

Jan BIAŁEK

OCENA STANU ZAGROŻENIA TĄPANIAMI I WSTRZĄSAMI GÓRNICZYMI W OPARCIU O OBLICZONE EKSTREMALNE W CZASIE NAPRĘŻENIA GÓROTWORU

Streszczenie. Opisano możliwości wynikające ze stosowania programu komputerowego opracowanego przez autora. Program ten umożliwia wykonanie prognoz EKSTREMALNYCH w CZASIE naprężeń w warstwach stropowych nad czynnymi i zatrzymanymi wyrobiskami ścianowymi. Pozwala to już w fazie projektowania eksploatacji oszacować wpływ koordynacji frontów wybierania na rozkład ekstremalnych w czasie składowych naprężeń, które są wskaźnikiem zagrożenia tąpniętami i wstrząsami górniczymi.

ASSESSMENT OF CRUMP HAZARDS AND MINING TREMOR HAZARDS BASING ON THE CALCULATED EXTREME VALUES OF ROCKMASS STRESS IN TIME

Summary. The paper presents opportunities offered by a computer program worked out by the author. The program allows to forecast time-extreme stresses in the roof layers over active and inactive longwalls. As a result, even during the initial planning of mining, it is possible to estimate the influence of the coordination of mining fronts on the distribution of time-extreme stress components indicating seismic events and afterburst hazards.

1. Prognozowanie stref wzmożonej koncentracji naprężeń dla oceny stopnia zagrożenia tąpniętami - końcowy stan naprężeń

W latach 1983 - 87 w Instytucie Techniki Eksploatacji Złóż opracowano, a następnie doskonalono przestrzenny wariant analitycznej metody prognozowania stref wzmożonej koncentracji naprężeń dla oceny stanu zagrożenia tąpniętami [5], [6].

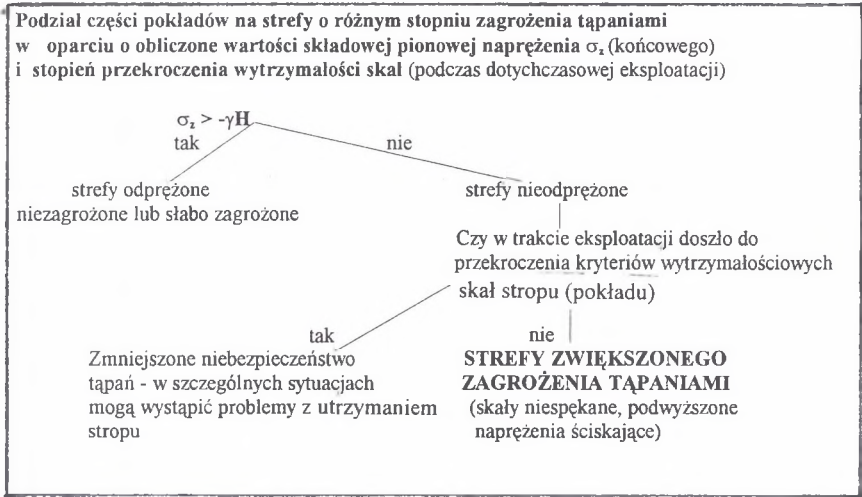
Bazę teoretyczną metody stanowi rozwiązanie przemieszczeniowego problemu brzegowego liniowej teorii sprężystości podane przez H. Gila [10] określające rozkład naprężeń i odkształceń w półprzestrzeni (górotwór) wokół pustki (wyrobiska ścianowego) o kształcie prostokąta. Stosując wymienione rozwiązanie oraz ogólnie znane kryteria wytrzymałościowe stosowane dla skał, J. Białek opracował algorytmy oraz pakiet programów komputerowych, które umożliwiały praktyczną realizację zadania polegającego na sporządzeniu map warstwicznych przedstawiających rozkłady naprężeń i stopnia przekroczenia wytrzymałości skał w rejonie projektowanej eksploatacji górniczej. Programy pozwalają na uwzględnienie dowolnie skomplikowanej geometrii pól eksploatacyjnych, gdyż kształt parceli w pokładzie można opisać dowolnym wielobokiem. Stosując zasadę liniowej superpozycji deformacji i naprężeń, można ocenić, jaki przyrost naprężenia w interesującym nas rejonie wywiera skomplikowany układ zasłóści eksploatacyjnych znajdujących się w wielu pokładach.

Zasadniczo programy te przedstawiały rozkłady naprężeń dla stanu po zakończeniu eksploatacji, natomiast stopień przekroczenia wytrzymałości skał był badany w oparciu o ekstremalne w czasie rozkłady naprężeń uzyskiwane dla kolejnych pojedynczych ścian.

Próby obliczania rozkładów naprężeń z uwzględnieniem pełnego czasoprzestrzennego przebiegu eksploatacji górniczej, podobnie jak to się czyni w zakresie deformacji w problematyce szkód górniczych [2], [3], zakończyły się wówczas niepowodzeniem z uwagi na stosunkowo niewielką moc obliczeniową ówczesnych komputerów.

Tak więc dotychczasowe wersje programów komputerowych umożliwiały ocenę stopnia zagrożenia w rejonie projektowanych wyrobisk korytarzowych, natomiast brakowało narzędzia pozwalającego na ocenę wpływu czasoprzestrzennej koordynacji frontów wybierania na rozkład maksymalnych naprężeń.

W toku kilkuletniego stosowania metody analitycznej wypracowany został pewien schemat podziału stref w zależności od obliczonej wartości naprężenia pionowego oraz od tego, czy w trakcie dotychczasowej eksploatacji doszło już do spękania (wytężenia) skał stropu.



2. Podstawy teoretyczne i ogólny algorytm metody obliczania składowych stanu naprężeń ekstremalnych w czasie

2.1. Podstawy teoretyczne

Podstawę dalszych rozważań stanowi rozwiązanie przemieszczeniowego zadania brzegowo-przestrzennej teorii sprężystości podane przez H. Gila [10], które opisuje rozkład przemieszczeń i naprężeń wokół pustki (wyrobiska) półprzestrzeni sprężystej. Trzeba wyraźnie powiedzieć, że przyjęcie do opisu ruchów i naprężeń wokół wyrobisk 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, jeśli chcemy w rozsądnym terminie na dostępnych komputerach wykonać jakąkolwiek analizę naprężeń i deformacji z uwzględnieniem rozwoju eksploatacji w czasie.

Dzięki przyjętym założeniom do omawianego rozwiązania można stosować zasadę superpozycji wpływów, podobnie jak to czynimy, obliczając deformacje powierzchni przy pomocy teorii geometryczno-całkowych.

Naprężenia pierwotne wywołane ciężarem nadkładu obliczane są z ogólnie znanych zależności:

$$p_z = -\gamma H(\cos^2 \alpha + n \sin^2 \alpha) \quad (1)$$

$$p_x = -\gamma H(\sin^2 \alpha + n \cos^2 \alpha) \quad (2)$$

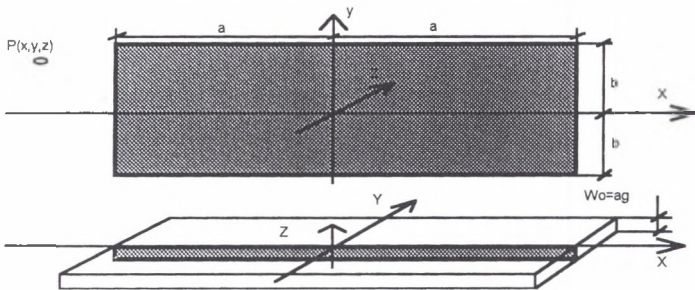
gdzie: H - głębokość zalegania pokładu;

γ - średni ciężar objętościowy skał stropowych;

$n = \nu/(1 - \nu)$ współczynnik poziomego rozpięcia; ν - współczynnik Poissona;

α - kąt nachylenia warstw.

Stan naprężenia wywołany w górotworze elementarnym wybraniem w kształcie prostokąta o bokach $2a$ i $2b$ przy przyjętych poniższych¹ (3a), (3b), (3c) warunkach brzegowych:



Rys.1. Schemat geometrii zrobów poeksploatacyjnych przyjęty przez H. Gila [10] dla wyprowadzenia wzorów (4) - (9)

Fig. 1. Diagram of the geometry of abandoned workings assumed by H. Gil [10] to derive equations (4) - (9)

$$\sigma_{xz} = \sigma_{yz} = 0 \text{ dla całej płaszczyzny } z, \quad (3A)$$

$$w(x,y,0) = \begin{cases} -w_0 & \text{dla } |x| \leq a \text{ i } |y| \leq b \\ 0 & \text{na pozostałym obszarze} \end{cases} \quad (3B)$$

$$\text{dla } z \rightarrow \infty \text{ wszystkie składowe naprężeń maleją do wielkości zerowej.} \quad (3C)$$

Zgodnie z rozwiązaniem H. Gila [10] można wyliczyć z zależności (4)-(9):

$$\sigma_x = \frac{G}{(1-\nu)} \left[2\nu \frac{\partial f_2}{\partial z} + 2(1-\nu) \frac{\partial f_1}{\partial x} - z \frac{\partial^2 f_3}{\partial x^2} \right] \quad (4)$$

¹ Podobne rozwiązanie uzyskał F. Dymek [9], który zamiast warunku (3A) przyjął, że dla $z=0$ (strop pokładu) przemieszczenia poziome U_x, U_y są równe zero. Autor niniejszego artykułu testując obydwa rozwiązania stwierdził, że w zakresie przemieszczeń pionowych oraz naprężeń rozwiązania H. Gila [10] i F. Dymka [9] dają bardzo zbliżone wyniki.

$$\sigma_y = \frac{G}{(1-\nu)} \left[2 \frac{\partial f_3}{\partial z} + 2(1-\nu) \frac{\partial f_2}{\partial y} - z \frac{\partial^2 f_3}{\partial y^2} \right] \quad (5)$$

$$\sigma_z = \frac{G}{(1-\nu)} \left[\frac{\partial f_3}{\partial z} - z \frac{\partial^2 f_3}{\partial x \partial z} \right] \quad (6)$$

$$\sigma_{zx} = \frac{G}{1-\nu} z \frac{\partial^2 f_3}{\partial x \partial z} \quad (7)$$

$$\sigma_{zy} = \frac{G}{1-\nu} z \frac{\partial^2 f_3}{\partial y \partial z} \quad (8)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{G}{1-\nu} \left[(1-\nu) \left(\frac{\partial f_1}{\partial y} + \frac{\partial f_2}{\partial x} \right) - z \frac{\partial^2 f_3}{\partial x \partial y} \right] \quad (9)$$

gdzie:

$$f_3(x, y, z) = -\frac{w_0}{2\pi} \left\{ \arctg \frac{(a-x)(b+y)}{zr_1} + \arctg \frac{(a+x)(b-y)}{zr_2} + \right. \\ \left. + \arctg \frac{(a+x)(b+y)}{zr_3} + \arctg \frac{(a-x)(b-y)}{zr_4} \right\}$$

$$f_1 = \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \int_z^\infty \frac{\partial f_3}{\partial x} dz; \quad f_2 = \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \int_z^\infty \frac{\partial f_3}{\partial y} dz;$$

$$r_1^2 = (a-x)^2 + (b-y)^2 + z^2$$

$$r_2^2 = (a+x)^2 + (b-y)^2 + z^2$$

$$r_3^2 = (a+x)^2 + (b+y)^2 + z^2$$

$$r_4^2 = (a-x)^2 + (b+y)^2 + z^2$$

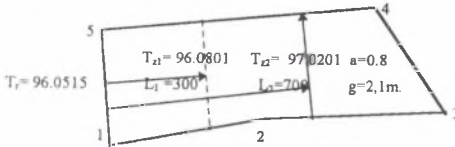
gdzie: G - moduł sprężystości postaciowej.

Z uwagi na objętość artykułu nie przytoczono tu wzorów opisujących składowe wektora przemieszczenia punktu i składowe tensora stanu odkształcenia w punkcie P(x,y,z).

2.2. Opis danych wejściowych

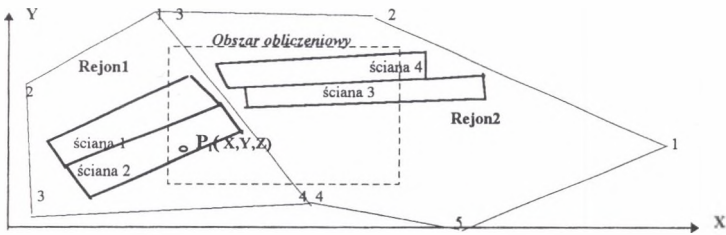
- *Opis eksploatacji górniczej* - identyczny z opisem stosowanym w problematyce szkód górniczych [3]. Podstawową jednostkę informacji stanowi opis jednego pola ścianowego. Kształt pola ścianowego może być praktycznie dowolny, gdyż aproksymujemy go wielobokiem (<28 boków). Wielobok ten opisujemy wprowadzając współrzędne X, Y, (Z) wierzchołków wieloboku parceli. Zakładamy w ramach pola ścianowego stałą wysokość

furty eksploatacyjnej $W_0 = ag$. Przebieg eksploatacji w czasie jest zdefiniowany następująco: zakładamy, że pierwszy i ostatni wierzchołek wieloboku parceli opisuje nam miejsce rozruchu ściany (przecinkę ścianową). Przyjmujemy dalej, że w kolejnych położeniach front ściany będzie równoległy do przecinki ścianowej. Definiujemy przebieg eksploatacji w czasie wprowadzając datę rozruchu ściany T_r , a następnie podajemy wartości wybiegów ściany L_i (tj. odległości frontu ściany od przecinki) i daty T_{zi} osiągnięcia tych wybiegów.



Rys.2. Zasady opisu eksploatacji jednego pola ścianowego
Fig.2. Principles of describing the mining of one longwall field

- *Przybliżony opis tektoniki interesującego nas rejonu* - wprowadzamy w postaci wieloboków (zwanych dalej Rejonami) zdefiniowanych ciągiem współrzędnych X,Y,Z. Tworzą one opis nachylonej warstwy skalnej, na poziomie której będą wykonywane obliczenia. W przypadku obszaru poprzecinanego uskokami będzie to opis kilku przylegających do siebie wieloboków (Rejonów).



Rys.3. Przyjęty w programie komputerowym schemat opisu geometrii wielościennej eksploatacji położonej w dwóch odległych jednostkach tektonicznych oddzielonych uskokiem

Fig.3. Diagram assumed in the computer programme involving the description of multi-wall mining located in two separate tectonic units separated by a fault

- *Pionowe odległości parcel od powierzchni wieloboków (powierzchni obliczeniowej)* oraz ewentualne współczynniki korygujące (liczby z przedziału 0÷1) intensywność oddziaływania poszczególnych parcel.

- *Parametry mechaniczne skał*: kohezja - G , liczba Poissona - ν , stałe teorii sprężystości (kohezja - c , kąt tarcia - \varnothing , spójność - R_c , parametry kryterium wyężeniowego Coulomba-Mohra, parametry relaksacji (a_{rel} , t_{rel}).
- *Czasowy i przestrzenny zakres obliczeń*: określamy początek i koniec przedziału czasu, w którym będą wyszukiwane ekstremalne w czasie wartości naprężeń i wyężenia skał. Określamy położenie i rozmiar prostokąta stanowiące rozpatrywany obszar obliczeniowy.

2.3. Algorytm obliczania ekstremalnych w czasie składowych tensora stanu naprężenia

- Program dokonuje dyskretyzacji prostokątnego obszaru obliczeniowego zakładając w nim siatkę punktów obliczeniowych położonych w odległości poziomej $d = 10 \div 20$ m. Cały cykl obliczeń jest powtarzany dla wszystkich punktów siatki.
- Po ustaleniu współrzędnych kolejnego punktu P_i program sprawdza, do którego wieloboku (Rejonu) należy ten punkt, a następnie oblicza (interpoluje) współrzędną „z” punktu P oraz jego głębokość „h”. Oblicza również średnie nachylenie „ α ” powierzchni Rejonu. Ze wzorów (1), (2) obliczane są składowe p_x , p_y , p_z naprężenia pierwotnego. W oparciu o wprowadzoną wartość kroku czasowego Δt (np. 0.01 roku) i czasowy zakres analizowanej eksploatacji (np. stare zroby od 1932 r., eksploatacja projektowana do 2005 r.) ustalana jest ilość j_{max} odcinków czasu Δt . Program generuje w pamięci operacyjnej tablice $S_x(1..j_{max})$, $S_y(1..j_{max})$, ..., $S_z(1..j_{max})$, w których będą zapamiętywane przyrosty w czasie kolejnych składowych tensora stanu odkształcenia w czasie Δt .
- Dla każdej (i -tej) parceli eksploatacyjnej wykonywane są następujące czynności:
 - Ustalana jest przynależność do Rejonu.
 - Gdy parcela należy do tego samego Rejonu co punkt obliczeniowy, to pionowa odległość „dh” punktu obliczeniowego P od powierzchni parceli jest taka, jaką wprowadziliśmy, w przeciwnym przypadku program zwiększy lub zmniejszy „dh” o wartość odpowiadającą zrzutowi uskoku (nasunięcia) stanowiącego granicę pomiędzy rejonem, w którym znajduje się punkt obliczeniowy, a rejonem, w którym znajduje się parcela.
 - W oparciu o odległość dh i osiadanie stropu W_0 obliczana jest dla całej parceli wartość zastępczej współrzędnej pionowej z występującej we wzorach (3)÷(9).
 - Dla uwzględnienia dewiacji wpływów spowodowanych nachyleniem pokładów (Rejonów) kontur parceli przesuwany jest o wielkość $p_z = dh \cdot \text{tg}(0.7\alpha)$ w stronę upadu,

gdy parcela znajduje się poniżej poziomu obliczeniowego, lub w stronę wzniosu, gdy parcela jest ponad poziomem obliczeniowym.

E. Cała parcela jest podzielona na elementarne pasy równoległe do przecinki ścianowej. Szerokość pasów odpowiada postępowi ściany w czasie Δt . Pasy te są trapezami. Gdy są one dostatecznie wąskie, to odpowiadające im trapezy można zamienić na równoważne prostokąty, do których znajdują zastosowanie wzory (3) ÷ (9).

Korzystając ze wzorów (3) ÷ (9), wzorów na transformację układu współrzędnych oraz transformację tensora naprężenia, obliczamy przyrost naprężeń σ_{xij} , ... σ_{yzij} spowodowanych eksploatacją kolejnych fragmentów parceli (kolejnych pasków). Przyrost ten odpowiada przyrostowi naprężeń do kolejnej (i -tej) ściany w j -tym przedziale czasu $t \in (t_j, t_j + \Delta t)$. Dodajemy składowe tego przyrostu do przyrostów naprężeń w tym samym przedziale czasu spowodowane przez inne ściany:

$$S_x(j) \leftarrow S_x(j) + \sigma_{xij}; \quad S_y(j) \leftarrow S_y(j) + \sigma_{yij}; \quad \dots \quad S_{yz}(j) \leftarrow S_{yz}(j) + \sigma_{yzij};$$

IV. Ciągi przyrostów naprężeń zawarte w tablicach $S_x(1..j_{\max})$, $S_y(1..j_{\max})$, ... $S_{yz}(1..j_{\max})$ przekształcamy w ciągi zmiennych w czasie składowych tensora naprężeń. Do tych składowych dodajemy również wartości składowych naprężenia pierwotnego p_x , p_y , p_z . Dla ułatwienia faktu, że z upływem czasu maleje intensywność oddziaływania zaszości eksploatacyjnych, przyjęto, że składowe naprężenia podlegają zjawisku relaksacji według reologicznego modelu „standard”, tzn. proces relaksacji przebiega zgodnie ze wzorem²:

$$\sigma_{\text{rel}}(t) = a_{\text{rel}}\sigma(t) + (1 - a_{\text{rel}}) \int_0^t \frac{\partial \sigma(\tau)}{\partial \tau} \exp\left(-\frac{t-\tau}{t_{\text{rel}}}\right) d\tau \quad (10)$$

gdzie:

σ_{rel} - obliczana wartość składowej naprężenia z uwzględnieniem procesu relaksacji,

$\sigma(t)$ - wartość składowej tensora stanu naprężenia w chwili t obliczona bez uwzględnienia zjawiska relaksacji,

a_{rel} - współczynnik ten określa, do jakiej wartości maleją naprężenia σ_{rel} po upływie długiego czasu: $a_{\text{rel}} = 1$ to brak procesu relaksacji,

$a_{\text{rel}} = 0$, to relaksacja zachodzi wg modelu Kelvina.

² W sposób analogiczny jak we wzorze (10) programy komputerowe serii EDN [3] opracowane przez autora obliczają tzw. odkształcenia efektywne (albo zastępcze). Jest to pewien wskaźnik szkodliwości wpływów eksploatacji podziemnej porównywany z odkształceniem poziomym. Wskaźnik ten maleje z upływem czasu, podobnie jak maleją wskutek relaksacji naprężenia w układzie grunt - fundamenty budynku. Ekstremalne w czasie odkształcenia efektywne są dobrym wskaźnikiem szkodliwości zarówno wpływów wieloletnich, jak i wpływów szybko ujawniających się wskutek eksploatacji prowadzonej z dużym postępowaniem [4].

- V. Dysponując ciągiem wartości składowych tensora naprężenia zmieniających się w czasie z dokładnością do Δt (kilka dni), możemy dokonać sprawdzenia, czy w tym czasie nastąpiło przekroczenie przyjętego kryterium wytrzymałościowego skał.
- VI. Podobnie możemy znaleźć największe i najmniejsze (ekstremalne w czasie) wartości składowych tensora stanu naprężenia.

3. Przykład obliczeń prognostycznych

KWK X planuje eksploatację pokładu o grubości ok. 1.8 m ścianami nr 3,4,5. Ściany te (rys.4,5,6) będą eksploatowane na głębokościach:

ściana 3 od 800 do 850 m,

ściana 4 od 850 do 900 m,

ściana 5 od 900 do 950 m.

Z uwagi na minimalizację deformacji powierzchni wstępnie zaplanowano, że ściany 4 i 5 będą wybierane jednocześnie. Okazało się jednak, że należy powtórnie przeanalizować projekt eksploatacji, gdyż po jego sporządzeniu w czasie eksploatacji jednocześnie prowadzonych ścian 1 i 2 pod pasem resztek (rejon A i B) w pokładach wyżej leżących wystąpiła seria dość silnych wstrząsów, które wywołały zaniepokojenie ludności. Ściany 1 i 2 znajdowały się na głębokości od 750 do 800 m.

Analiza ma odpowiedzieć na pytania:

- Czy eksploatacji ścian 3, 4 i 5 będzie towarzyszyć zagrożenie sejsmiczne większe niż w przypadku eksploatacji ścian 1 i 2.
- Czy ściany 4 i 5 z uwagi na minimalizację zagrożenia sejsmicznego należy prowadzić razem czy osobno.

Rys.4 przedstawia wyniki obliczeń prognostycznych w formie mapy warstwicznej składowej pionowej naprężenia obliczonego z uwzględnieniem relaksacji. Jest tu pokazany końcowy stan naprężenia przed wybraniem ścian 1, 2, 3, 4 i 5. Z rysunku tego wynika, że na wybiegu ścian 1 i 2 znajdują się strefy A i B o większych niż pierwotne naprężeniach pionowych $\sigma_z < -19$ MPa. Stwierdzoną podwyższoną aktywność sejsmiczną można tłumaczyć tym, że długi front (400 m) jednocześnie prowadzonych ścian 1 i 2 przechodził przez rozległy (liczący również ok. 400 m) rejon podwyższonych naprężeń w strefach A i B.

Naprężenia < -19 MPa, które uznaliśmy za niebezpieczne, występują również w strefie C na prawie całym wybiegu ściany 3. Jest to jednak stosunkowo wąska i jednorodna strefa o szerokości < 100 m wynikająca z aktualnego położenia granicy zrobów w analizowanym pokładzie. Zwraca uwagę fakt, że w rejonie ścian 4 i 5 znajduje się rozległa strefa D i E, którą można uznać za strefę słabo odprężoną, gdyż naprężenia w niej są bliskie -19 MPa. Prognoza pokazana na tym rysunku nie daje żadnych wskazówek odnośnie do wyboru odpowiedniego czasoprzestrzennego wariantu eksploatacji ścian 4 i 5.



Rys.4. Naprężenie w stropie pokładu - stan przed eksploatacją ścian 1,2,3,4 i 5
 Fig.4. Stress in the seam roof - before mining of the longwalls 1,2,3,4,5

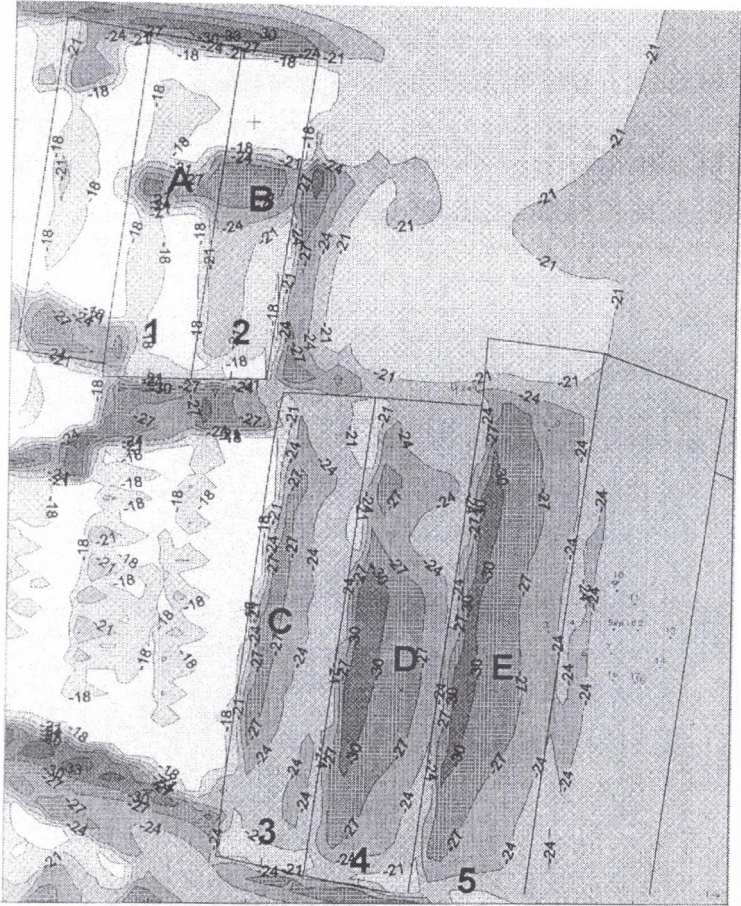
Rys.5 i 6 przedstawiają wyniki obliczeń ekstremalnej w czasie składowej pionowej naprężenia obliczonej za okres eksploatacji ścian 1 - 5 z uwzględnieniem wszystkich zaszczości eksploatacyjnych. W obliczeniach uwzględniono zjawisko relaksacji. Obliczenia te wykonano dla oceny wpływu koordynacji wybierania ścianami 4 i 5 na aktywność sejsmiczną.

Rys.5 przedstawia wyniki obliczeń dla przypadku jednoczesnego wybierania ścianami 4 i 5, natomiast rys.6 przedstawia przypadek, gdy eksploatacja ściany 5 nastąpi po wybraniu ściany 4.



Rys.5. Ekstremalne w czasie naprężenia pionowe w stropie pokładu - ściana 5 prowadzona równocześnie ze ścianą 4

Fig.5. Time-extreme vertical stress in the seam roof - the longwall 5 mined simultaneously with the longwall 4



Rys.6. Ekstremalne w czasie naprężenia pionowe w stropie pokładu - ściana 5 prowadzona po wybraniu ściany 4
 Fig.6. Time-extreme vertical stress in the seam roof - longwall 5 mined after mining of the longwall 4

Z rysunków 5 i 6 wynika, że strefę zwiększonej aktywności sejsmicznej A i B wyznacza warstwica -24 MPa. Trzeba wyjaśnić, że ta zwiększona wartość naprężenia kryterialnego (poprzednio przyjmowano -19 MPa) jest sumą naprężenia pokazanego na rys. 4 i dodatkowe naprężenia, które występowało przed postępującymi frontami ścian.

W przypadku jednoczesnej eksploatacji ścian 4 i 5 (rys.5) wystąpi bardzo szeroka, licząca ok. 500 m strefa D i E naprężeń <-24 MPa. Pękaniu skał w tej szerokiej strefie wzdłuż długiego frontu eksploatacyjnego mogą towarzyszyć wysokoenergetyczne wstrząsy, podobnie jak to miało miejsce w czasie eksploatacji ścian 1 i 2.

W przypadku eksploatacji prowadzonej oddzielnie w rejonach D i E również wystąpią strefy o naprężeniach takich jak w strefach A i B. Będą to jednak znacznie węższe strefy o szerokości < 250 m. Należy mieć nadzieję, że w czasie eksploatacji ścian 4 i 5 prowadzonej według tego wariantu maksymalne energie wstrząsów będą 2 do 3 razy mniejsze niż w trakcie eksploatacji ścian 1 i 2.

W obydwu wariantach ogólna powierzchnia stref o naprężeniach < -24 MPa jest znacznie większa niż w przypadku eksploatacji prowadzonej ścianami 1 i 2, dlatego nawet w wariantcie niezależnej eksploatacji należy przewidywać dużą ilość wstrząsów niskoenergetycznych, które zwłaszcza w nocy są odczuwalne przez ludzi. Trzeba dodać, że wariant oddzielnej eksploatacji ścian 4 i 5 spowoduje w rejonie D nieco większe odkształcenia poziome powierzchni. Ten stosunkowo nieduży wzrost deformacji ciągłych uznajemy za mniejsze zło niż możliwy znaczny wzrost energii maksymalnej wstrząsów.

4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono niektóre możliwości, jakie stwarza program komputerowy EEN48 opracowany przez autora. Program uwzględnia czasoprzestrzenny charakter eksploatacji górniczej i wynikające stąd konsekwencje w postaci zmieniających się z upływem czasu składowych tensorów stanu naprężenia i odkształcenia.

Obliczone rozkłady ekstremalnych w czasie składowych tensora naprężenia umożliwiają ocenę wpływu koordynacji robót górniczych na stan aktywności sejsmicznej i zagrożenia tąpnięciami.

Należy podkreślić porównawczy charakter opisywanej metody, gdyż do wykonania prognozy zagrożenia tąpnięciami górniczymi w oparciu o obliczone rozkłady naprężeń konieczne jest wykonanie analogicznych prognoz dla rejonów sąsiednich o znanej aktywności sejsmicznej. Znając relację między zaistniałymi przejawami naprężeń a obliczonym odpowiadającym im rozkładem naprężeń (wytężeniem skał) można w oparciu o analogiczne obliczenia prognostyczne wnioskować o stanie zagrożenia tąpnięciami i wstrząsami górniczymi w rejonie projektowanych robót górniczych.

Omawiana metoda analityczna stanowi uzupełnienie powszechnie stosowanych metod geofizycznych, gdyż pozwala na wstępną ocenę zagrożenia tapaniami i wstrząsami tam, gdzie nie można wykonać pomiarów geofizycznych, gdyż nie ma tam jeszcze wyrobisk górniczych.

Prognozowanie stanu zagrożenia tapaniami w oparciu o obliczone rozkłady naprężeń pozwala na uściślenie podstawowej w problematyce tapani metody rozeznania górniczego.

Opracowany program komputerowy pozwala również na obliczanie zmieniających się z upływem czasu stanów energetycznych górotworu (z dokładnością do przyjętego modelu ośrodka). Daje to możliwość ilościowego porównania obliczonych zmian energetycznych górotworu z emisją sejsmiczną zaobserwowaną w tym samym czasie i obszarze. Ustalone relacje pomiędzy obliczonymi zmianami energetycznymi a wskaźnikami zaobserwowanej emisji sejsmicznej pozwalają na sporządzenie prognoz emisji sejsmicznej w rejonie projektowanej eksploatacji. Dlatego możliwe będzie udoskonalenie rozwijanej w Instytucie Eksploatacji Żłóż metody prognozowania emisji sejsmicznej, która dotychczas były korelowane ze zmieniającymi się w czasie składowymi tensora odkształcenia górotworu [1], [8],[11].

LITERATURA

1. Bańka P., 1996: Metoda prognozowania czasowych zmian aktywności sejsmicznej w oparciu o deformacje górotworu wywołane eksploatacją górniczą. Praca doktorska niepublikowana. Politechnika Śląska, Gliwice.
2. Białek J., 1980: Algorytm obliczania chwilowych i czasowo-ekstremalnych wskaźników deformacji przestrzennej dynamicznej niecki osiadania wraz z oprogramowaniem. Praca doktorska niepublikowana. Politechnika Śląska, Gliwice.
3. Białek J., Drzęzła B., 1993: Przegląd aktualnego stanu oprogramowania problematyki prognozowania poeksploatacyjnych deformacji górotworu. Materiały konferencyjne II Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenu Górniczego. Ustroń Jaszowiec 19-21 maja 1993.
4. Białek J., 1996: Wpływ postępu frontu ścianowego na szkody w obiektach. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 7 (23)/96. Miesięcznik WUD.

5. Białek J., Jaworski A., Bańka P., Gerlach Z., 1997: Wykorzystanie wyników obserwacji geofizycznych do oceny metodami analitycznymi zagrożenia wstrząsami i tąpnięciami. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej organizowanej przez Centrum Podst. Probl. Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN.
6. Drzęźła B., Białek J., Jaworski A., 1988: Metoda prognozowania rozkładów naprężeń w strefach oddziaływania zaszczości eksploatacyjnych. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sc., M.-10.
7. Drzęźła B., Białek J., Jaworski A., Bańka P., 1996: Zastosowanie analitycznych prognoz stanu naprężeń przy projektowaniu lokalizacji wyrobisk górniczych. Prace GIG, seria Konferencje nr 16, Katowice 1996.
8. Drzęźła B., Białek J., Jaworski A., Bańka P., Kołodziejczyk P., 1994: Badanie związków sejsmiczności indukowanej eksploatacją górnictw z parametrami opisującymi deformacje ośrodka skalnego. Sprawozdanie końcowe z realizacji projektu badawczego KBN nr 903759101. Pol.Śl. Gliwice.
9. Dymek F., 1969: Przemieszczeniowe zadanie brzegowe przestrzennej teorii sprężystości i jego zastosowanie do zagadnień mechaniki górotworu. Archiwum Górnictwa. Tom XIV, Zeszyt 3.
10. Gil H., 1991: The Theory of Strata Mechanics, PWN - Polish Scientific Publishers.
11. Jaworski A., 1995: Związek pomiędzy deformacją górotworu a wydatkiem energetycznym wstrząsów z rejonu kopalń Bobrek i Miechowice. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, zeszyt nr 225.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zdzisław Kłeczek

Abstract

The paper presents opportunities offered by a recently prepared computer program which allows to forecast time-extreme stresses of roof layers over longwalls. The formulae applied describe the state of stresses and deformations and they have been derived on the assumption of dislocation boundary conditions in the seam pillar for a linear and elastic model of rockmass. The application of this relatively simple mathematical model allowed to make an effective

observation of the changes in stresses during the progression of any geometrically complicated longwall mining of a seam deposit. The program gives the opportunity to estimate the influence of the co-ordination of mining fronts on the distribution of time-extreme stress components, which can be treated as the indicators of afterburst and seismic events hazards.