%) oraz 23–0 (14%). W pozostałych godzinach rozkład wstrząsów i ich energii był równomierny.

Na podstawie dobowego rozkładu ilości i energii wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J w oddziale G-8 w 2006 roku, można stwierdzić, że najczęściej silnych wstrząsów 26 (13%) pojawiło się w godzinach 5–7, 17–19 (26 wstrząsów, 13%) oraz w godzinach 9–10 (14 wstrząsów, 7%). Wyzwolona energia była największa w godzinach 4–5 (23%) oraz 19–20 (15%).

W oddziale G-8 w 2007 roku dobowy rozkład ilości i energii wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J wskazuje, że najczęściej wstrząsów wystąpiło w godzinach 5–7 (110 wstrząsów, 12%) i w godzinach 17–20 (67 wstrząsów, 19%) a więc w czasie wyczekiwania. Największa energia wyemitowana została w godzinach 13–15 (27%), w godzinach 5–7 (11%) oraz w godzinach 17–19 (9%) a więc w czasie robót strzałowych i w czasie wyczekiwania. W pozostałych godzinach wstrząsy i ich energia rozkładały się równomiernie.

Na podstawie dobowego rozkładu ilości i energii wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J w oddziale G-8 w 2007 roku, można stwierdzić, że najczęściej silnych wstrząsów zare-

jestrowano w godzinach 5–7 (15 wstrząsów, 11%), 13–15 (22 wstrząsy, 16%) oraz w godzinach 17–19 (18 wstrząsów, 12%). Największa energia pojawiła się w godzinach 13–15 (24%).

Można zauważyć, że szczególnie w układzie ilościowym wyraźnie wyodrębniają się okresy międzymianowe tj. między godzinami: 17–18 (zmiana II), 5–6 (zmiana IV) oraz 13–14 (zmiana I). Po wykonanych robotach strzałowych wyzwał się przeważający procent sumarycznej energii sejsmicznej. W kolejnych godzinach po robotach strzałowych wydatek energii sejsmicznej gwałtownie spada i pozostanie na niskim poziomie. Taki rozkład zaburza wystąpienie jednostkowych silnych samoistnych wstrząsów, których czas wystąpienia rozkłada się losowo w ciągu doby. W oparciu o analizowane dobowe rozkłady ilościowo-energetyczne wstrząsów, można stwierdzić, że obowiązujące czasy wyczekiwania po robotach strzałowych są odpowiednie i w znacznym stopniu przyczyniają się do zmniejszenia zagrożenia tąpnięciami. Skuteczność aktywnych metod zwalczania zagrożenia tąpnięciami w aspekcie bezpieczeństwa pracy oceniana w oparciu o dobowe rozkłady ilości zjawisk oraz wyzwolonej energii sejsmicznej była wysoka w polach G-2 i G-8, gdzie większość zjawisk i ich wyzwoloną energię zarejestrowano w godzinach pomiędzy zmianami i w czasie wyczekiwania po robotach strzałowych, a więc w czasie nieobecności załogi w omawianym rejonie.

5.2. SKUTECZNOŚĆ PROWOKOWANIA WSTRZĄSÓW

Grupowe roboty strzałowe wchodzące w skład aktywnych metod ograniczania zagrożenia tąpnięciami mają na celu wymuszenie emisji energii skumulowanej w górotworze poprzez użycie materiałów wybuchowych (MW). Dla oceny skuteczności robót strzałowych urabiająco-odprężających, przeprowadzono analizy porównawcze ilości i wyzwolonej energii wstrząsów samoistnych oraz sprowokowanych. Procentowy udział ilości wstrząsów sprowokowanych w całkowitej ilości wstrząsów oraz udział ich energii są podstawą oceny aktywnych metod profilaktyki tąpniowej. Większy udział ilości i energii wstrząsów sprowokowanych niż samoistnych świadczy o dobrej skuteczności grupowych robót strzałowych.

W tabeli 1 zaprezentowano ilość oraz energię wstrząsów samoistnych i sprowokowanych o energii $E \geq 10^3$ J oraz $E \geq 10^5$ J zaistniałych w latach 2006–2007 w oddziale G-2 natomiast w tabeli 2 takich wstrząsów w oddziale G-8.

W oddziale G-2 w 2006 roku skuteczność prowokowania wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J w odniesieniu do ilości wstrząsów wyniosła 23%, a w odniesieniu do ich energii 40%. W 2007 roku skuteczność prowokowania w odniesieniu do ilości wstrząsów wyniosła 33%, a więc wzrosła w stosunku do roku 2006. Skuteczność prowokowania wstrząsów w odniesieniu do ich energii spadła w 2007 roku w porównaniu z rokiem 2006 i wyniosła 27%.

W 2006 roku w oddziale G-2, skuteczność prowokowania wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J w odniesieniu do ich ilości wyniosła 27% a w odniesieniu do ich energii wy-

niosła 43%. W 2007 roku skuteczność prowokowania wysokoenergetycznych wstrząsów w odniesieniu do ich ilości była podobna do tej w 2006 roku i wyniosła 26% a skuteczność prowokowania w odniesieniu do energii wstrząsów wyniosła 24% a więc była mniejsza niż w 2006 roku. Spadek skuteczności prowokowania silnych wstrząsów może wiązać się z pogarszającymi się warunkami stropowymi i górnictwymi.

W oddziale G-8 w 2006 roku skuteczność prowokowania wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J w odniesieniu do ich ilości wyniosła 15% a w odniesieniu do ich energii wyniosła 25%. W 2007 roku skuteczność prowokowania wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J w oddziale G-8 w odniesieniu do ich ilości była mniejsza niż w 2006 roku i wyniosła 12% podobnie skuteczność w odniesieniu do energii wstrząsów zmalała do 11%.

W oddziale G-8, w 2006 roku skuteczność prowokowania silnych wstrząsów w odniesieniu do ich ilości wyniosła 15% a w odniesieniu do ich energii skuteczność wyniosła 26%. W 2007 roku skuteczność prowokowania wysokoenergetycznych wstrząsów w oddziale G-8 w odniesieniu do ilości wstrząsów spadła w porównaniu z rokiem 2006 i wyniosła 11%. Podobnie spadła w porównaniu z 2006 rokiem skuteczność prowokowania w odniesieniu do energii i wyniosła 11%.

Tabela 1. Ilość i energia wstrząsów samoistnych i sprowokowanych w latach 2006–2007 w polu XIII/1a oddział G-2 O/ZG „Lubin”

Table 1. Number and energy of natural and provoked tremors in 2006–2007 years in XIII/1a mining panel in G-2 district in “Lubin” mine

		Wstrząsy $E \geq 10^3$ J				
		Rodzaj zjawiska	Ilość	Procentowy udział [%]	Wyzwolona energia [J]	Procentowy udział [%]
2006		samoistne	396	77	3.12E+07	60
		sprowokowane	121	23	2.07E+07	40
	$E \geq 10^5$ J					
		samoistne	52	73	2.53E+07	57
		sprowokowane	19	27	1.87E+07	43
	2007	$E \geq 10^3$ J				
		samoistne	269	67	1.75E+07	72
		sprowokowane	144	33	6.71E+06	28
$E \geq 10^5$ J						
		samoistne	48	74	1.35E+07	76
		sprowokowane	16	26	4.25E+06	24

Można zauważyć, że w roku 2006 w oddziale G-2 miało miejsce o 10% więcej wstrząsów samoistnych niż w roku 2007. W stosunku do roku 2006, w roku 2007

o 10% wzrosła natomiast liczba wstrząsów spowodowanych o energii $E \geq 10^3$ J. Tendencję spadkową zarejestrowano także pod względem wyzwolonej energii wstrząsów spowodowanych. Była ona niższa aż o 13% w stosunku do roku 2006. Analizując wstrząsy wysokoenergetyczne (o energii $E \geq 10^5$ J), widać mniejszy udział wstrząsów spowodowanych (o 3%). Mimo iż pod względem ilościowym różnica ta jest niewielka, procentowy udział wyzwolonej energii wstrząsów samoistnych w roku 2007 jest znacznie większy niż w roku 2006. Różnica ta wynosi aż 19%, a więc energia wstrząsów spowodowanych w roku 2007 spadła o 19% w porównaniu z 2006 rokiem. Z przeprowadzonej analizy wynika, że oddział G-8 (tak samo jak oddział G-2) wykazuje w porównaniu z 2006 rokiem spadek ilości wstrząsów spowodowanych o energii $E \geq 10^3$ J w 2007 o 3%, przy 14% spadku wyzwolonej energii.

Statystyczne zestawienia zarejestrowanych wstrząsów samoistnych oraz spowodowanych za lata 2006/2007 pozwala na sprecyzowanie następujących wniosków. Zauważalny jest niewielki spadek ilości zjawisk dynamicznych w 2007 roku w stosunku do roku 2006. W oddziale G-2 zarejestrowano w 2007 w porównaniu z 2006 rokiem: spadek ilości wstrząsów samoistnych o energii $E \geq 10^3$ J z 396 do 269 (około 10%), wzrost ilości wstrząsów spowodowanych o energii $E \geq 10^3$ J z 121 do 144 (około 10%), wzrost wyzwolonej energii sejsmicznej wstrząsów samoistnych o energii $E \geq 10^3$ J z $2,53 \times 10^7$ J do $1,75 \times 10^7$ J (około 13%), spadek wyzwolonej energii sejsmicznej wstrząsów spowodowanych o energii $E \geq 10^3$ J z $2,07 \times 10^7$ J do $6,71 \times 10^6$ J (około 13%), spadek ilości wstrząsów samoistnych o energii $E \geq 10^5$ J z 52 do 48 (około 3%), spadek ilości wstrząsów spowodowanych o energii $E \geq 10^5$ J z 19 do 16 (około 3%), wzrost wyzwolonej energii sejsmicznej wstrząsów samoistnych o energii $E \geq 10^5$ J z $2,53 \times 10^7$ J do $1,35 \times 10^7$ J (około 19%), spadek wyzwolonej energii sejsmicznej wstrząsów spowodowanych o energii $E \geq 10^5$ J z $1,87 \times 10^7$ J do $4,25 \times 10^6$ J (około 19%), wzrost skuteczności prowokowania wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J w odniesieniu do ich ilości z 23% do 33%, spadek skuteczności prowokowania wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J w odniesieniu do ich energii z 40% do 27%, spadek skuteczności prowokowania wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J w odniesieniu do ich ilości z 27% do 26%, spadek skuteczności prowokowania wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J w odniesieniu do ich energii z 43% do 24%.

W oddziale G-8 zarejestrowano w 2007 w porównaniu z 2006 rokiem: spadek ilości wstrząsów samoistnych o energii $E \geq 10^3$ J z 968 do 808 (około 3%), spadek ilości wstrząsów spowodowanych o energii $E \geq 10^3$ J z 171 do 110 (około 3%), wzrost wyzwolonej energii sejsmicznej wstrząsów samoistnych o energii $E \geq 10^3$ J z $2,84 \times 10^8$ J do $7,85 \times 10^7$ J (około 14%), spadek wyzwolonej energii sejsmicznej wstrząsów spowodowanych o energii $E \geq 10^3$ J z $9,61 \times 10^7$ J do $9,56 \times 10^6$ J (około 14%), udział ilości wstrząsów samoistnych o energii $E \geq 10^5$ J nie uległ zmianie (0%), udział ilości wstrząsów spowodowanych o energii $E \geq 10^5$ J nie uległ zmianie (0%), wzrost wyzwolonej energii sejsmicznej wstrząsów samoistnych o energii $E \geq 10^5$ J

z $2,72 \times 10^8$ J do $6,86 \times 10^7$ J (około 15%), spadek wyzwolonej energii sejsmicznej wstrząsów spowodowanych o energii $E \geq 10^5$ J z $9,36 \times 10^7$ J do $8,28 \times 10^6$ J (około 15%), spadek skuteczności prowokowania wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J w odniesieniu do ich ilości z 15% do 12%, spadek skuteczności prowokowania wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J w odniesieniu do ich energii z 25% do 11%, taką samą skuteczność prowokowania wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J w odniesieniu do ich ilości, spadek skuteczności prowokowania wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J w odniesieniu do ich energii z 26% do 11%. Spadek skuteczności prowokowania wstrząsów w 2007 roku w porównaniu z 2006 rokiem w obydwu oddziałach może być związany z pogarszającymi się warunkami stropowymi oraz coraz bardziej skrzepowanymi warunkami eksploatacji.

Tabela 2. Ilość i energia wstrząsów samoistnych i spowodowanych w latach 2006–2007 w polu XII/5 oddział G-8 O/ZG „Lubin”

Table 2. Number and energy of natural and provoked tremors in 2006–2007 years in XII/5 mining panel in G-8 district in “Lubin” mine

		Wstrząsy $E \geq 10^3$ J				
		Rodzaj zjawiska	Ilość	Procentowy udział [%]	Wyzwolona energia [J]	Procentowy udział [%]
2006		samoistne	971	85	2.84E+08	75
		spowodowane	171	15	9.61E+07	25
	$E \geq 10^5$ J					
		samoistne	181	85	2.72E+08	74
		spowodowane	33	15	9.36E+07	26
	2007	$E \geq 10^3$ J				
		samoistne	808	88	7.85E+07	89
		spowodowane	110	12	9.56E+06	11
$E \geq 10^5$ J						
		samoistne	123	85	6.86E+07	89
		spowodowane	22	15	8.28E+06	11

5.3. SKUTECZNOŚĆ PROWOKOWANIA WSTRZĄSÓW

W OPARCIU O ILOŚĆ I ENERGIĘ WSTRZĄSÓW NATYCHMIASTOWYCH I ZWŁOCZNYCH

W celu ograniczenia występowania zjawisk dynamicznych w kopalni „Lubin”, obowiązuje przestrzeganie po robotach strzałowych, odprężeniach i tąpnięciach wyznaczonych czasów wyczekiwania na podstawie Zarządzenia Wewnętrznego Nr 41/29/02 Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego O/ZG „Lubin” z dnia 25.11.2002 r.

Wskaźnikiem celowości stosowania obowiązujących czasów wyczekiwania po robotach strzałowych może być udział wstrząsów spowodowanych w stosunku do ogólnej ilości zjawisk oraz odpowiadający im udział wyzwolonej energii.

W tabeli 3 zestawiono dane o aktywności sejsmicznej dla wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J w oddziale G-2 i G-8 w odniesieniu do czasu wyczekiwania po grupowych robotach strzałowych w roku 2006 i 2007. W tabeli 4 zestawiono dane o aktywności sejsmicznej dla wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J w oddziale G-2 i G-8 w odniesieniu do czasu wyczekiwania po grupowych robotach strzałowych w roku 2006 i 2007.

Analiza wstrząsów spowodowanych o energii $E \geq 10^3$ J w oddziale G-2 w 2006 roku pozwala stwierdzić, że na 121 spowodowanych wstrząsów o sumarycznej energii $2,07 \times 10^7$ J uzyskano 23 wstrząsy natychmiastowe o energii łącznej $8,58 \times 10^5$ J, 28 wstrząsów o sumarycznej energii $1,10 \times 10^5$ J do 10 sekund po robotach strzałowych, 50 wstrząsów z energią $1,9 \times 10^7$ J w 1 godzinie po robotach strzałowych i 20 o łącznej energii $1,1 \times 10^5$ J w drugiej godzinie po robotach strzałowych. W oddziale G-8 na 171 spowodowanych wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J i sumarycznej wyzwolonej energii $9,61 \times 10^7$ J, uzyskano 34 wstrząsy natychmiastowe o łącznej energii $6,93 \times 10^6$ J, 30 wstrząsów z energią $6,5 \times 10^6$ J w pierwszych 10 sekundach, 77 wstrząsów z energią $7,92 \times 10^7$ J w pierwszej godzinie oraz 30 o łącznej energii $3,80 \times 10^6$ J w drugiej godzinie po robotach strzałowych.

W 2007 roku dla wstrząsów spowodowanych o energii $E \geq 10^3$ J w oddziale G-2 na 144 wstrząsy o łącznej energii $6,71 \times 10^6$ J uzyskano 28 wstrząsów natychmiastowych z energią sumaryczną $2,52 \times 10^6$ J, 53 wstrząsy z energią $1,15 \times 10^6$ J w pierwszych 10 sekundach, 44 wstrząsy o łącznej energii $2,93 \times 10^6$ J w pierwszej godzinie po robotach strzałowych oraz 19 wstrząsów o łącznej energii $1,1 \times 10^5$ J w drugiej godzinie po robotach strzałowych. W oddziale G-8 na 110 spowodowanych wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J i sumarycznej wyzwolonej energii $9,56 \times 10^6$ J, uzyskano 28 wstrząsów natychmiastowych o łącznej energii $7,13 \times 10^5$ J, 16 wstrząsów z energią $2,31 \times 10^6$ J w pierwszych 10 sekundach, 41 wstrząsów z energią $5,27 \times 10^6$ J w pierwszej godzinie oraz 25 o łącznej energii $1,28 \times 10^6$ J w drugiej godzinie po robotach strzałowych.

W 2007 roku dla wstrząsów spowodowanych o energii $E \geq 10^5$ J w oddziale G-2 wśród 16 wstrząsów o łącznej energii $4,25 \times 10^6$ J uzyskano 1 wstrząs natychmiastowy z energią sumaryczną $5,4 \times 10^4$ J, 6 wstrząsów z energią $2,11 \times 10^6$ J w pierwszych 10 sekundach, 6 wstrząsów o łącznej energii $1,14 \times 10^6$ J w pierwszej godzinie po robotach strzałowych oraz 3 wstrząsy o łącznej energii $1,84 \times 10^5$ J w drugiej godzinie po robotach strzałowych. W oddziale G-8 na 22 spowodowane wstrząsy o energii $E \geq 10^5$ J i sumarycznej wyzwolonej energii $8,28 \times 10^6$ J, uzyskano 2 wstrząsy natychmiastowe o łącznej energii $2,2 \times 10^5$ J, 7 wstrząsów z energią $2,77 \times 10^6$ J w pierwszych 10 sekundach, 9 wstrząsów z energią $4,52 \times 10^6$ J w pierwszej godzinie oraz 4 o łącznej energii $7,6 \times 10^5$ J w drugiej godzinie po robotach strzałowych.

Tabela 3. Ilość i energia wstrząsów natychmiastowych i zwłocznych o energii $E \geq 10^3$ J w oddziale G-2 i G-8 O/ZG „Lubin” w latach 2006–2007
 Table 3. Number and energy of intermediate and delayed tremors with energy of $E \geq 10^3$ n G-2 and G-8 mining panels in „Lubin” mine in 2006–2007 years

	Oddział	Wstrząsy o energii $E \geq 10^3$ J				
		natychmiastowe	do 10 s	w 1 h	w 2 h	Ogółem
2006	G-2	23	28	50	20	121
	G-8	34	30	77	30	171
		Wyzwolona energia sejsmiczna [J]				
		natychmiastowe	do 10 s	w 1 h	w 2 h	Ogółem
	G-2	8.58E+05	1.10E+05	1.90E+07	1.10E+05	2.07E+07
	G-8	6.93E+06	6.50E+06	7.92E+07	3.80E+06	9.61E+07
2007		Wstrząsy o energii $E \geq 10^3$ J				
		natychmiastowe	do 10 s	w 1 h	w 2 h	Ogółem
	G-2	28	53	44	19	144
	G-8	28	16	41	25	110
		Wyzwolona energia sejsmiczna [J]				
		natychmiastowe	do 10 s	w 1 h	w 2 h	Ogółem
	G-2	2.52E+06	1.15E+06	2.93E+06	1.10E+05	6.71E+06
	G-8	7.13E+05	2.31E+06	5.27E+06	1.28E+06	9.56E+06

Można stwierdzić, że w badanych oddziałach przeważająca część zjawisk dynamicznych, w tym również silnych wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J, wystąpiła w pierwszej godzinie po przodkowych robotach strzałowych. W drugiej godzinie natomiast w 2006 roku dla wstrząsów sprowokowanych o energii $E \geq 10^5$ J w oddziale G-2 wśród 19 wstrząsów o łącznej energii $1,87 \times 10^7$ J uzyskano 3 wstrząsy natychmiastowe z energią sumaryczną $7,5 \times 10^5$ J, 5 wstrząsów z energią $2,1 \times 10^6$ J w pierwszych 10 sekundach, 8 wstrząsów o łącznej energii $1,58 \times 10^7$ J w pierwszej godzinie po robotach strzałowych oraz 3 wstrząsy o łącznej energii $1,84 \times 10^5$ J w drugiej godzinie po robotach strzałowych. W oddziale G-8 na 33 sprowokowane wstrząsy o energii $E \geq 10^5$ J i sumarycznej wyzwolonej energii $9,36 \times 10^7$ J, uzyskano 5 wstrząsów natychmiastowych o łącznej energii $6,46 \times 10^6$ J, 9 wstrząsów z energią $6,2 \times 10^6$ J w pierwszych 10 sekundach, 13 wstrząsów z energią $7,8 \times 10^7$ J w pierwszej godzinie oraz 6 o łącznej energii $3,20 \times 10^6$ J w drugiej godzinie po robotach strzałowych. Ilość zarejestrowanych zjawisk oraz wydatek ich wyzwolonej energii sejsmicznej był znikomy. Potwierdza to zasadność stosowania obowiązujących czasów wyczekiwania po robotach strzałowych.

Skuteczność aktywnej profilaktyki jest wysoka, gdy sprowokowane zjawiska dynamiczne występują w możliwie najkrótszym czasie po robotach strzałowych oraz

wydatek ich energii jest jak największy. Można powiedzieć, że stopień skuteczności prowokowania zjawisk dynamicznych w celu odprężenia górotworu, określane na podstawie udziału ilości i energii wstrząsów zaistniałych w poszczególnych godzinach czasu wyczekiwania jest wysoki.

Tabela 4. Ilość i energia wstrząsów natychmiastowych i zwłocznych o energii $E \geq 10^5$ J w oddziale G-2 i G-8 O/ZG „Lubin” w latach 2006–2007
Table 4. Number and energy of intermediate and delayed tremors with energy of $E \geq 10^5$ J in G-2 and G-8 mining panels in “Lubin” mine in 2006–2007 years

	Oddział	Wstrząsy o energii $E \geq 10^5$ J				
		natychmiastowe	do 10 s	w 1 h	w 2 h	Ogółem
2006	G-2	3	5	8	3	19
	G-8	5	9	13	6	33
		Wyzwolona energia sejsmiczna [J]				
		natychmiastowe	do 10 s	w 1 h	w 2 h	Ogółem
	G-2	7.50E+05	2.10E+06	1.58E+07	1.84E+05	1.87E+07
	G-8	6.46E+06	6.20E+06	7.80E+07	3.20E+06	9.36E+07
2007		Wstrząsy o energii $E \geq 10^5$ J				
		natychmiastowe	do 10 s	w 1 h	w 2 h	Ogółem
	G-2	1	6	6	3	16
	G-8	2	7	9	4	22
		Wyzwolona energia sejsmiczna [J]				
		natychmiastowe	do 10 s	w 1 h	w 2 h	Ogółem
G-2	5.40E+04	2.11E+06	1.14E+06	1.84E+05	4.25E+06	
G-8	2.20E+05	2.77E+06	4.52E+06	7.60E+05	8.28E+06	

5.4. SKUTECZNOŚĆ AKTYWNEJ PROFILAKTYKI TĄPANIOWEJ NA PODSTAWIE ILOŚCI WYZWOLONEJ ENERGI I ZASTOSOWANEGO MATERIAŁU WYBUCHOWEGO

Do właściwej oceny skuteczności prowokowania wstrząsów robotami strzałowymi polegającymi na jednoczesnym odpaleniu dużej ilości leżących blisko siebie przodków konieczna jest analiza porównawcza ilości i wyzwolonej energii wstrząsów samoistnych i wstrząsów, które wystąpiły w okresie tzw. wyczekiwania po strzelaniu przodków eksploatacyjnych. Te ostatnie, zalicza się powszechnie do wstrząsów sprokrowokowanych odstrzeleniem materiału wybuchowego. W celu zobrazowania wielkości wyzwolonej energii w stosunku do zużytego w tym celu MW wyznaczono umowny wskaźnik wielkości energii wyemitowanej na skutek strzelania ładunkiem materiału wybuchowego, który przedstawiono w tabeli 5.

Aby uzyskać jak największy, czyli najlepszy umowny wskaźnik wielkości energii wyemitowanej na skutek strzelania ładunkiem materiału wybuchowego (w J/kg MW),

należy zastosować jak najmniejszą ilość MW w celu uzyskania jak największej sprokowanej energii sejsmicznej.

Tabela 5. Wyzwolona energia i ilość wykorzystanego materiału wybuchowego w oddziale G-2 i G-8 w O/ZG „Lubin” w latach 2006–2007
Table 5. Energy released and blasting material consumed in G-2 and G-8 mining panels in “Lubin” mine in 2006–2007 years

Wstrząsy $E \geq 10^3$ J 2006						
	Ilość wstrząsów samoistnych	Energia samoistna [J]	Ilość wstrząsów sprokowanych	Energia sprokowana [J]	Ilość MW [kg]	Wskaźnik [J/kg]
G-2	396	3.12E+07	121	2.07E+07	49 602.20	417.32
G-8	971	2.84E+08	171	9.61E+07	186 648.70	514.87
Wstrząsy $E \geq 10^5$ J 2006						
G-2	52	2.53E+07	19	1.87E+07	9 311.60	2 008.25
G-8	181	2.72E+08	33	9.36E+07	30 820.40	3 036.95
Wstrząsy $E \geq 10^3$ J 2007						
G-2	269	1.75E+07	144	6.71E+06	75 315.10	89.09
G-8	808	7.85E+07	110	9.56E+06	76 906.80	124.31
Wstrząsy $E \geq 10^5$ J 2007						
G-2	48	1.35E+07	16	4.25E+06	8 850.70	480.19
G-8	123	6.86E+07	22	8.28E+06	13 539.80	611.53

Mimo, iż grupowe strzelanie przodków jest elementem stosowanego w LGOM systemu eksploatacji złoża, to w oparciu o analizę bilansu przemian energetycznych nie sposób nie uwzględnić wpływu odstrzelenia w latach 2006–2007 w obydwu oddziałach sumarycznego ładunku około 451 Mg materiału wybuchowego na wielkość energii wtórnej, wynikającej przede wszystkim z koncentracji naprężeń w sąsiedztwie wyrobisk górniczych.

Można zauważyć w oddziale G-2 i w oddziale G-8 spadek sumarycznej energii wstrząsów zarówno tych o energii $E \geq 10^3$ J jak i wysokoenergetycznych, jakie miały miejsce w okresie wyczekiwania po robotach strzałowych w 2007 roku w stosunku do roku 2006, co pozwala na sformułowanie tezy odnośnie możliwości sterowania wstrząsami górotworu za pomocą odpowiednich robót strzałowych. Umiejętne sterowanie wstrząsami górotworu, przy odpowiednio wyznaczonym czasie wyczekiwania po użyciu aktywnych metod ograniczania zagrożenia tąpniętami zmierza bez wątpienia do poprawy skuteczności czynnej profilaktyki tąpniowej. Dowodem poprawy skuteczności prowokowania górotworu robotami strzałowymi może być wzrost wskaźnika wielkości energii wyemitowanej na skutek strzelania ładunkiem materiału wybuchowego.

W 2006 roku w oddziale G-2 umowny wskaźnik energii dla wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J wyniósł 417,32 J/kg, a w 2007 roku spadł do 89,09 J/kg.

W 2006 roku w oddziale G-2 umowny wskaźnik energii dla wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J wyniósł 2008,25 J/kg, a w roku 2007 spadł do 480,19 J/kg.

W oddziale G-8 w 2006 roku umowny wskaźnik energii dla wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J wyniósł 514,87 J/kg, a w 2007 roku spadł do 124,31 J/kg.

W 2006 roku w oddziale G-8 umowny wskaźnik energii dla wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J wyniósł 3036,95 J/kg a w 2007 roku spadł do 611,53 J/kg.

Porównując wskaźnik energii dla wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J w oddziale G-2 i G-8 w 2006 roku, można zauważyć, że są one porównywalnej wielkości 417,32 J/kg w G-2 i 514,87 J/kg w G-8. Również wskaźnik energii dla wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J w obydwu oddziałach jest tego samego rzędu 2008,24 J/kg w G-2 i 3036,95 J/kg w G-8.

W 2007 roku umowny wskaźnik energii dla wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J znacznie zmalał, około pięciokrotnie, w porównaniu do roku 2006 w obydwu oddziałach i wyniósł 89,09 J/kg w oddziale G-2 i 124,31 J/kg w G-8.

W 2007 roku podobnie około pięciokrotnie zmalał w porównaniu z rokiem 2006 w obydwu oddziałach umowny wskaźnik energii dla wstrząsów wysokoenergetycznych i wyniósł 480,19 J/kg w oddziale G-2 oraz 611,53 J/kg w G-8.

Przedstawiony powyżej spadek wielkości umownego wskaźnika energii w 2007 roku w porównaniu z rokiem 2006 w obydwu oddziałach może świadczyć o pogorszeniu się skuteczności prowokowania wstrząsów grupowymi robotami strzałowymi. Pogorszenie skuteczności prowokowania wstrząsów mogło być spowodowane pogarszającymi się warunkami stropowymi oraz coraz bardziej skrępowanymi warunkami eksploatacji złoża.

6. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych analiz aktywności sejsmicznej w latach 2006–2007 można stwierdzić, że grupowe roboty strzałowe dość skutecznie prowokują występowanie znacznej ilości wstrząsów wysokoenergetycznych górotworu w badanych polach eksploatacyjnych. Uwzględniając jednak fakt, że prowokujące strzelania przodków są elementem systemów eksploatacji złoża i mają miejsce na poziomie furty eksploatacyjnej (strzelania urabiające), nie może budzić wątpliwości potrzeba ciągłego doskonalenia techniki strzałowej oraz wprowadzenie do praktyki robót strzałowych prowokujących górotwór w sąsiedztwie ognisk wstrząsów, w sztywnych warstwach stropu zasadniczego złoża, jak też w rejonach zaburzeń tektonicznych.

LITERATURA

- [1] BUTRA J., *Rozwój metod profilaktyki tąpniowej w górnictwie rud miedzi*, Materiały konferencyjne Międzynarodowego Sympozjum Naukowo-Technicznego Tąpniowa, Ustroń 2002.
- [2] BUTRA J., KICKI J., *Ewolucja technologii eksploatacji złóż rud miedzi w polskich kopalniach*, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, IGSMiE PAN, Kraków 2003.
- [3] GOSZCZ A., *Elementy mechaniki skał oraz tąpniowa w polskich kopalniach węgla i miedzi*, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej nr 2, Kraków 1999.
- [4] KŁECZEK Z., *Grupowe strzelanie przodków jako element profilaktyki tąpniowej kopalniach rud miedzi LGOM*, Kraków 2004.

EFFECTIVENESS OF ACTIVE ROCKBURST PREVENTION METHOD
IN SELECTED MINING PANELS OF LUBIN COPPER ORE MINE

Rockburst prevention methods used in 2006–2007 in two mining panels XIII/1a/G-2 and XII/5/G-8 of Lubin copper ore mine were presented in the paper. Mining-and-geological conditions as well as seismic activity were depicted. The effectiveness of active methods for rockburst hazard limitation was evaluated by means of seismological data. The number and energy of tremors provoked with blasting, the number of intermediate and delayed provoked tremors, the amount of blasting material used to release one unit of seismic energy and 24-hour-distribution of seismic activity were analysed in relation to mining-and-geological conditions to determine how effective active rockburst prevention methods were.

