

DUBIŃSKI JÓZEF
Główny Instytut Górnictwa
ANTONI TAJDUŚ, MAREK CAŁA
AGH, Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki
ADAM LURKA
Główny Instytut Górnictwa

Korelacja wyników geofizycznych i geomechanicznych w rejonie wystąpienia tąpnięcia w ZG Lubin w dniu 4.08.2003

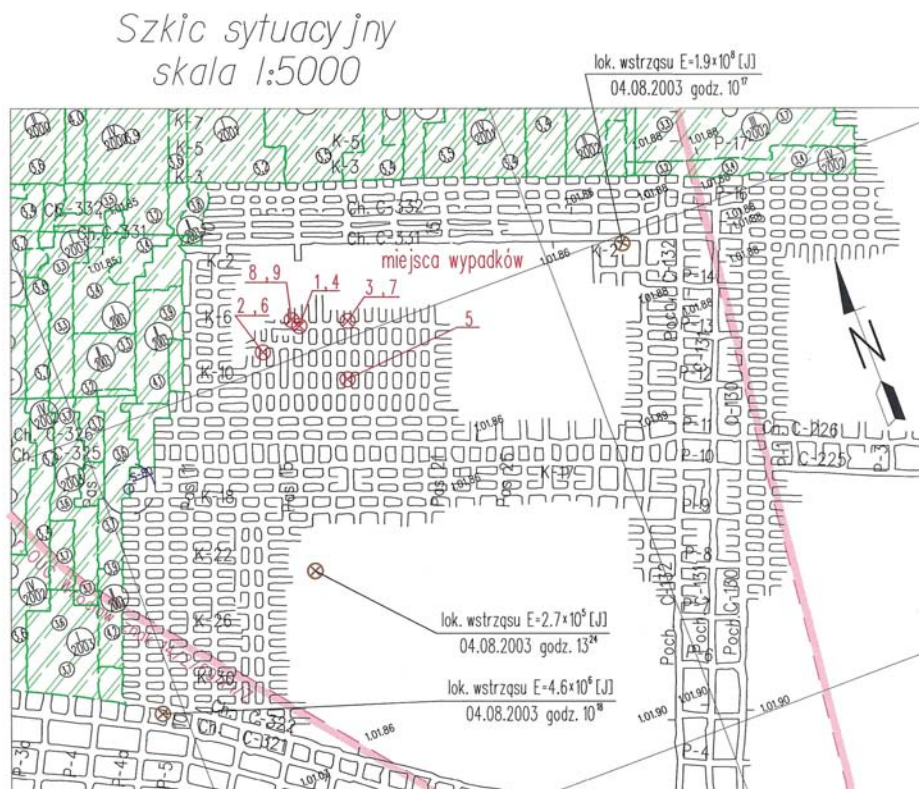
STRESZCZENIE: Na przykładzie wysokoenergetycznego zjawiska sejsmicznego o energii sejsmicznej $E=1.9 \cdot 10^8 \text{J}$ jakie wystąpiło w dniu 4 sierpnia 2003 roku w kopalni rudy miedzi O/ZG „Lubin” oraz towarzyszącego mu tąpnięcia w oddziale G-8, przedstawiono wyniki badań geofizycznych i geomechanicznych. Badania geofizyczne oparte były na wykorzystaniu techniki pasywnej tomografii sejsmicznej, która wykorzystuje dane pomiarowe zarejestrowane przez kopalnianą sieć sejsmologiczną. Źródłem wzbudzenia fali sejsmicznej są zlokalizowane ogniska wstrząsów związane z wstrząsogenną warstwą górotworu, natomiast punkty odbioru stanowią poszczególne stanowiska sieci sejsmologicznej. Odtworzenie pola prędkości rozchodzenia się fali sejsmicznej typu podłużnego P oraz analiza jego rozkładu pozwala na identyfikację stref o wysokim zagrożeniu sejsmicznym oraz na obserwowanie zmiany ich położenia i intensywności w czasie. Dla analizy stanu naprężenia w górotworze w rejonie gdzie wystąpiły skutki tąpnięcia przeprowadzono przestrzenne obliczenia numeryczne. Przeprowadzona korelacja wyników uzyskanych tymi dwoma metodami wskazuje na możliwość stworzenia nowej, kompleksowej metody oceny stanu zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tąpnięciami przydatnej w warunkach kopalń rud miedzi KGHM „Polska Miedź” S.A.

1. Wprowadzenie

Ustalenie genezy zjawiska sejsmicznego, które było bezpośrednią przyczyną zaistnienia tąpnięcia, a w jego następstwie wypadku zbiorowego, w tym zdarzeń śmiertelnych, jest zazwyczaj kluczowym problemem dla dalszego projektowania eksploatacji w danym rejonie kopalni. Stanowi także podstawę dla opracowania zakresu zabezpieczających działań, a tym profilaktyki tapaniowej. Tego typu sytuacja wystąpiła w wyniku zaistnienia tąpnięcia w kopalni rud miedzi KGHM „Polska Miedź” S.A, a mianowicie w O/ZG Lubin w oddziale G-8. W wyniku wstrząsu górotworu w dniu 4 sierpnia 2003r. o godz. 10¹⁷, o energii sejsmicznej $E = 1.9 \cdot 10^8 \text{J}$ nastąpiło tąpnięcie o znaczących rozmiarach skutków, w wyniku którego śmierć poniosło 3 górników, 2 uległo wypadkom ciężkim, a 4 wypadkom lekkim. Szkic sytuacyjny miejsca wypadku przedstawia rys.1.

Stąd też problem ustalenia genezy zjawiska sejsmicznego jak i samego tąpnięcia był przedmiotem specjalistycznych analiz geofizycznych oraz geomechanicznych, których zakres, istotę oraz uzyskane wyniki przedstawiono w niniejszym referacie. Kompleksowe przeprowadzenie badań pozwala tutaj na korelacyjną analizę uzyskanych wyników, a tym samym na większą wiarygodność wnioskowania o przyczynach i charakterze zaistniałych zjawisk. Należy podkreślić, że wykorzystane dane geofizyczne zostały przetworzone według specjalistycznych, niestandardowych procedur, które pozwalają na maksymalną

ekstrakcję informacji użytecznych do wnioskowania o genezie zaistniałego wysokoenergetycznego zjawiska sejsmicznego. Również wyniki obliczeń geomechanicznych, z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania komputerowego, rzucają nowe światło na samą genezę zjawiska tąpnięcia jak i na dotychczasowy przebieg eksploatacji górniczej prowadzonej w rejonie jego zaistnienia.



Rys. 1. Szkic sytuacyjny miejsca wypadku

2. Analiza oceny zagrożenia sejsmicznego metodą tomografii pasywnej w okresie przed tąpnięciem

Do oceny zagrożenia sejsmicznego w kopalniach podziemnych coraz częściej stosuje się metodę tomografii (prześwietlanie masywu skalnego, przez który przebiegają fale sejsmiczne, połączone ze specjalistyczną interpretacją i analizą rozkładu parametrów sejsmicznych) [2,6]. W przypadku tomografii pasywnej wykorzystuje się rejestrację zjawisk sejsmicznych uzyskiwane przez sieć sejsmologiczną. Ogniska wstrząsów stanowią źródła inicjacji fal sejsmicznych, a stanowiska sejsmologiczne są punktami ich odbioru. Od strony matematycznej i algorytmów obliczeniowych tomografia pasywna jest dużo bardziej skomplikowaną procedurą obliczeniową od tomografii sejsmicznej aktywnej, gdzie jako źródła wzbudzania fali sejsmicznej wykorzystywane są strzelania ładunkami MW [1,11].

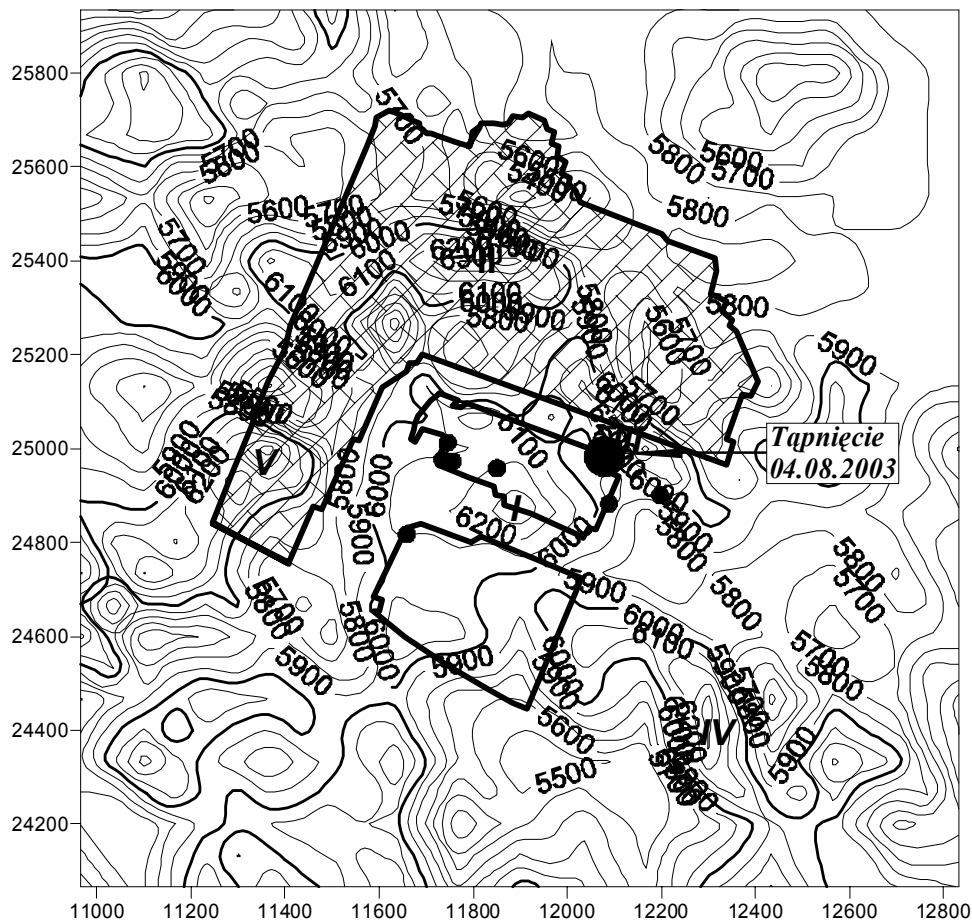
W praktyce wykorzystanie zdjęć tomograficznych badanego górotworu polega na porównywaniu obrazów pola prędkości w przemieszczających się oknach czasowych, co pozwala na śledzenie zmian położenia obszarów potencjalnego zagrożenia sejsmicznego oraz zmian w ich intensywności. W tym sensie metoda tomografii pasywnej pozwala prognozować w określonym czasie potencjalne zagrożenie sejsmiczne na podstawie rzeczywistych danych pomiarowych [3,4]. Tym właśnie metoda ta różni się od innych metod, gdzie z reguły korzysta się z pomiarów punktowych, a więc ocena odnosi się tylko do miejsca pomiaru i jego bezpośredniego otoczenia.

W procesie obliczeniowym pola prędkości do poszukiwania minimum funkcjonału zastosowano algorytmy ewolucyjne. Należy podkreślić, że w metodyce obliczeń ogniska wstrząsów podlegają relokalizacji, w miarę coraz lepszej optymalizacji pola prędkości [5]. Ponadto, w algorytmie obliczeniowym wprowadzono możliwość uwzględniania zmiennych rozmiarów geometrii siatki obliczeniowej w modelu prędkościowym ośrodka skalnego.

Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że hipocentra ognisk silnych wstrząsów górotworu związane są z reguły ze strefami charakteryzującymi się wysokimi wartościami prędkości propagacji fali podłużnej P w ośrodku skalnym oraz przede wszystkim ze zboczami stref anomalnych, na których występują duże gradienty zmian pola prędkości [3,12,13]. Innymi słowy najsilniejsze wstrząsy górnicze powinny lokalizować się w strefach o podwyższonej koncentracji naprężeń lub o największych odkształceniach (zarówno rozciągających jak i ściskających), szczególnie takich gdzie skały są sztywne i mocne, zdolne do magazynowania znacznych wartości energii odkształcenia. Z kolei strefy o bardzo niskich wartościach prędkości rozchodzenia się fali sejsmicznej P korelują się ze strefami o słabej sejsmiczności. Mogą one powstawać w górotworze o niskich wartościach parametrów fizykomechanicznych, ale także jako efekt wcześniejszego zniszczenia struktury ośrodka skalnego wskutek zaistniałych w przeszłości silnych wstrząsów i tąpnięć [12,13]. Układ pola prędkości jest dynamiczny i ulega zmianom, szczególnie wyraźnie w rejonach, w których prowadzona jest eksploatacja. Dlatego analizy zagrożenia najlepiej jest wykonywać cyklicznie i śledzić kierunki jego zmiany.

Wykorzystując metodykę sejsmicznej tomografii pasywnej i podane powyżej podstawowe zasady analizy jakościowej zdjęć tomograficznych dokonano rekonstrukcji rozkładu pola prędkości rozchodzenia się fali sejsmicznej podłużnej w badanym fragmencie górotworu w O/ZG „Lubin”, dla fazy rozwoju eksploatacji na dzień 24 lipca 2003 roku. Do oceny zagrożenia sejsmicznego w oddziale G-8 wykorzystano zbiór wstrząsów sejsmicznych, jakie wystąpiły w tym oddziale oraz innych oddziałach eksploatacyjnych O/ZG „Lubin”. Wyniki tej analizy przedstawiono poniżej.

Na rysunku 2 przedstawiona jest mapa pola prędkości fali sejsmicznej podłużnej P, którą można wiązać z wstrząsogennym horyzontem wytrzymałych skał stropowych, wraz z zaznaczonymi strefami o podwyższonych wartościach prędkości. Analiza tego obrazu wskazuje, że wartości prędkości w rejonie oddziału G-8 zawierają się w granicach prędkości od 5700 do 6400 m/s. Są to wartości wysokie, w wielu miejscach wyraźnie przekraczające średnią wartość prędkości w badanym obszarze, wynoszącą 5800 m/s. W obrazie prędkości uzyskanym na dzień 24 lipca 2003r wydzielono 5 głównych stref anomalnych charakteryzujących się podwyższonymi wartościami prędkości, a także wysokimi gradientami zmian prędkości.



Rys.2. Mapa pola prędkości wyznaczona dla oddziału G-8 na dzień 24 lipca 2003r. z zaznaczonymi strefami podwyższonych prędkości w rejonie badań

Strefa I - jest to obszar który znajduje się na granicy rozciętych filarów i calizny pola XII/1, powyżej chodnika C-325. Centralny obszar tej strefy o najwyższych prędkościach (ponad 6300 m/s) i największej anomalii sejsmicznej (ponad 8%) znajduje się na wysokości komory K-13 (rejon współrzędnych X=24900 i Y=11850). Strefa ta rozciąga się dalej zgodnie z kierunkiem linii frontu do wysokości pasa 2c. W granicach wysokich prędkości powyżej 6200 m/s, strefa ta rozciąga się około 100m w każdą stronę. Obniżenie prędkości do 6000m/s ma miejsce w kierunku południowym w granicach między pasami 12 i 22. W kierunku północnym strefa o prędkościach powyżej 6000m/s przechodzi przez caliznę, aby następnie na wysokości pasa 7c przejść w kolejną strefę o najwyższych prędkościach oznaczoną numerem II. Ze względu na położenie strefy I w bezpośrednim sąsiedztwie prowadzonych frontów eksploatacyjnych, strefa I jest głównym miejscem potencjalnego zagrożenia sejsmicznego i występowania aktywności sejsmicznej.

Strefa II – jest zlokalizowana w zrobach oddziału G-8. W rejonie zrobów pole prędkości osiąga wartości 6100-6400 m/s. Strefa ta również może być źródłem lokalnej aktywności sejsmicznej.

Strefa III - jest umiejscowiona w rejonie przecięcia się chodników C-331 i C-332 z pasem 30, w północno wschodniej części pola XII/1. Strefa ta zachodzi od strony północnej na zroby, a od strony południowej dochodzi do calizny (współrzędne centrum tej strefy wynoszą $X=25000$ i $Y=12100$). Charakteryzuje się ona prędkościami fal sejsmicznych na poziomie 6100-6400 m/s i anomalii sejsmicznej 6-8%.

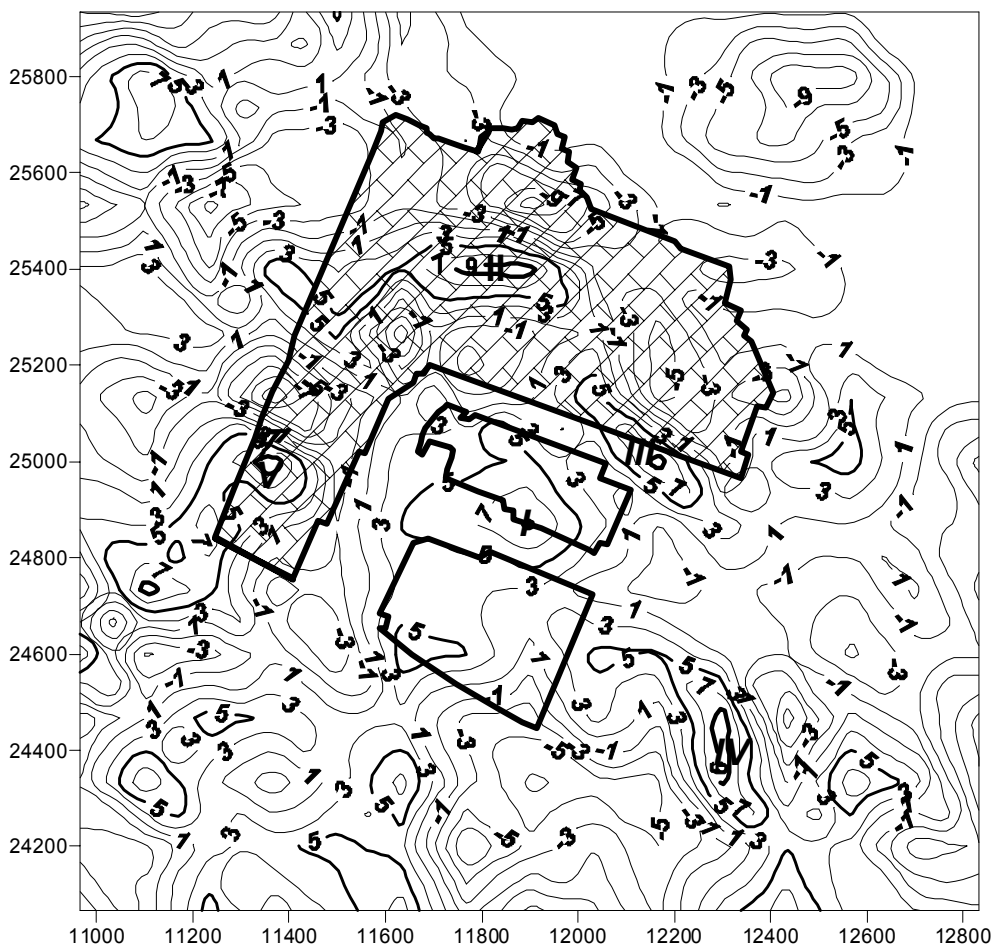
Strefa IV - występuje w polu XII/3 w kierunku na południowo-wschodnim od pola XII/1. Rozciąga się pomiędzy przecinkami P-4 i P-6, na wysokości chodnika C-221. Strefa ta występuje w dużej odległości od aktualnie prowadzonej eksploatacji w polu XII/1 i dlatego nie powinna stanowić dla niej zagrożenia sejsmicznego.

Strefa V - znajduje się w zrobach (centrum maksymalnych prędkości występuje w rejonie o współrzędnych $X=25000$ i $Y=11400$) i rozciąga się w kierunku południowo-zachodnim, w rejon chodników 321a-321c. W obszarze tej strefy mogą występować pojedyncze wstrząsy, jednak strefa ta, z uwagi na swoje położenie, nie powinna stanowić zagrożenia dla prac górniczych w polu XII/1.

Ponadto, na rysunku 2 przedstawiono położenie ognisk wstrząsów z oddziału G-8 jakie zaistniały w okresie od 20.07.2003r. do czasu tąpnięcia w dniu 04.08.2003r. Należy zauważyć, że ogniska tych wstrząsów układają się, zgodnie z prognozą tomograficzną, w rejonie stref I i III, a sam wstrząs, który wywołał tąpnięcie w oddziale G-8 wystąpił w rejonie strefy III (rys. 2).

Z kolei na rys.3 przedstawiono rozkład izolinii anomalii sejsmicznej dla fali P, który wskazuje, podobnie jak obraz pola prędkości, na występowanie obszarów największego zagrożenia sejsmicznego ze strony strefy I, II i III. Strefy I i III znajdują się w pobliżu prowadzonych aktualnie frontów eksploatacyjnych w polu XII/1. Z analizy rys.2 i 3 widać, że nastąpiło przemieszczenie się strefy podwyższonych prędkości w kierunku rozciętych filarów i calizny pola XII/1 powyżej chodnika C-325 (odpowiada to rejonowi skutków tąpnięcia z dnia 04.08.2003r) oraz utworzenie się wyraźnej strefy anomalnej w rejonie przecięcia się chodników C-331 i C-332 z pasem 30, w północno wschodniej części pola XII/1 i zachodzącej od strony północnej na zroby (jest to rejon w którym zlokalizowano ognisko wstrząsu będącego przyczyną tąpnięcia).

Zatem można stwierdzić, że tomografia pasywna wykonana w dniu 24 07.2003r., a więc na 10 dni przed datą tąpnięcia, wskazuje na występowanie wyraźnych niejednorodności w górotworze wyrażonych przez podwyższone pole prędkości (pośrednio podwyższony stan naprężeń) zarówno w miejscu powstania ogniska wstrząsu z dnia 04.08.2003r. jak i w miejscu skutków tąpnięcia wywołanego tym wstrząsem. Dowodzi to, że wyniki badań tomograficznych mogą dostarczać wyprzedzającej oceny odnośnie stanu zagrożenia sejsmicznego w poszczególnych fazach rozwoju eksploatacji.



Rys.3. Mapa rozkładu izolinii anomalii sejsmicznych w rejonie oddziału G-8 wyznaczona na dzień 24.07.2003r. wraz z zaznaczonymi strefami o podwyższonych wartościach anomalii.

Oceniając przydatność metody tomografii pasywnej w przedstawionym zakresie, a także w odniesieniu do lokalizacji ogniska wstrząsu, należy jednoznacznie stwierdzić, że żadna inna metoda nie wskazywała na zagrożenie sejsmiczne występujące w zrobach, a więc tam gdzie wystąpiło ognisko wstrząsu o energii sejsmicznej $E=19 \cdot 10^8$ J (strefa III). Analizując lokalizację skutków tąpnięcia wywołanego tym wstrząsem należy zauważyć, że były one wyraźnie przesunięte od strefy ogniska w kierunku zachodnim do linii frontu. Jednak z obrazu tomografii pasywnej obliczonego na dzień 24 lipca 2003r. widocznym jest, że w bezpośrednim sąsiedztwie frontu robót górniczych istniało pole wysokich prędkości fali sejsmicznej. Tak więc jeśli do wysokich naprężeń eksploatacyjnych (statycznych) został dodany silny impuls naprężenia dynamicznego, mogło to prowadzić do dynamicznego zniszczenia ośrodka skalnego, czyli do tąpnięcia. W takim przypadku uzyskany obraz tomograficzny stosunkowo dobrze tłumaczy odległe położenie miejsca skutków tąpnięcia w stosunku do położenia ogniska wstrząsu. Warunkiem koniecznym

zaistnienia takiego przebiegu zjawiska jest odpowiedni mechanizm ogniska wstrząsu decydujący o wyraźnym ukierunkowaniu wyzwolonego impulsu dynamicznego w obrębie bliskiego pola falowego na obszar robót górniczych [5, 10].

3. Obliczenia numeryczne stanu naprężenia i wyężenia w rejonie oddziału G-8

3.1. Opis modelu numerycznego

Celem przeprowadzonych obliczeń było określenie stanu naprężenia w rejonie oddziału G-8, w O/ZG „Lubin”. W tym celu został zbudowany przestrzenny model numeryczny obejmujący wycinek górotworu zawierający analizowany rejon. Model ten stanowiła prostopadłościenna kostka podparta u dołu i po bokach oraz obciążona od góry obciążeniem ciągłym wynikającym z grawitacji. Problem analizowano w przestrzennym stanie odkształcenia i naprężenia. Na bocznych oraz dolnej krawędziach tarczy przyjęto warunki przemieszczeniowe. Na obu bocznych krawędziach założono zerowe przemieszczenia poziome, zaś na dolnej zerowe przemieszczenia pionowe. Do krawędzi górnej przyłożono ciśnienie 12.323 MPa wynikające z grawitacji. Przyjęto model górotworu w oparciu o dostępne dane z profilu geologicznego. Poniżej furty eksploatacyjnej zalegają grube warstwy piaskowców spągowych, natomiast powyżej zalega warstwa dolomitów wapienistych szaro-beżowych o miąższości 5m, a następnie gruba warstwa wapieni szaro-beżowych o grubości 21 m. Ponad nią z kolei występuje warstwa dolomitów popielato-beżowych o grubości 36 m, a następnie warstwa anhydrytów o miąższości 174 m.

Wszystkie obliczenia numeryczne dla potrzeb niniejszego artykułu przeprowadzono z zastosowaniem programu Metody Różnic Skończonych FLAC3D [7,8,9].

Podstawowe parametry odkształceniowe i wytrzymałościowe warstw skalnych oraz własności elementów obudowy przyjęte do obliczeń zamieszczono w tablicy 1.

Tablica 1. Podstawowe parametry modelu obliczeniowego

Parametr		Wartość				
Wymiary tarczy		1200 m x 1200m x 340 m				
Warunki brzegowe		Mieszane				
Model ośrodka		sprężysto-plastyczny C-M				
Parametry górotworu						
Warstwa	Gęstość objętościowa kg/m ³	Moduł Younga MPa	Liczba Poissona	Kohezja MPa	Kąt tarcia wewnętrz., stopnie	Wytrzymałość na rozciąganie MPa
Piaskowce spągowe	2150	5000	0.25	1.5	30	1
Furta	2250	6000	0.23	1.8	32	1.2
Dolomity szaro-beżowe	2750	5000	0.25	2	33	1.5
Wapienie szaro-beżowe	2700	7000	0.22	2.5	33	2

Dolomity popielato-beżowe	2750	8000	0.23	3	34	2.5
Anhydryty	2860	8000	0.22	4	35	3.5

Dla tak zbudowanego modelu numerycznego przeanalizowano trzy warianty odpowiadające wybranym stanom eksploatacji. Wariant 1 dla stanu eksploatacji na dzień 04.03.2003r - zwany dalej stanem I. Wariant 2 dla stanu eksploatacji na dzień 01.07.2003r - zwany stanem II. Wariant 3 dla stanu eksploatacji na dzień 05.08.2003r - zwany stanem III.

Z powodu ograniczonej objętości referatu poniżej skupiono się na analizie rozkładów współczynnika koncentracji naprężeń pionowych. Współczynnik ten określany jest za pomocą zależności [14]:

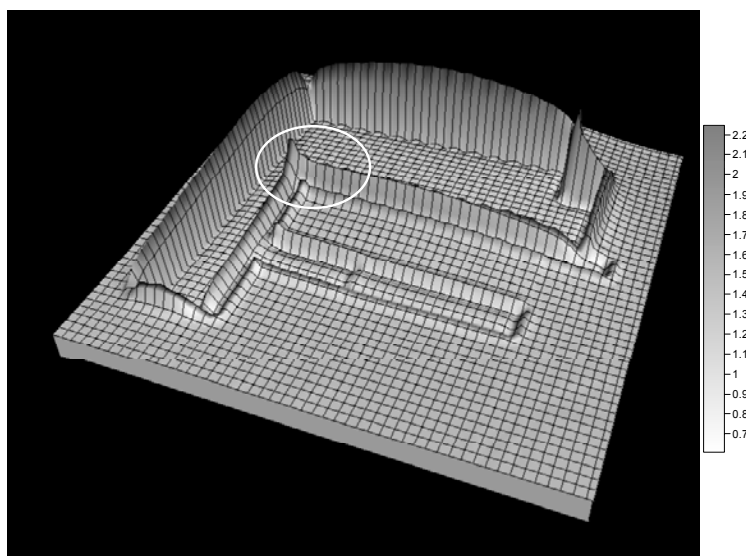
$$\alpha = \frac{\sigma_z}{p_z}$$

gdzie:

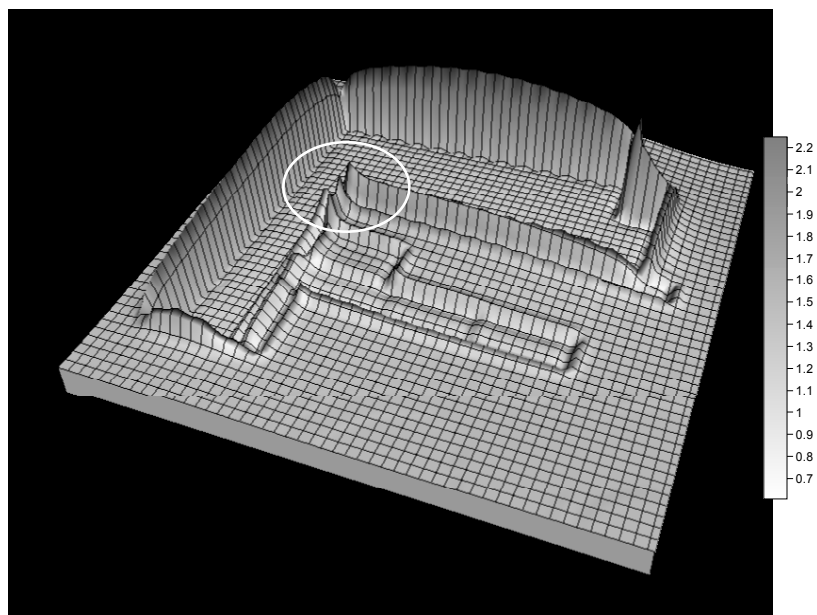
σ_z - naprężenie pionowe wywołane działalnością górnictw,

p_z - pierwotne naprężenie pionowe.

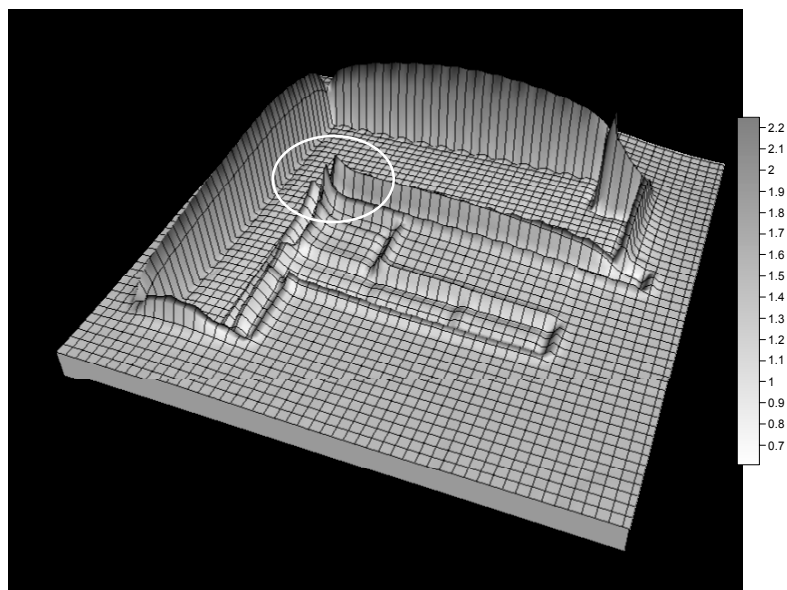
Na kolejnych rys.4 - 6 przedstawiono rozkłady tzw. współczynnika koncentracji naprężeń pionowych, w przekroju odległym o 2.5 m od stropu, dla kolejnych stanów eksploatacji (I, II i III).



Rys 4. Rozkład współczynnika α w przekroju odległym o 2.5 m od stropu dla stanu I



Rys 5. Rozkład współczynnika α w przekroju odległym o 2.5 m od stropu dla stanu II



Rys 6. Rozkład współczynnika α w przekroju odległym o 2.5 m od stropu dla stanu III

Maksymalne wartości współczynnika koncentracji naprężeń α równe około 1,95 dla stanu I, występują w rejonie pasów 7 i 9 oraz komór K2-K7. Na rys. 4 widoczne są

wyraźnie dwa piki (zaznaczone białą elipsą), występujące w rejonie krzyżowania się krawędzi zrobów pola XII/1 i XII/2.

Dla rozpatrywanego stanu II maksymalne wartości współczynnika koncentracji naprężeń α , równe około 1,96, występują w rejonie pasa 11a oraz komór K2-K7. Na rys.5 widać wyraźnie dwa duże piki oraz jeden mniejszy (zaznaczone białą elipsą) występujące w rejonie krzyżowania się krawędzi zrobów pola XII/1 i XII/2.

Dla stanu III maksymalne wartości współczynnika α nieznacznie spadają osiągając $\alpha = 1.92$ i występują w rejonie pasa 11a oraz komór K2-K7. Na rys.6 widać wyraźnie trzy duże piki (zaznaczone białą elipsą) występujące w rejonie krzyżowania się krawędzi zrobów pola XII/1 i XII/2. Należy podkreślić, że skutki tąpnięcia wystąpiły w bezpośrednim sąsiedztwie zlokalizowanych stref koncentracji naprężeń.

Oceniając uzyskane wyniki modelowania, należy zauważyć, że przeprowadzone przestrzenne obliczenia numeryczne, uwzględniały skomplikowane warunki geologiczne i techniczne panujące w rozpatrywanym rejonie. Tak więc wyniki powinny się charakteryzować dobrą zgodnością z rzeczywistością. Obliczenia prowadzono, biorąc pod uwagę, rozwój eksploatacji w analizowanym oddziale, w okresie ostatnich kilku miesięcy przed zaistnieniem tąpnięcia. W wyniku przeprowadzonych obliczeń zlokalizowano strefy koncentracji naprężeń, które prawdopodobnie były przyczyną wystąpienia tąpnięcia. Widać także wyraźnie, że zmiana kierunku eksploatacji oraz stopniowe zbliżanie się frontu do zrobów, spowodowało istotny wzrost wartości poszczególnych składowych stanu naprężenia.

Korelacja przedstawionych wyników obliczeń numerycznych z wynikami analiz geofizycznych zrealizowanych techniką sejsmicznej tomografii pasywnej wskazuje na co najmniej dobrą zgodność rezultatów obydwu metod. W szczególności dotyczy to strefy gdzie miały miejsce skutki tąpnięcia. Ma tutaj miejsce nie tylko zgodność położenia stref anomalnych, ale także zbliżone są wskazania co do intensywności tych stref, czyli do koncentracji naprężeń.

Zachęcające wyniki obliczeń i analiz wykonanych obydwoma przedstawionymi sposobami wskazują na możliwość stworzenia nowej, kompleksowej metody analizy stanu zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tąpnięciami przy eksploatacji złóż rud miedzi. Metoda ta uwzględniałaby zarówno wyniki przestrzennych analiz numerycznych jak i sejsmicznej geotomografii pasywnej. Wyniki te wskazują, że byłaby to metoda szczególnie przydatna do wyprzedzającej lokalizacji stref zagrożenia wstrząsami i tąpnięciami w kopalniach rud miedzi KGHM „Polska Miedź” S.A.

4. Wnioski

1. Metoda sejsmicznej tomografii pasywnej potwierdza, że jest obecnie najbardziej informatywną metodą w zakresie wyprzedzającego rozpoznania stref zagrożenia sejsmicznego, a także zmian w ich obrębie pod wpływem rozwijającej się eksploatacji. Zdjęcia tomograficzne uzyskane w przypadku oddziału G-8 O/ZG „Lubin” jednoznacznie wskazują na potencjalne miejsca zagrożenia sejsmicznego, co w pełni potwierdzają zarejestrowane wstrząsy.
2. W przypadku analizowanego wstrząsu z dnia 04.08.2003r., o energii sejsmicznej $E=1,9 \cdot 10^8 \text{J}$ żadna inna metoda nie wskazywała tak wyraźnie na strefę zagrożenia sejsmicznego w miejscu wystąpienia ogniska wstrząsu..

3. Przeprowadzone modelowanie numeryczne pozwala na identyfikację stref podatnych na zagrożenie skutkami tąpnięcia, będących zazwyczaj strefami charakteryzującymi się dużymi koncentracjami poszczególnych składowych tensora naprężenia.
4. Z analizy modeli numerycznych widać wyraźnie, że zmiana kierunku eksploatacji oraz stopniowe zbliżanie się frontu do zrobów, powoduje istotny wzrost wartości poszczególnych składowych stanu naprężenia.
5. Przeprowadzona jakościowa korelacja wyników badań geofizycznych i modelowania numerycznego wskazuje, że zastosowane metody które dobrze się uzupełniają i dają właściwy obraz rozwoju zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tapaniami w miarę postępującej eksploatacji złoża.
6. Zachęcające wyniki obliczeń obydwoma przedstawionymi sposobami wskazują na możliwość stworzenia nowej, kompleksowej metody analizy stanu zagrożenia tapaniami przy eksploatacji rud miedzi.

5. Literatura

1. Aki K., Lee W.H.K.: 1976 - *Determination of three-dimensional velocity anomalies under a seismic array using first P arrival times from local earthquakes*, J. Geophys. Res. No 81, pp. 4381-4399.
2. Dubiński J., Drzewiecki J. i Siata R.: 1998 - *Zasady wykorzystania geotomografii i metody analitycznej w ocenie zagrożenia tapaniami metodą kompleksową*, Prace Naukowe GIG, seria: Konferencje nr.26, Katowice, str. 25-35
3. Dubiński J., Lurka A. i Mutke G.: 1998 - *Zastosowanie metody tomografii pasywnej do oceny zagrożenia sejsmicznego w kopalniach*, Przegląd Górniczy nr. 3,
4. Dubiński J., Mutke G. i Lurka A.: 2000 - *Monitorowanie zagrożenia sejsmicznego rejonu ściany N-303/507 w KWK „Bielszowice” przy użyciu metody tomografii pasywnej*. Materiały XXIII Zimowej Szkoły Mechaniki Górniczej, AGH- Kraków, str.55-62.
5. Dubiński J., Mutke G., Stec K., 1999 - *Rozwiązania w seismologii górniczej poprawiające efektywność oceny stanu zagrożenia tapaniami*, Geologia, T.25, Wydawnictwo AGH, Kraków.
6. Dubiński J.: 1989 - *Sejsmiczna metoda wyprzedzającej oceny zagrożenia wstrząsami górniczymi w kopalniach węgla kamiennego*. Prace Głównego Instytutu Górniczego, seria dodatkowa.
7. FLAC3D v. 2.1a. *Users manual*. 2001. Itasca Consulting Group. Minneapolis. USA.
8. FLAC3D v. 2.1b. *Optional features*. 2001. Itasca Consulting Group. Minneapolis. USA.
9. FLAC3D v. 2.1c. *Theory and background*. 2001. Itasca Consulting Group. Minneapolis. USA.
10. Gibowicz S.J, Kijko A.: 1994 - *An Introduction to Mining Seismology*. Academic Press.
11. Lurka A.: 1998 - *Rozwiązanie zagadnienia tomografii pasywnej z wykorzystaniem algorytmów ewolucyjnych*, Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górniczym.
12. Maxwell S.C. & Young R.P.: 1994 - *Application of seismic tomography to induced seismicity investigations*, [in]: Proceedings of Eurock '94, Balkema, Rotterdam.
13. Mutke G., Lurka A., Mirek A., Bargiel K., Wróbel J.: 2001 - *Temporal changes in seismicity and passive tomography images: a case study of Rudna copper ore mine-Poland*. Proc. Of the 5th Intern. Symp. on Rockbursts and Seismicity in Mines, The South African Institute of Mining and Metallurgy.
14. Tajduś A., Flisiak J., Cała M. 1997 - *Estimation of rockburst hazard basing on 3D stress analysis*. Proc. of the 4th Intern. Symp. on Rockbursts and Seismicity in Mines. Editors Lasocki & Gibowicz. A.A. Balkema. Rotterdam/Brookfield.

The correlation of geophysical investigations and numerical calculations in the area of rock burst occurred on 2003.08.04 in Lubin mine.

ABSTRACT: The rock burst of energy $E=1.9 \cdot 10^9 \text{J}$ occurred 4th August in underground copper mine Lubin. Several geophysical investigation and numerical calculation were performed to study this phenomenon. Passive seismic tomography technique was used for geophysical investigations. It uses already registered data to create seismic velocity field. The distribution of seismic velocity allow to identify zones of high seismic risk ant to observe the propagation of these zones with time. Three dimensional numerical calculations utilizing Finite Difference Method were also carried out. Correlation of the estimations from passive tomography with numerical calculation result's points out the possibility o new method formulation. This method might be useful for rock burst prediction in underground copper mines of KGHM Polska Miedz S.A.