

Henryk GIL

MATEMATYCZNE UJĘCIE MAKROSKOPOWEGO MECHANIZMU
TĄPAŃ POKŁADOWYCH

Streszczenie. W pracy podano analityczne podstawy mechanizmu powstawania tąpań pokładowych przy czynnym i zatrzymanym froncie eksploatacji oraz w czole wyrobiska chodnikowego dla pokładów zalegających poziomo i nachylonych. Ustalono kryterium tąpnięcia pokładowego, wyprowadzone w oparciu o teorię szczelin. Pokazano, jak składowa naprężenia pierwotnego działająca w płaszczyźnie pokładu wpływa na wytrzymałość calizny węglowej w czole wyrobiska. Podano sposób wyznaczania "in situ" zastępczego modułu sprężystości górotworu w warunkach kopalni "Wujek".

1. WSTĘP

Tąpania pokładowe należą do najczęściej spotykanych w kopalniach węgla. Mechanizmowi takich tąpań poświęcono wiele uwagi, co znalazło wyraz w publikacjach ogłoszonych na ten temat zarówno w Polsce jak i za granicą. Szczegółowy zestaw literatury znajduje się w monografiach (5) (6).

Na podstawie obserwacji przeprowadzonych w kopalniach stwierdzono, że węgiel w pokładzie w momencie poprzedzającym tąpnięcie dzieli się na pionowe słupy, które z kolei ulegają gwałtownemu kruchemu pękaniu. W efekcie gwałtownego zniszczenia struktury węgla zostaje on wyrzucony do wyrobiska, powodując zniszczenie obudowy i wypadki wśród pracującej w wyrobisku załogi.

Tąpania pokładowe występują wówczas, gdy spełnione są trzy podstawowe warunki:

1. Węgiel w pokładzie musi być skłonny do tąpań.
 2. Warstwy stropowe i spągowe muszą posiadać wytrzymałość większą od węgla.
 3. Stan naprężenia w pokładzie musi osiągnąć stan krytyczny.
- Skłonność substancji węglowej do tąpań jest cechą naturalną pewnych węgli, zależną głównie od ich składu petrograficznego i wilgotności. Pewną miarą tej skłonności może być wskaźnik laboratoryjny określony jako stosunek energii wyzwolonej przy rozpadzie próbki do energii sprężystej zmagazynowanej w próbce do chwili jej zniszczenia (4).

$$\eta = \frac{\phi_k}{\phi_s}$$

(1.1)

Stosunek powyższy został nazwany sprawnością tąpnięcia i wyrażany jest zwykle w procentach. Pozostałe dwa warunki sugerują pytanie: czy wytrzymałość calizny węglowej jest wielkością niezależną od panujących w górotworze naprężeń, czy też pierwotne naprężenie górotworu uwarunkowane głębokością zalegania pokładu zmienia nie tylko naprężenia w sąsiedztwie wyrobiska ale również wytrzymałość calizny węglowej. Odpowiedź na to pytanie stanowi zasadniczy problem w zagadnieniu tąpań w kopalniach, zwłaszcza przy schodzeniu z eksploatacją na coraz to większe głębokości. Wiąże się to bowiem z coraz dokładniejszym wyznaczaniem obszarów zagrożonych tąpnięciami metodami analitycznymi. W niniejszej pracy ustalono kryterium tąpnięcia pokładowego i pokazano jak składowa naprężenia pierwotnego działająca w płaszczyźnie pokładu wpływa na wytrzymałość calizny węglowej w czole wyrobiska ścianowego i chodnikowego.

2. KRYTERIUM TĄPNIECIA POKŁADOWEGO

Ustalenie kryterium tąpnięcia pokładowego w postaci wzoru matematycznego wymaga znajomości rozkładu i wartości naprężeń w sąsiedztwie wyrobiska ścianowego lub chodnikowego.

Stan naprężenia w sąsiedztwie tych wyrobisk zależy głównie od głębokości zalegania pokładu sposobu eksploatacji, grubości pokładu, czasu, prędkości frontu eksploatacji oraz własności mechanicznych węgla i skał otaczających. Te parametry fizyczne i geometryczne decydują również o wystąpieniu tąpnięcia. Dla dalszych rozważań koniecznym jest wprowadzenie nowej definicji tąpnięcia, podchodząc do tego zjawiska z punktu widzenia teorii szczelin. Wyrobisko ścianowe lub chodnikowe, wobec ich niewielkiej wysokości należy traktować w górotworze jak szczelinę, a tąpnięcie pokładowe definiujemy jako propagację tej szczeliny w polu naprężeń ściskających. Propagacja nastąpi wówczas, gdy równocześnie stworzone zostaną warunki propagacji szczelin równoległych do czoła ściany lub chodnika (podział na słupy) i przekroczona zostanie wytrzymałość węgla na styku pokładu ze stropem. Następuje wówczas gwałtowne wyrzucenie węgla w kierunku wyrobiska. Od wielkości naprężenia zależy na jaką głębokość sięgnie propagacja szczeliny, tzn. jak duży obszar w głąb pokładu obejmie tąpnięcie. Opisany powyżej makroskopowy mechanizm tąpnięcia można ująć matematycznie, przyjmując pewien uproszczony model zjawiska. Ściskanie pokładu między spągami a stropem można w przybliżeniu potraktować jako ściskanie kruchej pasma między dwoma sztywnymi płytami. Stan krytyczny naprężenia w pokładzie w pewnej niewielkiej odległości od ociosu ściany lub chodnika można otrzymać z rozwiązania Prandla (7) po jego prostej modyfikacji. Rozwiązanie to ma postać:

$$\sigma_x = \bar{p} - k \frac{x}{h} + 2k \sqrt{1 - \frac{z^2}{h^2}} \quad (2.1)$$

$$\sigma_z = \bar{p} - k \frac{x}{h}; \quad \tau = k \frac{z}{h}, \quad (2.2)$$

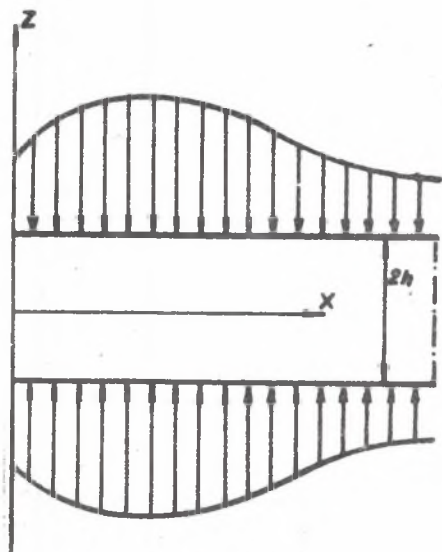
gdzie:

$\tilde{p}$ - stała dowolna,

k - stała plastyczności węgla,

h - połowa grubości pokładu,

x, z - współrzędne kartezjańskie pokazane na rys. 1.



Rys. 1

Modyfikacja dotyczy tylko zależności (2.1) i polega na dodaniu do jej prawej strony składowej naprężenia pierwotnego, działającej w płaszczyźnie pokładu. Superpozycja taka jest konieczna, gdyż ściskany pokład posiada wstępne sprężenie. Zależność (2.1) przyjmuje wówczas postać:

$$\tilde{\sigma}_x^* = \tilde{p} - k \frac{x}{h} + 2k \sqrt{1 - \frac{z^2}{h^2}} - n\eta H, \quad (2.3)$$

gdzie:

$$n = \frac{\nu}{1-\nu}$$

ν - współczynnik Poissona,

H - głębokość zalegania pokładu.

Zależności (2.2) pozostają bez zmian, gdyż składową naprężenia pierwotnego, prostopadłą do płaszczyzny pokładu, można traktować ja-

ko obciążenie zewnętrzne, pomijając przyrost naprężenia wywołany grubością pokładu. Stałą $\tilde{p}$ w równaniach (2.2) i (2.3) można wyznaczyć w ten sposób, by spełniony był warunek powstawania szczelin równoległych do ociosu wyrobiska. Pękanie słupowe węgla w pokładzie jest fizycznie równoznaczne ze spadkiem do zera sił działających prostopadle do płaszczyzn pękania.

Całka z funkcji naprężenia poziomego wzięta po całej grubości pokładu i przyrównana do zera obrazuje pękanie słupowe w płaszczyźnie $x = l_0$. Oznaczając przez $x = l_0$ położenie szczeliny równoległej do ociosu wyrobiska, otrzymujemy zgodnie z (2.3) następujący warunek:

$$\tilde{p} h - k l_0 + k \int_{-h}^h \sqrt{1 - \frac{z^2}{h^2}} dz - n\eta H \cdot h \leq 0 \quad (2.4)$$

i stąd

$$\tilde{p} = n\eta H + k \frac{l_0}{h} - \frac{\pi}{2} k \quad (2.5)$$

Parametr l_0 obrazujący zasięg propagacji szczeliny (zasięg tąpnięcia) na-

leży określić z warunku, że naprężenie $\bar{\sigma}_z$ na styku pokładu ze stropem dla $x = l_0$ wyrażone wzorem (2.2) równa się sumie składowych wywołanych wyrobiskiem i głębokością. Oznaczając składową wywołaną wyrobiskiem przez $\sigma_z(x, t)$, otrzymujemy kryterium propagacji szczeliny w postaci następującej:

$$\bar{\sigma}_z(l_0) = \sigma_z(l_0, t) - \eta H, \quad (2.6)$$

lub po uwzględnieniu (2.5) i wzoru (2.2)

$$-\frac{\pi k}{2} + n\eta H = \sigma_z(l_0, t) - \eta H. \quad (2.7)$$

Kryterium powyższe obowiązuje dla pokładu zalegającego poziomo. W przypadku, gdy pokład zalega pod kątem α normalne składowe naprężenia pierwotnego można wyrazić następująco:

$$p = -\eta H (\cos\alpha + n \sin\alpha) \quad (2.8)$$

$$q = -\eta H (\sin\alpha + n \cos\alpha), \quad (2.9)$$

gdzie:

p - składowa prostopadła do pokładu,

q - składowa działająca w płaszczyźnie pokładu.

Wzory (2.8) i (2.9) obowiązują w punkcie, ale wobec niewielkiej wartości l_0 można je stosować w przedziale $(0, l_0)$, nie uwzględniając zmiany z wysokością. Dla pokładu nachylonego kryterium (2.7) przyjmie postać:

$$-\frac{\pi k}{2} + \eta H (\sin\alpha + n \cos\alpha) = \sigma_z(l_0, t) - \eta H (\cos\alpha + n \sin\alpha). \quad (2.10)^x$$

Kryterium powyższe można stosować wówczas, jeśli znany jest rozkład naprężenia pionowego $\sigma_z(x, t)$ w ociosie wyrobiska ścianowego lub chodnikowego. Rozkład taki należy wyznaczać z niezależnych rozwiązań. Lewa strona równości (2.10) określa wytrzymałość calizny węglowej w pokładzie. Istotny wpływ na tę wytrzymałość posiada składowa naprężenia pierwotnego, działająca w płaszczyźnie pokładu, zależna od głębokości i kąta nachylenia pokładu. Ze wzrostem głębokości wytrzymałość calizny węglowej maleje. Łatwo również oszacować wpływ kąta nachylenia pokładu na wytrzymałość. Wyrażenie

$$\eta H (\sin\alpha + n \cos\alpha) \quad (2.11)$$

osiąga maksimum dla $\alpha = \arctg \frac{1}{n}$.

Dla znacznych głębokości współczynnik n jest bliski jedności i wówczas $\alpha = 45^\circ$.

Dla takiego kąta nachylenia wyrażenie (2.11) osiąga wartość ok. 40% większą, w stosunku do wartości przy poziomym zaleganiu. Fakt, że wytrzymałość

^xWzór (2.10) jest słuszny dla dużych głębokości.

calizny węglowej maleje wraz ze wzrostem głębokości i kąta nachylenia pokładu, posiada podstawowe znaczenie przy prognozowaniu stref zagrożonych tapaniami w kopalniach.

3. KRYTERIUM TĄPIŃCIA PRZY CZYNNYM FRONCIE EKSPLOATACJI

W praktyce spotyka się często przypadek wybierania pokładu tąpniącego w górotworze nieodprężonym. Jest on zwykle pokładem odprężającym dla pokładów sąsiednich będąc także zagrożonym, zwłaszcza na znacznych głębokościach. Podobny charakter posiada również wybieranie pierwszej warstwy pokładu grubego jako warstwy odprężającej.

Kryterium tąpnięcia w czynnym wyrobisku ścianowym można wówczas ustalić specyfikując we wzorze (2.10) wyrażenie $\sigma_z(l_0, t)$.

Rozkład naprężeń w stropie pokładu przy czynnym froncie eksploatacji podaje wzór wyprowadzony w pracy (1).

$$\sigma_z(x, t) = \frac{2G w_0}{x} \left\{ -\frac{1}{x+vt} (1 - e^{-\beta t}) + \frac{\beta}{v} e^{\frac{\beta}{v} x} E_1\left(\frac{\beta}{v} x\right) - \right. \\ \left. - \frac{\beta}{v} e^{-\beta t} e^{\frac{\beta}{v} (x+vt)} E_1\left[\frac{\beta}{v} (x + vt)\right] \right\} \quad (3.1)$$

Wzór (3.1) obowiązuje dla eksploatacji prowadzonej z podsadzką hydrauliczną.

Parametry występujące w tym wzorze posiadają następujący sens:

$w_0 = \tilde{\eta} g$ - osiadanie końcowe stropu wyrobiska uwarunkowane ściśliwością podsadzki ($\tilde{\eta}$) i grubością wybieranego pokładu (g), przyjmowane ze znakiem ujemnym,

G - zastępczy moduł sprężystości warstw górotworu,

β - współczynnik charakteryzujący prędkość osiadania stropu wyrobiska,

v - prędkość frontu eksploatacji,

t - czas liczony od chwili rozpoczęcia eksploatacji,

x - współrzędna bieżąca układu ruchomego o początku na krawędzi czynnego wyrobiska ścianowego.

$$E_1(\lambda) = \int_{\lambda}^{\infty} \frac{e^{-s}}{s} ds - \text{funkcja specjalna - stabilizowana} \quad (2).$$

Dla znacznych wybiegów ścian otrzymuje się wzór prostszy, przechodząc we wzorze (3.1) do granicy dla $vt \rightarrow \infty$. Wzór ten ma postać:

$$\sigma_z(x) = \frac{2G w_0 \beta}{xv} e^{\frac{\beta}{v} x} E_1\left(\frac{\beta}{v} x\right) \quad (3.2)$$

Uwzględnienie wzorów (3.1) lub (3.2) w równości (2.10) daje poszukiwane kryterium tąpnięcia pokładowego dla czynnego wyrobiska ścianowego. Dla

prostsze wzoru (3.2), kryterium to ma postać:

$$-\frac{\pi k}{2} + \gamma H (\sin \alpha + n \cos \alpha) = \frac{2G w_0 \beta}{\pi v} e^{\frac{\beta}{v} l_0} E_1\left(\frac{\beta}{v} l_0\right) + \gamma H (\cos \alpha + n \sin \alpha). \quad (3.3)$$

Z kryterium (3.3) można wyznaczyć szerokość strefy l_0 , która w czole wyrobiska ścianowego może być gwałtownie skruszona i wyrzucona do przestrzeni roboczej. Najłatwiej można uzyskać rozwiązanie na drodze graficznej. Warunek (3.3) wiąże w sobie wszystkie główne parametry, od których zależy tąpnięcie pokładowe, a mianowicie: wytrzymałość węgla, charakter stropu, grubość pokładu i kąt jego nachylenia, sposób eksploatacji, głębokość zalegania pokładu, prędkość frontu eksploatacji oraz współczynnik charakteryzujący prędkość osiadania stropu. Istotną rolę odgrywa prędkość eksploatacji. Jest to wielkość, którą w praktyce można zmieniać w dość szerokim zakresie. Powstaje pytanie, jak prędkość frontu eksploatacji wpływa na przyrost naprężenia w czole ściany, a tym samym na możliwość wystąpienia tąpnięcia. Można na to pytanie odpowiedzieć w sposób jednoznaczny, badając granicę wyrażenia występującego w kryterium (3.3) zawierającego prędkość eksploatacji

$$\lim_{v \rightarrow \infty} \frac{e^{\frac{\beta}{v} l_0} E_1\left(\frac{\beta}{v} l_0\right)}{v} = -\frac{1}{\gamma l_0 \beta} \lim_{u \rightarrow 0} e^{\frac{u}{\gamma}} u \ln u = ,$$

gdyż:

$$E_1\left(\frac{\beta}{v} l_0\right) = -E_1\left(\frac{\beta}{v} l_0\right) = -\ln \frac{\gamma l_0 \beta}{v} \quad \text{dla } v \gg 0$$

$$i \gamma = e^c, \quad c - \text{stała Eulera}; \quad u = \frac{\gamma l_0 \beta}{v}.$$

Przejście graniczne wykazuje, że ze wzrostem prędkości frontu eksploatacji zmniejszają się naprężenia w caliznie węglowej w czole ściany. Wzrost prędkości jest zatem korzystny przy prowadzeniu eksploatacji w pokładach tąpnięcych.

Następnym istotnym czynnikiem, który można dobrać do danych warunków, jest sposób eksploatacji. Z dotychczasowej praktyki kopalnianej wiadomo, że czynna eksploatacja z zawałem stropu wpływa korzystnie i przeciwdziała zagrożeniu tąpniom. Trzeba jednakże odpowiedzieć dlaczego tak się dzieje i w jakich sytuacjach to zachodzi oraz czy to korzystne oddziaływanie nie zmniejszy się ze wzrostem głębokości. Zagadnienie to wymaga szerszego omówienia i będzie przedmiotem odrębnego artykułu.

4. KRYTERIUM TĄPNĘCIA PRZY ZATRZYMANYM FRONCIE EKSPLOATACJI

W kopalni często występują sytuacje prowadzące do okresowego zatrzymania czynnego frontu eksploatacji. Po zatrzymaniu frontu eksploatacji ros-

na w czole wyrobiska ścianowego naprężenia ściskające. Rozkład naprężenia $\sigma_z(x, t)$ dla takiego przypadku podaje wzór wyprowadzony w pracy (1).

$$\sigma_z(x, t) = -\frac{2G w_0}{\pi} \left\{ \frac{1}{x} (1 - e^{-\beta t}) - \frac{1}{x + vT} (1 - e^{-\beta(t+T)}) + \right. \\ \left. + \frac{\beta}{v} e^{-\beta t} e^{\frac{\beta}{v} x} E_1\left(\frac{\beta}{v} x\right) - \frac{\beta}{v} e^{-\beta(t+T)} e^{\frac{\beta}{v}(x+vT)} E_1\left[\frac{\beta}{v}(x+vT)\right] \right\} \quad (4.1)$$

gdzie:

T - czas jaki upłynął od chwili rozpoczęcia do chwili zatrzymania eksploatacji,

t - czas jaki upłynął od chwili zatrzymania eksploatacji.

Pozostałe parametry są identyczne z występującymi we wzorze (3.1). Uwzględnienie wzoru (4.2) w równości (2.10) daje poszukiwane kryterium. Jeśli front eksploatacji zatrzymany jest przez długi okres czasu tworzy się w czole wyrobiska ścianowego strefa spękań. Jej zasięg można określić wykorzystując postać asymptotyczną wzoru (4.1). Dla dostatecznie długiego czasu postoju wyrobiska wzór (4.1) przyjmuje postać:

$$\sigma_z^*(x) = -\frac{2G w_0}{\pi} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x+vT} \right) \quad (4.2)$$

Podstawienie powyższej zależności do równości (2.10) daje warunek na zasięg strefy spękań w czole wyrobiska ścianowego:

$$-\frac{\pi k}{2} + \eta H (\sin \alpha + n \cos \alpha) = -\frac{2G w_0}{\pi} \left(\frac{1}{l_0} - \frac{1}{l_0 + vT} \right) - \eta H (\cos \alpha + n \sin \alpha) \quad (4.3)$$

Równanie (4.3) da się łatwo rozwiązać analitycznie względem l_0 . Wielkość l_0 można pomierzyć bezpośrednio w kopalni, a relacja (4.3) może wówczas służyć do wyznaczenia zastępczego modułu sprężystości warstw górotworu. Przeprowadzone w kopalni pomiary zasięgu strefy spękań wykazały daleko idącą zgodność z przewidywaniami opartymi na równości (4.3) i dały podstawę do praktycznego wykorzystania wzorów podanych w niniejszej pracy. Sposób wyznaczenia zastępczego modułu sprężystości warstw górotworu podany w punkcie 6 niniejszej pracy.

5. KRYTERIUM TĄPNIECIA DLA WYROBISKA CHODNIKOWEGO

Rozkład naprężenia w ociosie wyrobiska chodnikowego określa wzór podany przez S.G. Michlina [3] w postaci:

$$\sigma_z(x) = -\frac{p}{4} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 - a^2}} \right) \quad \text{dla } x \gg a, \quad (5.1)$$

gdzie:

$2a$ - szerokość wyrobiska chodnikowego, a wielkość p określa wzór (2.8).

Uwzględnienie wzoru (5.1) w równości (2.10) daje następujące kryterium tąpnięcia ociosu chodnika.

$$-\frac{\pi k}{2} + \gamma H (\sin \alpha + n \cos \alpha) = -\frac{p}{4} \left(1 - \frac{l_0 + a}{\sqrt{l_0^2 + 2al_0}}\right) - \gamma H (\cos \alpha + n \sin \alpha). \quad (5.2)$$

Z powyższej relacji łatwo można wyliczyć zasięg tąpnięcia jako funkcję pozostałych parametrów. Po prostych przekształceniach, otrzymujemy:

$$l_0 = a \left(\sqrt{1 + \frac{1}{b^2 - 1}} - 1 \right), \quad (5.3)$$

gdzie:

$$b = 1 + \frac{4}{p} \left[-\frac{\pi k}{2} + \gamma H (1+n) \cdot (\cos \alpha + \sin \alpha) \right]$$

$$p = -\gamma H (\cos \alpha + n \sin \alpha).$$

Kryterium (2.10) określające wytrzymałość calizny węglowej można wykorzystać również do prognozowania szerokości stref zagrożonych tąpnięciami w pokładzie w następujących sytuacjach górniczych:

1. Zbliżania się czynnych frontów eksploatacji ścianowej do starych zrobów w tym samym pokładzie.
2. Zbliżania się czynnych frontów eksploatacji do chodników, uskoków i osadników.
3. Oddziaływania wzajemnego czynnych frontów eksploatacji przy ich krzyżowaniu się.
4. Oddziaływania krawędzi zatrzymanej eksploatacji na eksploatację prowadzoną w pokładach wyżej lub niżej zalegających.
5. Prowadzenie chodników równoległych do uskoków w niewielkiej od nich odległości.

Trzeba jednakże dodatkowo znać rozkład naprężeń w górotworze przy czynnych i zatrzymanych frontach eksploatacji. Rozważania analityczne zawarte w pracy [1] dają podstawę do ujęcia wyżej sformułowanych zagadnień, jeśli wyznaczy się w górotworze zastępczy moduł sprężystości G .

6. SPOSÓB WYZNACZENIA IN SITU ZASTĘPCZEGO MODUŁU SPRĘŻYSTOŚCI GÓROTWORU

Określenie zastępczego modułu sprężystości górotworu występującego we wzorach (3.1), (3.2), (4.1) i (4.2) jest obecnie możliwe w oparciu o bezpośrednie pomiary w kopalni oraz kryterium (4.3) przy założeniu, że proces spękań przebiega powoli. Istnieje bowiem ścisła zależność między zastępczym modułem sprężystości G , zasięgiem strefy spękań w pokładzie w sąsiedztwie starych zrobów, wytrzymałością węgla przy jednoosiowym ści-

skaniu, szerokością wybrania w pokładzie, maksymalnym obniżeniem stropu wynikłym z przyjętego sposobu kierowania stropem i wielkością pierwotnego naprężenia w górotworze.

Zależność ta po przekształceniu warunku (4.3) ma, dla pokładu zalegającego poziomo, postać:

$$l_0^2 + l_0 \cdot vT + \frac{4G w_0}{\pi[k - 2\eta H(1+n)]} = 0, \quad (6.1)$$

gdzie:

l_0 - zasięg strefy spękań w caliznie węglowej,

vT - szerokość wybrania w pokładzie,

G - zastępczy moduł sprężystości górotworu,

$w_0 = -\eta g$ - osiadanie końcowe stropu wyrobiska uwarunkowane sposobem kierowania stropem (η) i grubością wybieranego pokładu (g) (znak - wynika z przyjętego układu współrzędnych),

k - stała plastyczności węgla,

η - ciężar właściwy górotworu,

H - głębokość zalegania pokładu,

n - współczynnik poziomego rozpierania skał.

Wzór (6.1) jest słuszny przy założeniu, że upłynął już dostatecznie duży okres od chwili zatrzymania eksploatacji w pokładzie, tj. zakończony został proces przyrostu naprężeń w górotworze wywołany eksploatacją.

Wielkości vT , w_0 , η , H są parametrami górniczo-geologicznymi eksploatacji, znanymi dla konkretnego przypadku wybierania. Wyznaczenie więc wielkości strefy spękań (l_0) i wytrzymałości węgla pozwoli na obliczenie ze wzoru (1) wielkości zastępczego modułu sprężystości górotworu.

W celu określenia zasięgu strefy spękań wykonano chodnik badawczy w pokładzie 501 kopalni "Wujek", prowadząc go w głąb pokładu prostopadle do zatrzymanej krawędzi. Chodnik badawczy wykonany był po spągu pokładu 501 szerokość wybrania wynosiła ok. 500 m, a grubość wybranego pokładu 8,5 m. Pokład wybrano warstwami bez ustępliwości systemem ścianowym z posadzką hydrauliczną. Wykonany chodnik badawczy posiadał następujące wymiary: długość 20,0 m, szerokość 2,0 m, wysokość 1,8 m. Na głębokości 20,0 m stwierdzono, że strefa węgla spękanego skończyła się i nastąpił skokowy przyrost naprężeń w pokładzie. Wytrzymałość węgla została określona na podstawie badań laboratoryjnych próbek kostkowych węgla pokładu 501. Wielkość maksymalna stałej plastyczności określonej badaniami wynosiła 230 kg/cm^2 .

Specyfikując następnie parametry górniczo-geologiczne eksploatacji można obliczyć zastępczy moduł sprężystości górotworu z przekształconego wzoru (6.1), gdyż warunek stosowalności wzoru (dostatecznie duży okres czasu od zakończenia eksploatacji) został także spełniony, bowiem okres jaki upłynął od momentu zakończenia eksploatacji w górnym piętrze pokładu 501 wynosił powyżej 6 lat. Naprężenie osiągnęło stan końcowy. Po przekształceniu wzoru (6.1), otrzymujemy:

$$G = - \frac{\pi(l_0^2 + l_0 \cdot vT) [\pi K - 2\pi H (1+n)]}{4 w_0 \cdot vT} \quad (6.2)$$

Wstawiając do wzoru wartości:

$$\begin{aligned} l_0 &= 20,0 \text{ m} \\ vT &= 500 \text{ m} \\ k &= 250 \text{ kg/cm}^2 \approx 2500 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2 \\ \pi &= 25000 \text{ N/m}^3 \\ H &= 620 \text{ m} \\ w_0 &= -0,15 \cdot 8,5 = -1,275 \text{ m (podsadzka hydrauliczna)} \\ n &= \frac{1}{3}, \end{aligned}$$

otrzymujemy wartość zastępczego modułu sprężystości górotworu:

$$G = 4600 \text{ kg/cm}^2 = 46 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

Dla bezpieczeństwa przyjmujemy moduł sprężystości

$$G = 5000 \text{ kg/cm}^2 = 50 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

co odpowiada modułowi Younga $E = 15000 \text{ kg/cm}^2 = 150 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$.

Oszacowana w ten sposób wartość modułu sprężystości pozwala z wystarczającym dla praktyki przybliżeniem oszacować wartości naprężeń przy czynnych i zatrzymanych frontach eksploatacji i wykorzystać praktycznie kryterium (2.10) ujmujące makroskopowy mechanizm tępań pokładowych.

LITERATURA

- [1] Gil H., Kraj W.: The Distribution of Displacements and stresses in a Rock in the Case of an Abandoned Working Face. Archiwum Górnictwa T.XIX z. 1 1974.
- [2] Handbook Of Mathematical Functions U.S. Depart. of Commerce, 1970.
- [3] Michlin S.G.: O naprężeniach w poroście nad uogólnym płaszczyzną. Izw. AN SSSR, OTN Nr 7-8, 1942.
- [4] Motyczka A.: Wpływ własności petrograficznych na naturalną skłonność węgla do tępań. Przegląd Górniczy z.2.1974 r.
- [5] Parysiewicz W.: Tępania w kopalniach.
- [6] Pietuchow I.M.: Gornye udary na uogólnych szachtach. Izd.Niedra Moskwa 1972.
- [7] Sokołowski W.W.: Teoria plastyczności, PWN Warszawa 1957.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТРАКТОВКА МАКРОСКОПИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА
УДАРОВ ПЛАСТОВ

Р е з ю м е

В работе даются аналитические основы механизма образования ударов пластов при действующем и задержанном фронте эксплуатации, а тоже в груди выработки лавы для пластов залегающих горизонтально и наклонно. Определён критерий ударов пластов, выведенный на базе теории трещин. Указывается, как составляющая первичного напряжения, действующая в плоскости пласта, влияет на прочность горного целика в груди выработки. Дается способ определения "in situ" заступающего модуля упругости горной породы в условиях шахты "Вуек".

MATHEMATICAL FORMULATION OF MACROSCOPIC MECHANISMS OF BEDS' BUMPS

С у м м а р у

In the paper some analytic foundations of mechanisms causing beds bumps in active or stopped mining front, or in the front of a dog heading, for horizontal and sloped beds, have been given.

The criteria of beds bumps have been established. It was derived from the crevice theory.

The paper has shown too how a constituent of the primary stress, acting on the bed's plane, influences the strength of the coal body in front of a dog heading.

A way of determining "in situ" the rock-mass substituting elasticity modulus in the work conditions of the coal - mine "Wujek" has been given.