ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2002
Seria: GÓRNICTWO z. 254 Nr kol. 1563

Piotr BAŃKA, Andrzej JAWORSKI
Politechnika Śląska, Gliwice

MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA WYNIKÓW ANALITYCZNYCH PROGNOZ NAPRĘŻENIOWYCH DO OCENY STANU POTENCJALNEGO ZAGROŻENIA TĄPANIAMI WYROBISK

Streszczenie. W artykule przedstawiono sposób wykorzystania wyników analitycznej prognozy rozkładu naprężeń do oceny potencjalnego stanu zagrożenia tąpaniami projektowanych robót górniczych. Ogólnie scharakteryzowano analityczną metodę prognozowania stosowaną przez autorów do oceny naprężeniowych warunków prowadzenia robót. Na konkretnym przykładzie projektu wybierania przedstawiono możliwość wykorzystania wyników obliczeń prognostycznych do oceny stanu potencjalnego zagrożenia tąpaniami.

POSSIBILITY USE THE RESULTS OF ANALYTICAL PREDICTIONS INVOLVING THE DISTRIBUTION OF STRESSES FOR ESTIMATION THE POTENTIAL STATE OF ROCKBURST HAZARD

Summary. The paper presents the way to use the results of analytical predictions involving the distribution of stresses for estimation the potential state of rockbursts hazard of planned mining works. The analitycal method to predict the distribution of stresses in the areas of mining works were presented. Basing on the plans of mining works the potentials use the results of predictions were presented aiming to estimation the potential state of rockburst hazard.

1. Wprowadzenie

Ocenę potencjalnego stanu zagrożenia tąpaniami, zgodnie z aktualnie obowiązującą „Kompleksową metodą oceny stanu zagrożenia tąpaniami w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny" [8], dokonuje się metodą rozeznania górniczego. Jest ona wykorzystywana na etapie projektowania robót górniczych do doboru długookresowych

metod zwalczania bądź ograniczania stanu zagrożenia. Tak określony potencjalny stan zagrożenia tąpaniami uwzględnia się również przy ocenie rzeczywistego stanu zagrożenia.

W metodzie rozeznania górniczego uwzględniony jest wpływ różnorodnych czynników górniczo-geologicznych na kształtowanie się poziomu potencjalnego zagrożenia tąpaniami projektowanych robót górniczych, m.in.:

- głębokość prowadzenia robót,
- wytrzymałość węgla,
- występowanie grubych warstw mocnych skał w stropie eksploatowanego pokładu,
- obecność krawędzi i resztek na wybiegach projektowanych robót,
- grubość pokładu, wysokość projektowanych wyrobisk wybierkowych,
- wykształtowanie zrobów eksploatacji dokonanej w przewidzianym do eksploatacji pokładzie,
- lokalizację projektowanych robót względem innych wyrobisk i zaburzeń geologicznych,
- odprężenie pokładu,
- sposób kierowania stropem.

Analityczne metody prognozowania rozkładów naprężeń pozwalają na bardziej precyzyjne szacowanie wpływów niektórych czynników (zmiany głębokości, odległości wybrań, resztek itp.) na stan naprężeń i potencjalnego zagrożenia tąpaniami, niż w metodzie rozeznania górniczego. Wieloletnie doświadczenia autorów wskazują, że przy odpowiednim oszacowaniu parametrów metody wyniki prognoz rozkładu naprężeń są na ogół dostatecznie zgodne z rzeczywistymi przejawami ciśnienia górotworu i zagrożenia tąpaniami obserwowanymi w sąsiedztwie prowadzonych wyrobisk. Wynika to z faktu, iż mimo prostoty stosowanego modelu (opartego na rozwiązaniu przemieszczeniowego zadania brzegowego przestrzennej teorii sprężystości – H.Gil [7], F.Dymek [6]) algorytmy uwzględniają wpływy wielu parametrów decydujących o nieraz silnym zróżnicowaniu warunków naprężeniowych na wybiegach prowadzonych i projektowanych wyrobisk (wpływy czasoprzestrzennego układu zaszłości, parametrów eksploatacji).

Z kolei metoda rozeznania pozwala uwzględnić wpływy czynników (parametrów) nie branych pod uwagę w metodzie analitycznej, głównie natury techniczno-organizacyjnej i technologicznych.

Propozycje zasad łącznego wykorzystania wyników metody analitycznej i rozeznania górniczego do oceny stanu potencjalnego zagrożenia tąpaniami robót górniczych na etapach ich projektowania i prowadzenia zostały przedstawione w opracowaniach [5,9,4].

W artykule przedstawiono przykład zastosowania proponowanego podejścia przy określaniu potencjalnego stanu zagrożenia tąpaniami na wybiegu projektowanego w silnie zagrożonym tąpaniami rejonie wyrobiska ścianowego.

2. Analityczna metoda prognozowania rozkładów naprężeń

Analityczna metoda prognozowania rozkładów naprężeń [1,2,3] jest od szeregu lat z powodzeniem stosowana przez autorów do oceny warunków naprężeniowych na wybiegach projektowanych robót górniczych.

Przyjęta w stosowanych algorytmach silna idealizacja ośrodka skalnego wymaga typowo porównawczego podejścia. Oznacza to, że prognoza wyprzedzająca dla rozpatrywanego zakresu eksploatacji projektowanej powinna być poprzedzona obliczeniami testowymi (prognozą porównawczą) obejmującymi określony zakres przeprowadzonej już w danym rejonie lub w jego sąsiedztwie eksploatacji o rozeznanych przejawach ciśnienia górotworu i zagrożenia tąpaniami. Przeprowadzone obliczenia testowe pozwalają na oszacowanie wartości stałych materiałowych występujących w algorytmach - tak zwanych wartości zastępczych. Są to takie wartości, dla których wyniki prognoz porównawczych, wykonanych dla przeprowadzonych już robót górniczych, odpowiadają, mimo przyjętym założeniom upraszczającym, wynikom pomiarów (obserwacji).

W skonstruowanym systemie programów możliwe jest sprawdzenie, czy nastąpiło przekroczenie wytrzymałości skał wskutek dodatkowych deformacji i naprężeń powstałych w wyniku eksploatacji górniczej. W tym celu obliczany jest wskaźnik wytężenia W, rozumiany jako stosunek zaistniałego naprężenia zastępczego do wytrzymałości skały. Dla $W \geq 1$ można mówić o przekroczeniu wytrzymałości skały. Wartości naprężenia zastępczego i wytrzymałości są zależne od przyjętej hipotezy wytrzymałościowej. Dla przyjętego modelu górotworu wartość wskaźnika obliczana jest według hipotez Coulomba Mohra i W. Burzyńskiego.

Wyniki obliczeń pozwalają na wyróżnienie na wybiegach projektowanych wyrobisk następujących, charakterystycznych pod względem prognozowanych wartości składowej pionowej przestrzennego stanu naprężeń i wartości wskaźnika wytężenia, stref:

- wytężonych – zgodnie z wynikami stosowanej hipotezy wytrzymałościowej wytrzymałość skał została już przekroczona,

- odprężonych – prognozowane naprężenia mniejsze od pierwotnych (wartości bezwzględne naprężeń),
- podwyższonych naprężeń – prognozowane naprężenia większe od pierwotnych, ale mniejsze od tzw.krytycznych, zagrażających stabilności ociosów węglowych,
- koncentracji naprężeń – prognozowane naprężenia przekraczają wartości krytyczne.

3. Wykorzystanie wyników obliczeń prognostycznych do oceny potencjalnego stanu zagrożenia tąpaniami

Sposób oceny stanu zagrożenia tąpaniami wyrobisk na podstawie wyników analitycznych prognoz rozkładu naprężeń przedstawiono w projekcie „Instrukcji korzystania z wyników metody analitycznej w kompleksowej metodzie oceny stanu zagrożenia tąpaniami" [9].
Stan zagrożenia tąpaniami wyrobiska określa się zgodnie z tablicą 1.

Tablica 1

Stan zagrożeń wyrobiska

Stan zagrożenia	**Wartość punktowa**	**Podstawowe parametry oceny**	
		Wartość składowej pionowej naprężenia σ_z	Wytężenie Stan struktury ośrodka sk.
a brak	2	$\lvert\sigma_z\rvert < \gamma H$ naprężenia pionowe są mniejsze od naprężenia pierwotnego $-\gamma H$ wynikającego z głębokości eksploatacji H	stan wytężenia nie ma znaczenia
b słaby	4	$\lvert\sigma_z\rvert \geq \gamma H$ naprężenia pionowe są zbliżone (nieznacznie większe) od naprężenia pierwotnego $-\gamma H$ wynikającego z głębokości eksploatacji H	$W \geq 1$ struktura pokładu węgla naruszona (osłabienie calizny)
c średni	8	$\lvert\sigma_z\rvert > \gamma H$ podwyższone naprężenia pionowe, przekraczają o co najmniej kilka MPa wartość naprężenia pierwotnego $-\gamma H$ wynikającego z głębokości eksploatacji H	$W < 1$ struktura pokładu węgla nienaruszona
d duży	16	$\lvert\sigma_z\rvert >> \gamma H$ koncentracja naprężeń pionowych występowanie naprężeń krytycznych, często o wartości powyżej –30 MPa	$W < 1$ struktura pokładu węgla nienaruszona

Wynikową wartość stanu zagrożenia tąpaniami, którą należy przyjmować do oceny stanu zagrożenia tąpaniami na podstawie wyników metody analitycznej, należy, zgodnie z „Projektem..." ustalać jako wartość maksymalną, występującą w pięćdziesięciometrowym pasie przed frontem ściany lub w otoczeniu pojedynczego wyrobiska chodnikowego.

Wyniki metody analitycznej mogą być wykorzystane w metodzie kompleksowej oceny stanu zagrożenia tąpaniami wspólnie z wynikami metody rozeznania górniczego, przy czym wypadkowy stan zagrożenia tąpaniami należy ustalać jako średnią arytmetyczną z wskazań z obu metod, a uśrednioną wartość punktową należy zaokrąglić do wyższej wartości stanu zagrożenia tąpaniami wyrobiska.

4. Przykład oceny potencjalnego stanu zagrożenia tąpaniami

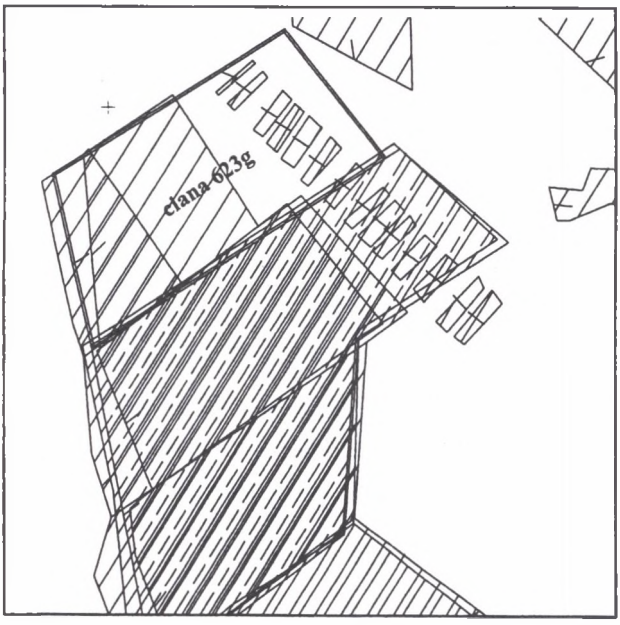
Poniżej przedstawiono przykład wykorzystania wyników analitycznych prognoz naprężeniowych do oceny potencjalnego stanu zagrożenia tąpaniami konkretnych robót górniczych projektowanych przy występowaniu złożonych, generalnie niekorzystnych, uwarunkowań geologiczno-górniczych. Ocena dotyczy robót przygotowawczych (pochylń ścianowych i przecinki) projektowanych w przystropowej warstwie pokładu 510 w polu ściany 623g.

W analizowanym rejonie, lecz poza polem projektowanej ściany, wybrano z podsadzką hydrauliczną przyspągową warstwę pokładu 510. Obecnie wybierana jest z zawałem stropu warstwa przystropowa, przy czym eksploatację pokładu w rejonie planuje się zakończyć ścianą 623g.

Na uwarunkowania decydujące o poziomie (stanach) potencjalnego zagrożenia tąpaniami wyrobisk w polu ściany 623g składają się:

- duża grubość (około 9 m) pokładu i znaczna (700-720 m) głębokość jego zalegania,
- usytuowanie znacznej części pola ściany w nieodprężonej parceli pokładu zaliczonej do III stopnia zagrożenia tąpaniami,
- liczne zaszłości eksploatacyjne wytworzone w pokładach 507, 504, 418 i 419 oraz pole osadnikowe w pokładzie 507 zlokalizowane nad końcowym odcinkiem wybiegu ściany,
- znaczna nierównomierność w wybraniu złoża oraz występujące w polu ściany uskoki o zrzutach do 2,5 m.

Należy zauważyć, że w stropach bezpośrednim i zasadniczym pokładów 510 – 507 zalegają naprzemianległe warstwy łupków ilastych i piaszczystych o stosunkowo niewysokich parametrach wytrzymałościowych. Najbliższa warstwa piaskowca o grubości około 10 m zalega w odległości około 50 m powyżej pokładu 510 – co jest korzystne z uwagi na zagrożenie wstrząsami i tąpaniami.



Rys. 1. Rejon projektowanych robót górniczych w pokładzie 510wg z naniesionymi konturami eksploatacji dokonanej w pokładach 510wd i 507
Fig. 1. The area of planned mining in seam 510wg with contours of past minig in seams 510wd and 507

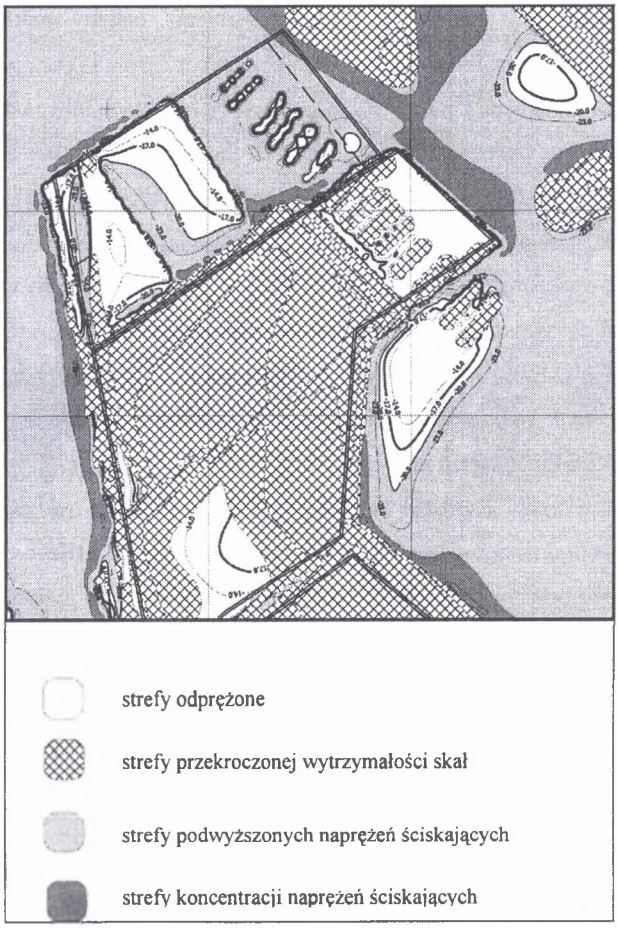
Poniżej przedstawiono analityczną prognozę rozkładu składowej pionowej przestrzennego stanu naprężenia (wytężenia) na wybiegu projektowanej w pokładzie 510wg ściany 623g.

W obliczeniach prognostycznych uwzględniono wpływy wszystkich wybrań przeprowadzonych w analizowanym rejonie w pokładach rudzkich i siodłowych.

Na rozkład i wielkość naprężeń ściskających w analizowanej parceli pokładu 510 decydująco wpływają:

- głębokość zalegania – około 700 m, naprężenia pierwotne 17-18 MPa,
- sąsiedztwo krawędzi zrobów eksploatacji podsadzkowej już zakończonej (ścianą 621 – 622d) w przyspągowej warstwie pokładu 510,

- sąsiedztwo krawędzi zrobów eksploatacji zawałowej projektowanej na wysokość do 3,4 m, ściana 621 – 622g) w przystropowej warstwie pokładu 510,
- krawędzie i zroby eksploatacji podsadzkowej dokonanej w różnym zakresie w warstwach I i II pokładu 507 zalegającego 2 do 6 m nad pokładem 510,
- osadniki w pokładzie 507 i krawędzie pokładu 504 – na dalszym projektowanym wybiegu ściany 623g.



Rys. 2. Rozkład składowej pionowej przestrzennego stanu naprężenia w rejonie projektowanej ściany 623g
Fig. 2. Distribution of the vertical component of three dimensional state of stress in the area of the planned longwall 623g

Przeprowadzone obliczenia rozkładu naprężeń pozwoliły wydzielić na wybiegach projektowanych robót poniższe, charakterystyczne pod względem wielkości naprężeń, strefy:

1. Strefy częściowo odprężone (nie objęte procesem wytężenia) – w których w następstwie oddziaływania zrobów eksploatacji dokonanej naprężenia pionowe są, według prognozy, mniejsze lub zbliżone do naprężeń pierwotnych, wynikających z głębokości zalegania. Wyrobiska w tych strefach można traktować jako potencjalnie słabo zagrożone tąpaniami. Strefy powyższe na rysunku 2 nie zostały dodatkowo oznaczone.
2. Strefy wytężone – w których w następstwie oddziaływania eksploatacji na skutek przekroczenia wytrzymałości skał na ściskanie i pod wpływem naprężeń rozciągających najprawdopodobniej doszło do takiego osłabienia calizny pokładu i rozproszenia zakumulowanej energii sprężystej, że nie powinna ona stanowić niebezpiecznego koncentratora naprężeń i energii. Wyrobiska w tych strefach można uznać za potencjalnie słabiej zagrożone tąpaniami. W strefach tych można się natomiast liczyć z trudnościami w prowadzeniu i utrzymywaniu wyrobisk, zwłaszcza chodnikowych. Strefy powyższe na rysunku 2 zostały oznaczone za pomocą krzyżujących się linii.
3. Strefy podwyższonych naprężeń ściskających (nie objęte procesem wytężenia lub odprężenia) – w których prognozowane naprężenia ściskające przekraczają wartość naprężenia pionowego (17-18 MPa), wynikającą z głębokości zalegania. Wyrobiska w tych strefach należy uznać za potencjalnie silniej zagrożone tąpaniami. Strefy te zostały oznaczone kolorem jasnoszarym.
4. Strefy koncentracji naprężeń ściskających – w których prognozowane naprężenia ściskające mogą osiągnąć wartości krytyczne (powyżej 30 MPa) z uwagi na stateczność ociosów węglowych. W strefach tych może dochodzić do akumulowania znaczących ilości energii sprężystej. Wyrobiska w tych strefach należy traktować jako potencjalnie silnie zagrożone tąpaniami. Tąpnięcia w tych strefach, zwłaszcza w chodnikach przed frontem ściany, mogą powodować nawet średnioenergetyczne wstrząsy, o ogniskach dostatecznie bliskich ociosów wyrobiska. Strefy te zostały oznaczone kolorem ciemnoszarym.

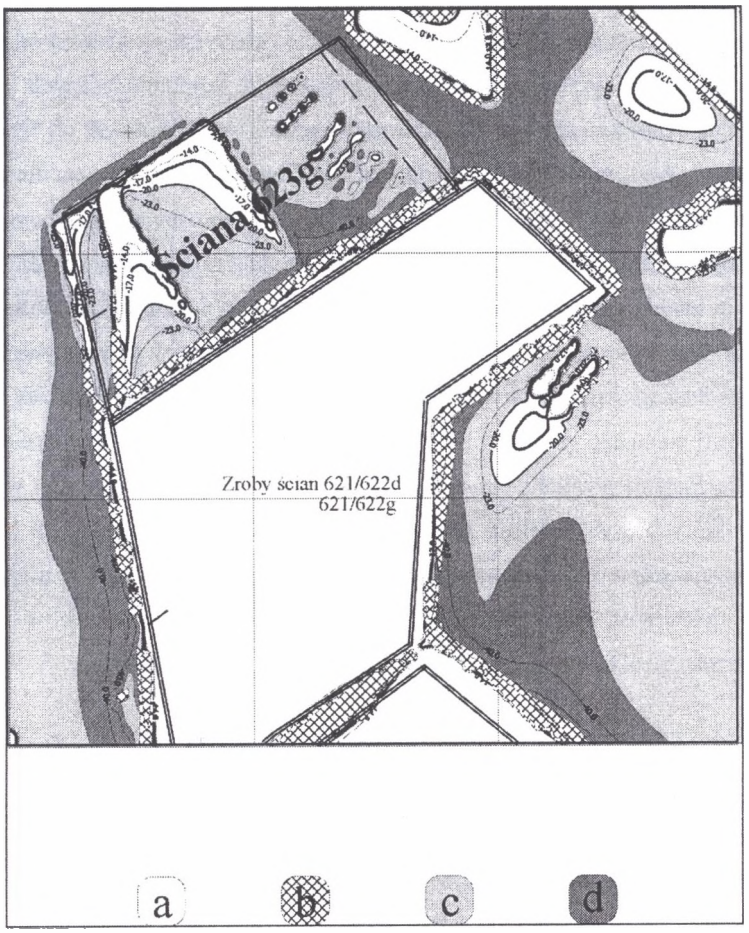
Poniższy rysunek przedstawia ocenę potencjalnego stanu zagrożenia tąpaniami przeprowadzoną na podstawie odpowiedniej interpretacji wyników obliczeń rozkładów naprężeń prezentowanych na rysunku 2.

Zgodnie z wynikami obliczeń przeprowadzonych metodą analityczną, pochylnię Va, położoną przy zrobach ściany 621/622g, należy uznać za słabo zagrożoną tąpaniami – stan b.

Pochylnia VIa, okonturowująca pole ściany 623g od północnej strony, będzie wykonywana i utrzymywana w warunkach dużego (początkowy odcinek około połowy projektowanej długości pochylni oraz końcowy ponad 30 m odcinek) potencjalnego

zagrożenia tąpaniami (stan d). Potencjalne zagrożenie tąpaniami pozostałego odcinka biegu pochylni określone zostało jako średnie – stan c.

Przecinka ściany 623g w czasie drążenia na przeważającej jej długości klasyfikuje się jako potencjalnie średnio zagrożona tąpaniami (stan c). Stany zagrożenia a, b oraz d przypisano niewielkim odcinkom przy początku i końcu projektowanego biegu tego wyrobiska.



Rys. 3. Potencjalny stan zagrożenia tąpaniami w rejonie projektowanej ściany 623g
Fig. 3. Potential rockburst hazard in the area of the planned longwall 623g

W analizowanym przykładzie uśrednione wskazania metod rozeznania i analitycznej, przyjmowane w metodzie kompleksowej, są zgodne ze wskazaniami metody analitycznej. Wynika to z postaci przyjętego algorytmu obliczania wypadkowego stanu zagrożenia

tąpaniami wyrobiska, zgodnie z którym wypadkowy stan zagrożenia zawsze odpowiada większemu z wskazań uzyskanych odpowiednio metodą rozeznania i analityczną. W rozpatrywanym przypadku lokalnie większe wskazania daje metoda analityczna.

5. Podsumowanie

Dzięki wzrostowi możliwości obliczeniowych komputerów opracowane algorytmy i programy (Politechnika Śląska, AGH w Krakowie i GIG) stały się efektywnym narzędziem do wyznaczania w rozległych obszarach górotworu charakterystycznych pod względem wielkości naprężeń i poziomu potencjalnego zagrożenia tąpaniami stref.

Metody analityczne od szeregu lat są z powodzeniem stosowane do oceny sytuacji naprężeniowej na wybiegach prowadzonych robót. Umożliwiają wykonywanie prognoz z dużym wyprzedzeniem czasowym w stosunku do realizacji zamierzeń projektowych, pozwalając na ich optymalizację w aspekcie minimalizacji poziomu potencjalnego zagrożenia tąpaniami. Na podkreślenie zasługuje fakt, że mogą one być wykorzystywane w rejonach, w których z uwagi na brak wyrobisk, nie jest możliwe wykorzystanie innych, geofizycznych metod oceny stanu naprężeń (na przykład sejsmicznej czy mikrograwimetrycznej).

Wykorzystanie wyników obliczeń prognostycznych rozkładu naprężeń i wykształtowania stref, w których wytrzymałość skał została przekroczona na wybiegach projektowanych wyrobisk, na etapie oceny potencjalnego stanu zagrożenia tąpaniami, może pozwolić na większą dokładność ocen uzyskiwanych z obligatoryjnie stosowanej, w rejonach silnie zagrożonych tąpaniami, metody rozeznania górniczego.

LITERATURA

1. Białek J., Bańka P. ,Jaworski A.: Wykorzystanie analitycznych prognoz naprężeniowo-deformacyjnych warunków wybierania do projektowania eksploatacji w rejonach zagrożonych tąpaniami. Prace GIG, seria Konferencje nr 26, Katowice 1998, s.15-24.
2. Drzęźla B., Białek, J. Jaworski A.: Metoda prognozowania rozkładów naprężeń w strefach oddziaływania zaszłości eksploatacyjnych. Publ.Inst.Geophys.Pol.Acad.Sc.M-10 (213), 1988, s.49-57.

3. Drzęźla B., Białek J., Jaworski A., Bańka P.: Zastosowanie analitycznych prognoz stanu naprężeń przy projektowaniu lokalizacji wyrobisk korytarzowych. Prace GIG, seria Konferencje nr 16, Katowice 1996, s.31-37.
4. Jaworski A., Bańka P., Białek J.: Interpretacja wyników analitycznych prognoz naprężeniowych przy oznaczaniu stanu potencjalnego zagrożenia tąpaniami wyrobisk. Prace GIG, seria Konferencje nr 36, Katowice 2000, s.91-98.
5. Dubiński J., Drzewiecki J., Siata R.: Zasady wykorzystania geotomografii i metody analitycznej w ocenie zagrożenia tąpaniami metodą kompleksową. Prace GIG, seria Konferencje nr 26, Katowice 1998, s.25-34.
6. Dymek F.: Przemieszczeniowe zadanie brzegowe przestrzennej teorii sprężystości i jego zastosowanie do zagadnień mechaniki górotworu. Arch.Górn., 14, 3 1968.
7. Gil H.: The Theory of Strata Mechanics. PWN – Polish Scientific Publishers, Warszawa 1991.
8. Zasady i zakres stosowania kompleksowej metody oceny stanu zagrożenia tąpaniami w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny. Praca zbiorowa. Prace GIG, Seria Instrukcje nr 1, Katowice 1996.
9. Instrukcja korzystania z wyników metody analitycznej w kompleksowej metodzie oceny stanu zagrożenia tąpaniami – projekt GIG, Katowice.

Recenzent: Dr inż. Adam Krzyżowski

Abstract

The assessment of rockburst hazard condition is carried out using two groups of methods:

The assessment of potential rockburst hazard condition is carried out using the method of mining reconnaissance.

Group of methods for the assessment of real rockburst hazard conditions, that is seismological method, seismoacoustic and small-diameter driling ones.

The paper presents the way to use the results of analytical predictions involving the distribution of stresses for estimation the potential state of rockbursts hazard of planned mining works.

The analitycal method to predict the distribution of stresses in the areas of mining works were presented. The software used by the autors is based on the solutions (Gil H.,1991) which define the distribution of stresses and strains in half space (rockmass) around a rectangle-shaped cavern (longwall heading).

Basing on the plans of mining works the potentials use the results of predictions were presented aiming to estimation the potential state of rockburst hazard.