

Jan BIAŁEK, Piotr BAŃKA, Andrzej JAWORSKI

## **SPOSÓB PROJEKTOWANIA EKSPLOATACJI W WARUNKACH ZAGROŻENIA TĄPANIAMI W OPARCIU O WYNIKI ANALITYCZNYCH PROGNOZ ROZKŁADU NAPRĘŻEŃ I DEFORMACJI**

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono stosowane przez autorów metody prognozowania rozkładu składowej pionowej przestrzennego stanu naprężenia oraz wielkości deformacji warstw skalnych wywołanych wielopokładową eksploatacją górniczą. Podano sposób różnicowania stanu zagrożenia tąpniętami w oparciu o wyniki obliczeń prognostycznych. Na przykładzie projektu robót górniczych w bardzo silnie zagrożonym tąpniętami rejonie pokazano możliwość optymalizacji projektu w aspekcie minimalizacji poziomu tego zagrożenia.

## **PLANNING OF MINING PROCESS IN THE CRUMP HAZARD CONDITIONS BASING ON THE RESULTS OF ANALYTICAL PREDICTIONS INVOLVING THE DISTRIBUTION OF STRESSES AND DEFORMATIONS**

**Summary.** The paper presents the method elaborated by the authors to predict the distribution of the vertical component of three dimensional state of stress and the extent of the deformation of rock layers effected by multi-bed mining process. The method to differentiate crump hazard conditions were presented basing on the results of prediction calculations. Basing on the plans of mining works in the mining area subject to strong crump hazards, the optimization potentials for the said plans were presented aiming to minimize the level of such hazards.

### **1. Wprowadzenie**

Zmniejszające się zasoby coraz częściej zmuszają kopalnie do prowadzenia eksploatacji w resztkowych partiach złoża oraz w filtrach ochronnych. Z reguły eksploatacja ta jest prowadzona w rejonie wpływu licznych, nieregularnie wykształconych zaszczości eksploatacyjnych.

W obszarach tych stwierdza się podwyższony stan zagrożenia tapaniami z uwagi na silnie zróżnicowanie wielkości i charakteru naprężeń w pokładzie oraz zdeformowania wytrzymałych warstw skalnych.

Opracowanie optymalnego, z uwagi na wymogi minimalizacji zagrożenia tapaniami, projektu prowadzenia robót górniczych w takich rejonach jest możliwe po uprzednim określeniu granic silnie naprężonych oraz zdeformowanych obszarów górotworu.

W rejonach rozciętych wyrobiskami korytarzowymi do oceny rozkładu naprężeń z powodzeniem wykorzystuje się metody geofizyczne. Jednakże, w przypadku braku odpowiedniej sieci wyrobisk, ocenę stanów naprężeniowo-deformacyjnych można wykonać jedynie metodami analitycznymi.

Aktualny stan badań prowadzonych w Instytucie Eksploatacji Złóż Politechniki Śląskiej nad praktycznymi zastosowaniami wyników analitycznych prognoz wpływów parametrów wielopokładowej eksploatacji na górotwór umożliwia w dużych obszarach górotworu prognozowanie:

- charakterystycznych naprężeniowo (wytężeniowo) stref,
- ekstremalnych w czasie naprężeń występujących chwilowo w trakcie prowadzenia eksploatacji,
- deformacji wytrzymałych warstw skalnych.

Uwzględniane w opisie czynniki górnicze, takie jak objętość wybranego złoża, parametry eksploatacji, układ zaszczości eksploatacyjnych, zasadniczo różnicują, co stwierdza się praktycznie, pola naprężeń i deformacji.

Niedokładności metody prognozowania wynikające z silnej idealizacji ośrodka skalnego wymagają 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 rozeznaczonych przejawach ciśnienia górotworu i zagrożenia tapaniami.

## 2. Ogólna charakterystyka metod prognozowania rozkładów naprężeń i zdeformowania wytrzymałych warstw skalnych

Algorytmy wykorzystywane do obliczeń rozkładów naprężeń bazują na rozwiązaniu przemieszczeniowego zadania brzegowego przestrzennej teorii sprężystości podanym przez H. Gila [6] oraz F. Dymka [5], które opisuje rozkład przemieszczeń i naprężeń wokół pustki (wyróbiska) w półprzestrzeni sprężystej. Przyjęcie do opisu ruchów i naprężeń wokół wyróbisk ścianowych tak prostego modelu stanowi daleko posuniętą idealizację własności mechanicznych górotworu (jednorodny izotropowy ośrodek sprężysty). Również założone przemieszczeniowe warunki brzegowe jedynie w sposób przybliżony opisują sytuację w pobliżu stropu pokładu. Założona idealizacja jest konieczna w przypadku wykonywania prognoz rozkładów naprężeń dla dużych obszarów w rejonie wielopokładowych wybrzań. Dzięki tak przyjętym założeniom do omawianego rozwiązania można zastosować zasadę superpozycji wpływów.

Wykorzystując wzory obowiązujące dla elementarnego prostokąta opracowano programy, które pozwalają wyznaczyć w górotworze rozkład naprężeń i przemieszczeń dla wybrzań o dowolnych kształtach i usytuowaniu przestrzennym [2,3]. W skonstruowanym systemie programów sprawdza się, czy nastąpiło przekroczenie wytrzymałości skał wskutek dodatkowych deformacji i naprężeń powstałych w wyniku eksploatacji górniczej. W tym celu obliczany jest wskaźnik wyężenia  $W$ , rozumiany jako stosunek zaistniałego naprężenia zastępczego do wytrzymałości skały. Dla  $W > 1$  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.

Przy wspomnianych powyżej uproszczeniach, silnej idealizacji górotworu oszacowania wymagają wartości tylko kilku stałych materiałowych. Do obliczeń przyjmuje się ich tak zwane wartości zastępcze. Są to takie wartości, dla których wyniki prognoz porównawczych, wykonanych dla przeprowadzonych już robót górniczych, odpowiadają, mimo przyjętych założeń upraszczających, wynikom pomiarów (obserwacji).

Prognozy stanu zdeformowania wytrzymałych warstw skalnych wykonuje się w oparciu o system programów obliczeniowych umożliwiający wyznaczenie wartości wskaźników dynamicznej niecki osiadania [1]. Programy te obliczają deformacje powierzchni i górotworu w oparciu o czasoprzestrzenne rozwinięcie teorii Budryka-Knothe'go. Obliczane mogą być za-

równy przyrosty wskaźników deformacji w zadanym przedziale czasu, jak również wielkości ekstremalne w czasie tych wskaźników. Odpowiednio zmodyfikowane algorytmy obliczeniowe umożliwiają uwzględnienie w obliczeniach tak zwanych dalekich wpływów eksploatacji górniczej, asymetrii wpływów oraz charakterystycznego zróżnicowania w przebiegu ruchów górotworu nad i pod eksploatowanym pokładem.

Stosowane systemy programów posiadają rozbudowany system diagnostyki błędów danych o parcelach, umożliwiają efektywne wykonywanie wielowariantowych prognoz naprężeń i deformacyjnych dla rozległych obszarów górotworu.

### 3. Przykład wykorzystania wyników obliczeń prognostycznych

Poniżej przedstawiono przykład wykorzystania wyników analitycznych prognoz naprężeniowych i deformacyjnych do opracowania projektu dalszych robót górniczych w pokładach siodłowych w piętrze południowym bloku A KWK Polska -Wirek.

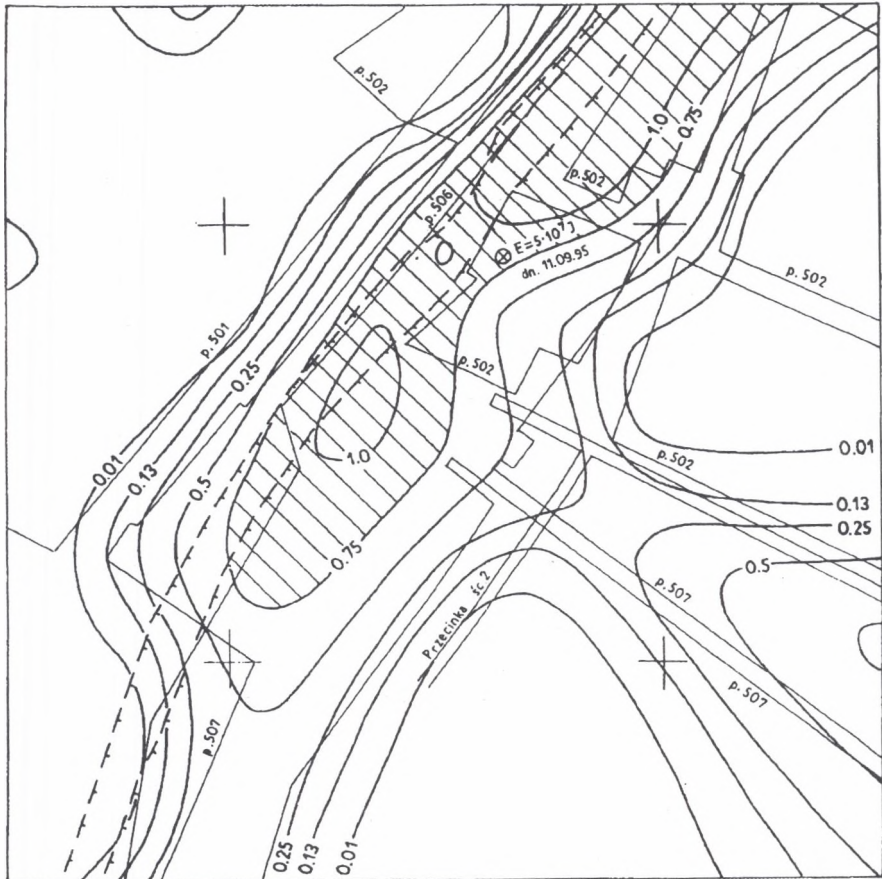
Warstwy siodłowe w przedmiotowym rejonie wykształcone są w postaci grubych piaskowców i łupków piaszczystych. Piaskowce charakteryzują się wysokimi parametrami wytrzymałościowymi ( $R_c$  do 120 MPa). Pokładem stropowym w grupie warstw siodłowych jest pokład 502, a spagowym pokład 510. W bloku A kopalni całkowicie został wyeksploatowany pokład 507, a do eksploatacji pozostały jeszcze pokłady 502, 504, 506 i 510. Miąższości tych pokładów wynoszą odpowiednio: 6,5 m, 1,7 m, 2,0 m i 6,3 m.

Pierwotny projekt eksploatacji przewidywał wybranie w pierwszej kolejności pokładu 502, a następnie pokładów 504 i 510. W czasie prowadzenia robót przygotowawczych w pokładzie 502 wystąpiło tąpnięcie, które zmusiło kopalnię do opracowania nowego projektu eksploatacji w przedmiotowym rejonie.

W trakcie opracowywania nowego projektu wykorzystane zostały następujące analityczne prognozy stanów naprężeniowo-deformacyjnych:

- rozkład odkształceń pionowych ściskających w warstwie piaskowca nad pokładem 502 (rys.1),
- rozkład składowej pionowej przestrzennego stanu naprężenia w pokładzie 502 w piętrze południowym bloku A (rys.2),

– rozkład składowej pionowej przestrzennego stanu naprężenia w pokładzie 504 w piętrze południowym bloku A (rys.3).

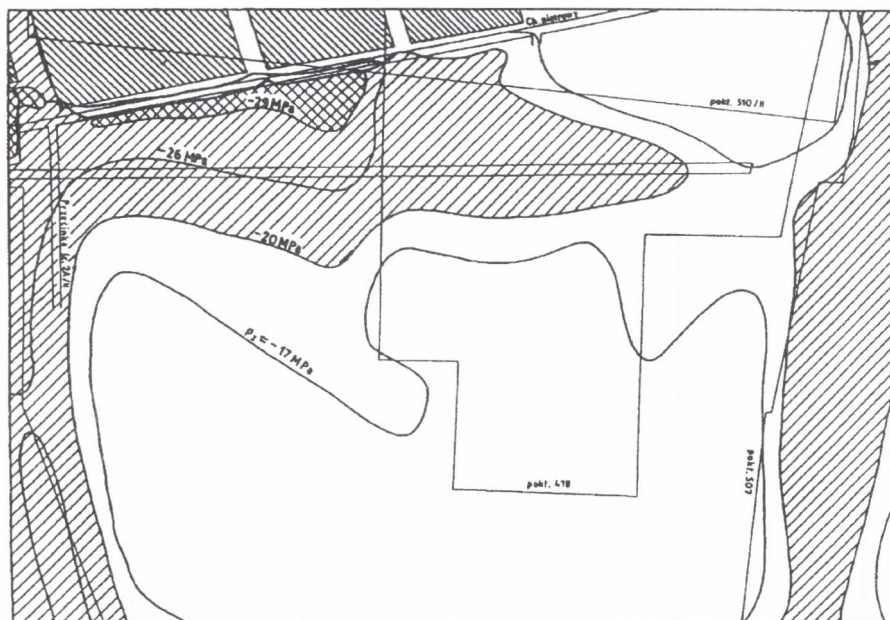





 - strefa podwyższonych odkształceń ściskających

Rys. 1. Rozkład odkształceń pionowych ściskających w warstwie piaskowca nad pokładem 502  
 Fig.1. Distribution of vertical compressive strains in the sandstone layer under the seam 502

W obliczeniach prognostycznych uwzględniono wpływy wszystkich wybranych przeprowadzonych przez KWK Polska-Wirek i KWK Pokój w analizowanym rejonie w zdyslokowanych uskokiem III pokładach grupy 500 oraz w pokładach 418 i 416.

Zgodnie z wynikami prognozy deformacyjnej (rys.1) w rejonie uskoku III utrzymuje się niekorzystny stan podwyższonych odkształceń ściskających. Obszary podwyższonych odkształceń, jak również obszary, gdzie stwierdza się wysoki gradient odkształceń, często są silnie zagrożone tapaniami, w tym skutkami indukowanymi w nich wstrząsów.

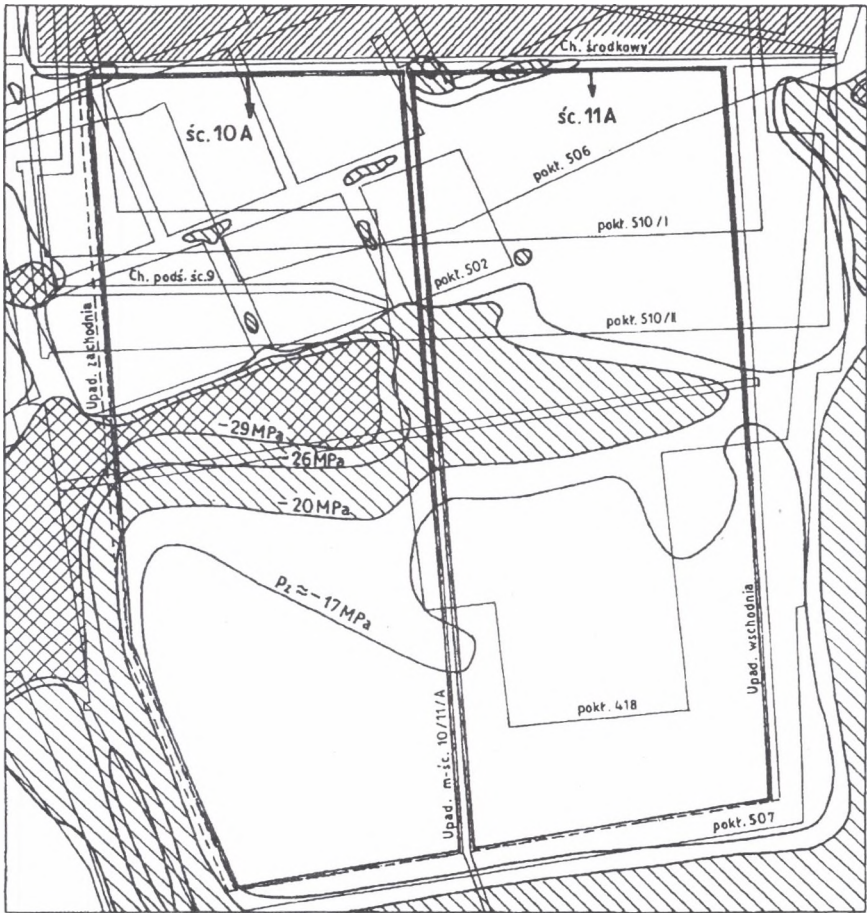





-  - strefy koncentracji naprężeń ściskających
-  - strefy podwyższonych naprężeń ściskających
-  - strefy odprężone (wytężone)

Rys.2. Rozkład składowej pionowej przestrzennego stanu naprężenia w pokładzie 502 w pięttrze południowym bloku A

Fig.2. Distribution of the vertical component of the general state of stress in the seam 502 in the southern stage of block A

Zwrócić należy uwagę na fakt, że wstrząs z dnia 9.11.95 r. o energii  $5 \times 10^7$  J, który wywołał tąpienie, był zlokalizowany w obszarze, który zgodnie z wynikami prognozy (rys.1) poddany był wzmożonym deformacjom.



-  - strefy koncentracji naprężeń ściskających
-  - strefy podwyższonych naprężeń ściskających
-  - strefy odprężone (wytężone)

Rys.3. Rozkład składowej pionowej przestrzennego stanu naprężenia w pokładzie 504 w piętrze południowym bloku A

Fig.3. Distribution of the vertical component of the general state of stress in the seam 504 in the southern stage of block A

Przeprowadzone obliczenia rozkładu naprężeń (rys.2 i 3) pozwoliły wydzielić na wybiegach projektowanych robót poniższe, charakterystyczne naprężeniowo, strefy:

- 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 tapaniami pod warunkiem niewystępowania wysokich obciążeń dynamicznych z tytułu generowania się w sąsiedztwie wyrobisk ewentualnych wysokoenergetycznych wstrząsów.
- 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 tapaniami. W strefach tych można się natomiast liczyć z trudnościami w prowadzeniu i utrzymywaniu wyrobisk, zwłaszcza chodnikowych.
- Strefy podwyższonych naprężeń ściskających (nie objęte procesem wytężenia lub odprężenia) - w których prognozowane naprężenia ściskające przekraczają wartość naprężenia pionowego, wynikającą z głębokości zalegania. Wyrobiska w tych strefach należy uznać za potencjalnie silniej zagrożone tapaniami.
- Strefy koncentracji naprężeń ściskających - w których prognozowane naprężenia ściskające mogą osiągnąć wartości krytyczne 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 tapaniami. Tąpięcia w tych strefach, zwłaszcza w chodnikach przed frontem ściany, mogą powodować nawet średnioenergetyczne wstrząsy, o ogniskach dostatecznie bliskich ociosów wyrobiska.

Wyniki analitycznych obliczeń prognostycznych (rys.2 i 3) wskazały na zbliżone warunki naprężeniowe panujące w pokładach 502 i 504 (podobieństwo w rozkładzie i wielkości naprężeń, w tym w sposobie wykształtowania oraz zasięgach charakterystycznych naprężeniowo stref).

Wyniki prognozy wskazały ponadto na utrzymywanie się naprężeniowych wpływów od licznych krawędzi eksploatacyjnych, przy równoczesnym znikomym efekcie odprężenia od zrobów wytworzonych w pokładzie 507.



Potencjalnie najbardziej zagrożone tapaniami strefy silnie podwyższonych, a także koncentracji naprężeń ściskających mogą się utrzymywać w pokładzie 502 i 504 w następujących miejscach:

- Przy zachodniej granicy bloku A w pasie pomiędzy uskokiem III a rejonem krawędzi pokładu 507. Podwyższonymi naprężeniami, a w pokładzie 504 także ich koncentracją mogą być objęte pasy calizny usytuowane w sąsiedztwie krawędzi pokładu 507 nad zrobami tego pokładu.
- W sąsiedztwie krawędzi starych zrobów wytworzonych w pokładzie 502 w stosunkowo rozległym obszarze na południe od tych krawędzi i krawędzi pokładu 510/II, to jest w odniesieniu do pokładu 502 w bezpośrednim sąsiedztwie południowego ociosu chodnika piętrowego.

Wyniki przeprowadzonych obliczeń (prognozowane wykształtowanie w pokładach 502 i 504 stref podwyższonych oraz koncentracji naprężeń ściskających) wskazały, że w celu obniżenia silnego zagrożenia wstrząsami i tapaniami robót górniczych rozpatrywanych w południowej części bloku B należy zaniechać dalszego prowadzenia eksploatacji w grubym pokładzie 502 i prowadzić wybieranie w pierwszej kolejności na całą miąższość pokładu 504. Po przeprowadzeniu w pierwszej kolejności eksploatacji z zawałem stropu w pokładzie 504 znaczącemu polepszeniu ulegną naprężeniowe warunki wybierania w pokładzie 502. Naprężeniowe warunki wybierania prognozowane w przewidywanej do wybierania w pierwszej kolejności parceli pokładu 504 wskazały na celowość wyeksploatowania jej przy możliwie najmniejszym zakresie robót przygotowawczych - dwoma ścianami poprzecznymi prowadzonymi od starych zrobów w kierunku południowym. W pierwszej kolejności zaprojektowano eksploatację ściany 10A, której część pola znajduje się w najbardziej niekorzystnych naprężeniowo warunkach wybierania - co odnosi się szczególnie do upadowej zachodniej.

Kopalnia przeprowadziła już przedmiotową eksploatację pokładu 504, przy czym upadowa zachodnia z uwagi na niekorzystne warunki naprężeniowe i potencjalnie wysokie zagrożenie tapaniami na całym wybiegu ściany 10A była wygradzana wraz z jej postępem.

#### 4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono sposób wykorzystania prognoz stanów deformacyjno-naprężeniowych górotworu do projektowania eksploatacji w silnie zagrożonych tapaniami rejonach kopalń węgla kamiennego.

Dotychczasowe, wieloletnie doświadczenia autorów wskazują, że przy odpowiednim oszacowaniu parametrów metody wyniki prognozy są na ogół dostatecznie zgodne z później obserwowanymi przejawami ciśnienia górotworu oraz zagrożenia tapaniami. Gdy projektowany wybieg wyrobiska jest duży bądź dochodzi do zmiany parametrów prowadzonych robót górniczych, wyniki prognoz weryfikuje się okresowo, uwzględniając obserwowaną (badaną metodami geofizycznymi) intensywność oddziaływania zrobów, resztek i krawędzi eksploatacyjnych.

#### LITERATURA

1. Białek J., Drzęzła B.: Przegląd aktualnego stanu oprogramowania prognozowania poeksploatacyjnych deformacji górotworu. Materiały konferencyjne II Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenu Górniczego. Ustroń Jaszowiec 1993.
2. Białek J.: Ocena wpływu koordynacji frontów ścianowych na zagrożenie tapaniami i wstrząsami górniczymi w oparciu o obliczone ekstremalne w czasie naprężenia górotworu. Prace GIG seria Konferencje nr 21, Katowice 1997.
3. Drzęzła B., Białek J., Jaworski A.: Metoda prognozowania rozkładów naprężeń w strefach oddziaływania zaszczości eksploatacyjnych. Publ.Inst.Geophys.Pol.Acad.Sc.M-10 (213), 1988.
4. Drzęzła 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.
5. Dymek F.: Przemieszczeniowe zadanie brzegowe przestrzennej teorii sprężystości i jego zastosowanie do zagadnień mechaniki górotworu. Arch.Górn., 14, 3 1968.
6. Gil H.: The Theory of Strata Mechanics. PWN - Polish Scientific Publishers, 1991.

7. Praca zbiorowa pod kierunkiem B. Drzęźli: Analityczna prognoza rozkładu naprężeń w pokładach 502 i 504 w piętrze południowym bloku A. Gliwice 1996.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Józef Dubiński

### **Abstract**

The paper presents the method elaborated by the authors to predict the distribution of the vertical component of three dimensional state of stress and the extent of the deformation of rock layers effected by multi-bed mining process. The method to differentiate crump hazard conditions were presented basing on the results of prediction calculations. The authors provided general characteristics of the applied algorithms and computer programs used to carry out the calculations. They presented exemplary calculations results involving the state of stress in a coal bed and deformation of strong rock layers. Basing on the plans of mining works in the mining area subject to strong crump hazards, the optimization potentials for the said plans were presented aiming to minimize the level of such hazards.