

Henryk GIL
Sebastian CZYPIONKA
Adam KRZYŻOWSKI

OKREŚLENIE STREFY NIEBEZPIECZNEJ
PRZY ZBLIŻANIU SIĘ CZYNNEGO FRONTU WYBIERKOWEGO
DO ZROBÓW EKSPLOATACJI DOKONANEJ ORAZ ISTNIEJĄCEJ KRAWĘDZI
W POKŁADZIE WYŻEJ LUB NIŻEJ LEŻĄCYM

Streszczenie. W oparciu o rozważania analityczne wyznaczono obszar niebezpieczny przy zrobach eksploatacji dokonanej w przypadku istnienia krawędzi w pokładzie wyżej lub niżej leżącym oraz przeanalizowano wielkość tego obszaru w zależności od głębokości zalegania pokładów, ich wzajemnej odległości i ustępliwości krawędzi.

1. WSTĘP

Przy prowadzeniu eksploatacji szerokim frontem, usytuowanym równoległe do linii zrobów eksploatacji dokonanej górnego piętra lub poziomu, następuje w miarę postępu zawężanie resztki pomiędzy czynnym frontem a wyżej wymienioną linią. Doprowadzić to może po przekroczeniu wytrzymałości węgla do groźnego w skutkach tąpnięcia pokładowego. Istotną zatem sprawą jest zwymiarowanie pasa calizny węglowej, przy której w danych warunkach i na określonej głębokości wybierania stan naprężenia w tym pasie nie będzie krytyczny. Innymi słowy problem sprowadza się do znalezienia bezpiecznej odległości na jaką front ścianowy może się zbliżyć do linii zrobów eksploatacji dokonanej górnego piętra lub poziomu, począwszy od której należy zmienić kierunek wybierania z poprzecznego na podłużny oraz stosować sposoby odprężeń lokalnych. Zagadnienie to zostało rozwiązane w pracy (3).

W praktyce górniczej istnieją jednak sytuacje bardziej złożone. Spotykamy przypadki, że zawężająca się resztką pomiędzy czynnym frontem a linią zrobów eksploatacji dokonanej jest również w zasięgu oddziaływania krawędzi eksploatacji zatrzymanej w pokładzie wyżej lub niżej leżącym. Powstaje wówczas pytanie, czy zwymiarowana strefa przy zrobach eksploatacji dokonanej górnego piętra lub poziomu jest bez uwzględnienia wpływu wyżej lub niżej położonej krawędzi jeszcze bezpieczna. Aby to zagadnienie rozwiązać niezbędne jest przeprowadzenie rozważań, które pozwolą na określenie stanu naprężeń górotworu w pokładzie pomiędzy czynnym frontem wybierkowym a linią zrobów eksploatacji dokonanej uwzględniając:

- średnie naprężenie wywołane czynnym frontem wybierkowym,

- średnie naprężenie wywołane zatrzymanym frontem górnego piętra lub poziomu w eksploatowanym pokładzie,
- średnie naprężenie wywołane istniejącą krawędzią w pokładzie wyżej lub niżej leżącym,
- naprężenie pierwotne na danej głębokości.

Przy wymiarowaniu tak określonej strefy niebezpiecznej uwzględniono ponadto ustępliwosć poziomą krawędzi zatrzymanej od krawędzi istniejącej pokładu wyżej lub niżej leżącego.

2. ROZWAŻANIA TEORETYCZNE

Zbliżając się czynnym frontem do zrobów eksploatacji dokonanej górnego piętra lub poziomu oraz istniejącej zatrzymanej krawędzi w pokładzie wyżej leżącym niezbędnym jest zwymiarowanie strefy niebezpiecznej czyli wyznaczenie minimalnej długości ściany podłużnej tzw. zamykającej. W niniejszym artykule podano sposób wymiarowania tej ściany opierając się na znajomości rozkładu naprężenia pionowego na styku pokładu ze stropem. Wielkość i rozkład naprężenia pionowego zależy między innymi od sposobu prowadzenia eksploatacji w pokładzie, jego grubości charakteru warstw stropowych, głębokości zalegania oraz prędkości jego wybierania. Podany w pracy (2) rozkład naprężeń i przemieszczeń w sąsiedztwie czynnego wyrobiska ścianowego uwzględniający czas i prędkość postępu frontu eksploatacji, jest podstawą rozważań przeprowadzonych w niniejszym artykule. Rozważania wyżej wymienionej pracy otrzymano przy założeniu pewnej schematyzacji górotworu rzeczywistego, zakładając jego ciągłość, jednorodność i izotropowość. Zgodnie z rozważaniami zawartymi w pracy (2) rozkład składowej pionowej naprężenia (w stropie pokładu w dowolnym punkcie x nad calizną węglową), przy czynnym froncie eksploatacji określa wzór:

$$\sigma_z(x, t) = \frac{2Gw_0}{\pi} \left\{ -\frac{1}{x} (1 - e^{-\beta vt}) + e^{-\beta(vt-x)} [E_1(\beta(vt-x)) - E_1(-\beta x)] \right\}, \quad (1)$$

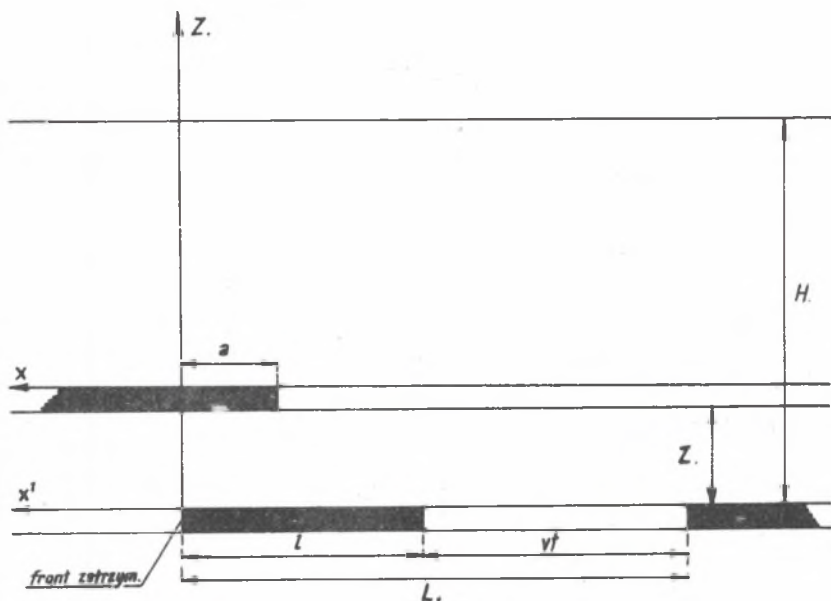
gdzie:

- G - moduł sprężystości postaciowej,
- w_0 - osładanie stropu uwarunkowane ściślnością podsadzki (η) i grubością pokładu (m),
- β - współczynnik opóźnienia sprężystego górotworu,
- v - stała prędkość frontu eksploatacji.

Wzór (1) pozwala na określenie odległości, na którą czynny front może zbliżyć się do zrobów eksploatacji dokonanej górnego piętra lub poziomu. Przy wymiarowaniu tej odległości operować należy średnią wartością naprężenia istniejącego w zawężającej się resztkę. To średnie naprężenie otrzymuje się jako średnią całkową z rozkładu naprężenia wywołanego czynnym frontem, eksploatacji zatrzymanej w pokładzie wybieranym oraz krawędzi istniejącej w pokładzie wyżej lub niżej leżącym, jak również naprężenia pierwotnego.

Założmy, że front eksploatacji prowadzony ścianami poprzecznymi zbliża się

do zrobów eksploatacji dokonanej, a ponadto nad wybranym pokładem istnieje krawędź zatrzymana rys. 1. Wybieg ściany oznaczymy przez L , a poszukiwaną wielkość strefy niebezpiecznej przez l .



Układ wybierania przy zbliżeniu się czynnym frontem ścianowym do starych zrobów w przypadku istnienia krawędzi w pokładzie wyżej lub niżej zalegającym.

Rys. 1

Średnie naprężenie wywołane czynnym frontem zgodnie z przyjętym w pracy [3] posiada postać:

$$\sigma_{sr}^1 = \frac{2Gw_0}{\pi(L-vt)} \left\{ \ln \frac{vt(L-vt)}{L} - e^{\beta(L-vt)} [E_1(\beta(vt-L)) - E_1(-\beta L)] + c - E_1(-\beta vt) \right\}, \quad (2)$$

gdzie:

$$l = L - vt, \\ c = 0,57722 - \text{stała Eulera.}$$

Średnie naprężenie na odcinku (vt, L) , pochodzące od dokonanej eksploatacji, można wyznaczyć biorąc postać asymptotyczną wzoru (1) dla $t \rightarrow \infty$. Po przejściu do granicy, otrzymujemy:

$$\sigma_z(x) = -\frac{2Gw_0}{\pi x}. \quad (3)$$

Wzór powyższy posiada osobliwość niecałkowalną na krawędzi eksploatacji dokonanej i nie może być w tej postaci stosowany w całym obszarze, po którym odbywa się całkowanie. Dla wyznaczenia naprężenia średniego należy całkować wzór (3) po odcinku $(vt, L-l_0)$, gdzie l_0 jest szerokością strefy spękań w sąsiedztwie krawędzi eksploatacji dokonanej. Szerokość strefy spękań wyznaczyć można z równania niżej podanego:

$$l_0^2 + vt l_0 + \frac{4G w_0 vt}{\pi(\mu k - 2\eta H)} = 0. \quad (4)$$

Średnie naprężenie wywołane frontem zatrzymanym eksploatacji dokonanej, otrzymujemy całkując po odcinku $(l_0, l+l_0)$ wzór 3.

$$\sigma_{sr}^2 = -\frac{2Gw_0}{\pi l} \ln \frac{l+l_0}{l_0} \quad (5)$$

Wzór (1), podający rozkład naprężeń w stropie pokładu, wywołany czynną eksploatacją posiada także dla $x = vt$ osobliwość, jednak w przeliczeniu naprężenia średniego całka jest zbieżna. więc nie przeprowadzono rozważań dotyczących wyznaczenia szerokości strefy plastycznej. Naprężenie pochodzące od krawędzi zatrzymanej eksploatacji pokładu wyżej leżącego, określa wzór podany w pracy [4] przy założeniu, że: $T \rightarrow \infty$

$$\sigma_z(x, z) = -\frac{2Gw_0}{\pi} \left[\frac{x}{x^2+z^2} + \frac{2xz^2}{(x^2+z^2)^2} \right] \quad (6)$$

Naprężenie średnie pochodzące od krawędzi zatrzymanej eksploatacji pokładu wyżej leżącego uzyskamy całkując powyższy wzór w granicach $(l_0, l+l_0)$:

$$\sigma_{sr}^3 = \frac{2Gw_0}{\pi l} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{(l+l_0)^2+z^2}{l_0^2+z^2} - \frac{z^2}{(l+l_0)^2+z^2} + \frac{z^2}{l_0^2+z^2} \right] \quad (7)$$

Wzór (6) należy zmodyfikować przez wprowadzenie wielkości "a" określającej wielkość przesunięcia poziomego pomiędzy frontem zatrzymanym eksploatacji dokonanej, a krawędzią istniejącą w pokładzie niżej lub wyżej leżącym.

$$x = x' + a$$

$$\sigma_z(x, z) = -\frac{2Gw_0}{\pi} \left[\frac{x+a}{(x+a)^2+z^2} + \frac{2(x+a)z}{[(x+a)^2+z^2]^2} \right] \quad (8)$$

Naprężenie średnie wywołane krawędzią eksploatacji zatrzymanej w pokładzie np. wyżej leżącym uzyskamy całkując wzór (8) w granicach $(l, l+l_0)$:

$$\sigma_{sr}^3 = - \frac{2Gw_0}{\pi l} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{(1+l_0+a)^2+z^2}{(l_0+a)^2+z^2} - \frac{z^2}{(1+l_0+a)^2+z^2} + \frac{z^2}{(l_0+a)^2+z^2} \right] \quad (9)$$

Całkowite naprężenie średnie w zawężonej resztkce wynosi:

$$\sigma_{sr} = \sigma_{sr}^1 + \sigma_{sr}^2 - \gamma H. \quad (10)$$

Naprężenie średnie podane wzorem (10) jest funkcją malejącą poszukiwanej długości strefy niebezpiecznej l oraz pozostałych parametrów geometrycznych i fizycznych:

$$\sigma_{sr} = f(l). \quad (11)$$

Wyżej przytoczone naprężenie średnie nie może przekroczyć wartości dopuszczalnej na ściskanie. Jeśli znana jest wartość dopuszczalna wyznaczona doświadczalnie to można ze wzoru (11) wyznaczyć l .

W naszym przypadku skorzystamy ze wzoru empirycznego ustalonego na podstawie badań eksperymentalnych prowadzonych przez A.Z. Bieniawskiego [1] w postaci:

$$\sigma_{sr} = 28,0 + 15,3 \frac{1}{h_1},$$

h_1 - wysokość ściany podłużnej prowadzonej w zawężanej resztkce.

Poszukiwaną długość ściany zamykającej otrzymuje się z rozwiązania graficznego względem l równań (11) i (12).

3. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Rozpatrzmy dwa przypadki eksploatacji prowadzonej na głębokości 400 i 600 m, w których czynny front przesuwa się równolegle do linii zrobów eksploatacji dokonanej górnego piętra lub poziomu. Poszukiwana strefa niebezpieczna znajduje się w zasięgu oddziaływania krawędzi zatrzymanej w pokładzie wyżej leżącym w odległości 10 m i 30 m. Przesunięcie poziome pomiędzy krawędzią górnego pokładu, a linią zrobów eksploatacji dolnej wynosi odpowiednio

$$a = 50 \text{ m}, 100, 150 \text{ m}.$$

Graficznie sytuację tę przedstawia rys. 1.

Ponadto przyjęto do obliczeń:

$m = 2,0 \text{ m}$ - grubość eksploatowanego pokładu,

$w_0 = 0,7 \cdot 2 = 1,4 \text{ m}$,

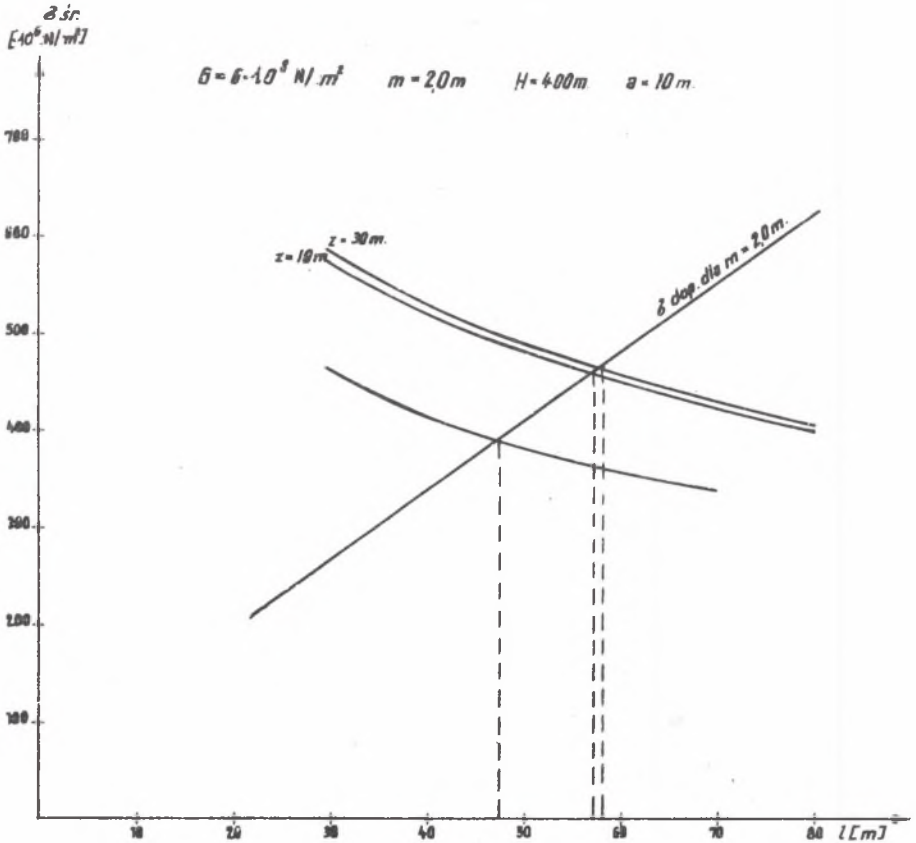
$v = 100 \text{ m/rok}$,

$G = 6 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$,

$\beta = 10 \text{ 1/rok}$,

$$\gamma = 2,5 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3,$$

$$k = 2 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2.$$



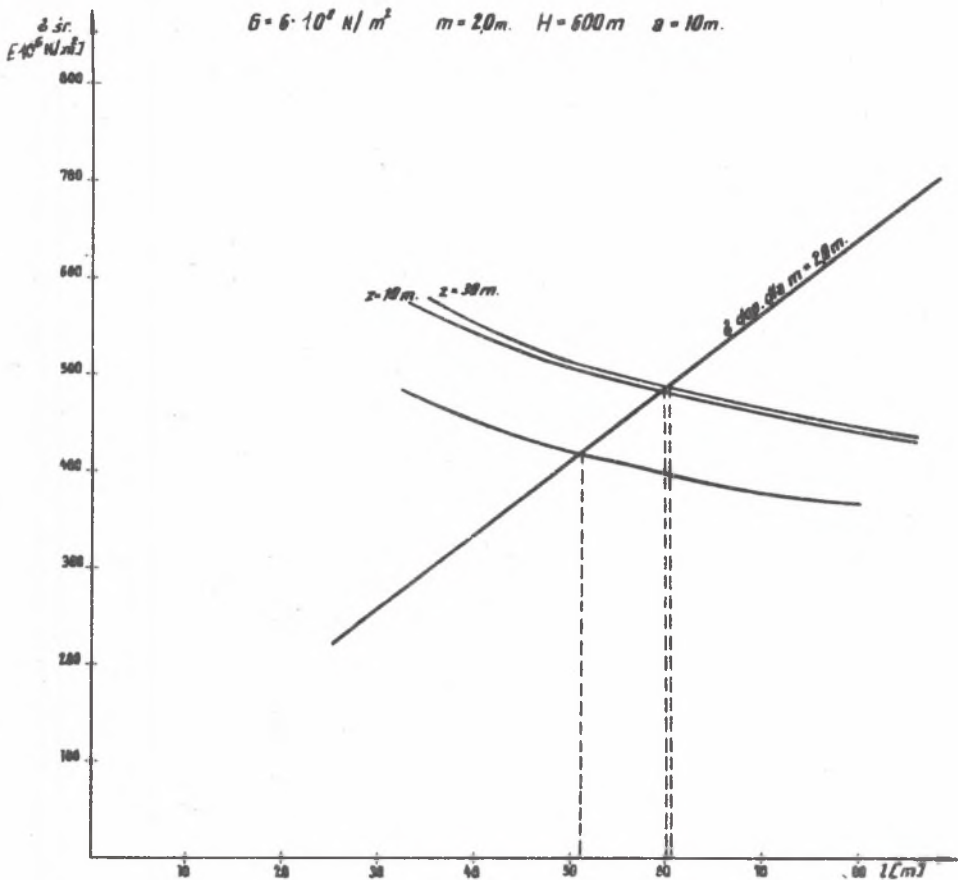
Dysponując powyższymi danymi należy rozwiązać ze względu na I układ równań (11) i (12). Najłatwiej jest to uzyskać metodą graficzną.

Rys. 2-7 przedstawiają przebieg zależności naprężenia średniego od długości ściany zamykającej I dla przyjętej sytuacji. Punkty przecięcia się tych krzywych dają szukane długości ścian zamykających.

4. UWAGI KOŃCOWE

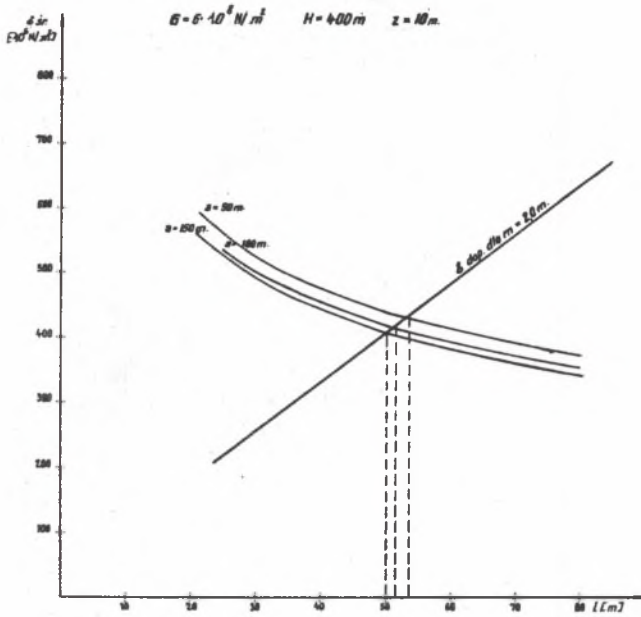
W oparciu o powyższe rozważania analityczne można w praktyce wyznaczyć wielkość strefy niebezpiecznej przy zbliżaniu się do zrobów eksploatacji dokonanej w zmierzonych warunkach geologicznych i różnych sytuacjach górniczych. Z wykonanego przykładu obliczeniowego wynika, że:

- ze wzrostem głębokości zalegania pokładów rośnie szerokość strefy niebezpiecznej, tzn. im głębiej zalegający pokład jest eksploatowany tym

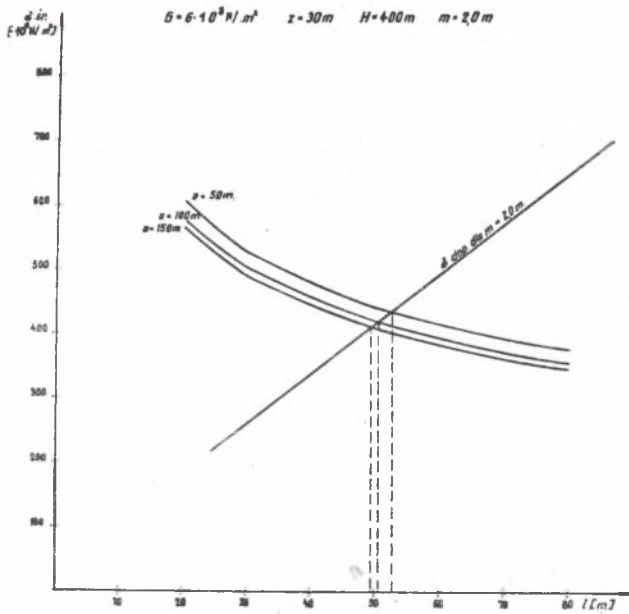


Rys. 3

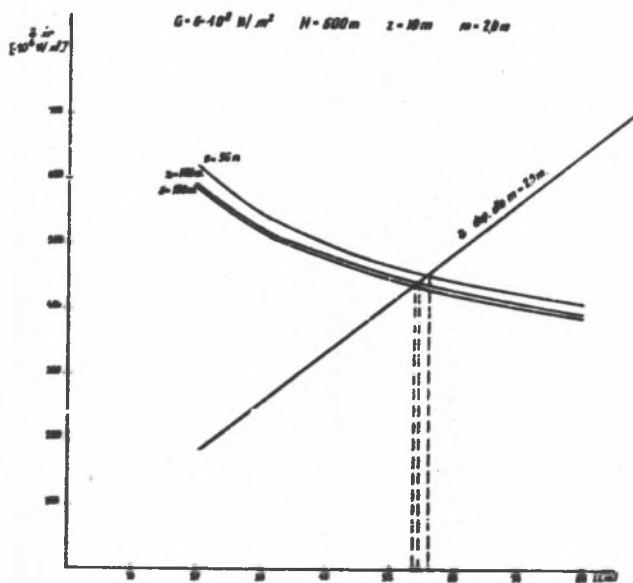
- dalej od linii starych zrobów należy zatrzymać eksploatację (np. dla $H = 400 \text{ m}$ $l = 47 \text{ m}$, dla $H = 600 \text{ m}$ $l = 51 \text{ m}$),
- w przypadku strefy niebezpiecznej w wybranym pokładzie wzrasta (rys. 2, 3),
 - w miarę wzrostu poziomego przesunięcia pomiędzy krawędzią w pokładzie wyżej lub niżej leżącym a krawędzią zatrzymaną eksploatacji dokonanej pokładu analizowanego szerokość strefy niebezpiecznej maleje (rys. 4, 5, 6, 7),
 - niezbędne jest wyznaczenie w warunkach laboratoryjnych dokładnej wytrzymałości węgla dla każdego obszaru, w którym projektuje się eksploatację.



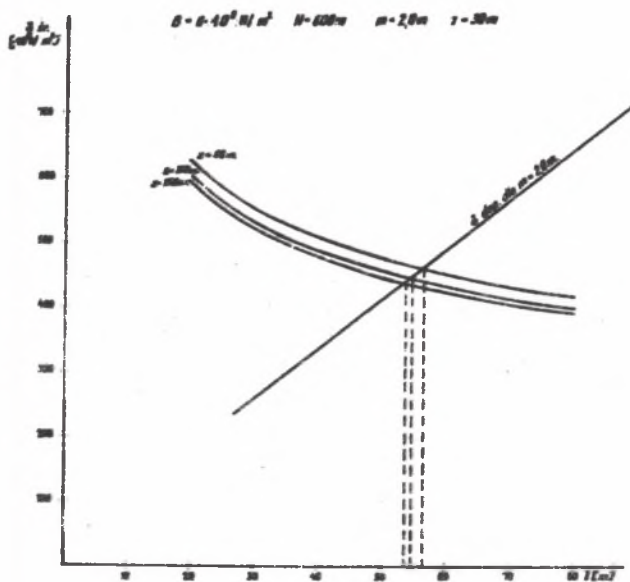
Rys. 4



Rys. 5



Rys. 6



Rys. 7

LITERATURA

- [1] Bieniawski Z.T.: In situ strength and deformation characteristics of coal.
Engineering Geology, Vol 2 Nr 5 1968.
- [2] Borecki M. Chudek M.: Mechanika Górotworu Wyd. Śląsk 1973 r.
- [3] Budryk W., Bes W.: Prawdopodobieństwo uszkodzenia podebranego pokładu węgla i możliwość jego wybierania.
Archiwum Górnictwa 1956 r. t. I z. 1.
- [4] Gil H., Kraj W.: Rozkład przemieszczeń i naprężeń w sąsiedztwie wyrobiska ścianowego.
Archiwum Górnictwa z. 3. 1972.
- [5] Gil H., Kraj W., Stranz B.: Możliwości określenia długości ścian zamykających w grubych pokładach.
Symposium na temat "Technologia wybierania złóż o dużych miąższościach.
11-13.X.1971 r. GIG.
- [6] Gil H., Czepionka S.: Wpływ krawędzi zatrzymanej eksploatacji na pokłady wyżej i niżej leżące.
Przegląd Górniczy nr 5 1973 r.
- [7] Kulpiński J.: Proces odprężenia pokładów sąsiednich przez wybranie pokładu niżej zalegającego.
Zeszyty Problemowe Górnictwo PAN t. 8 z. 1. 1970 r.
- [8] Michlin S.G. 1942 r.: O naprężeniach w porodzie nad uogólnym płastom.
Izv. AN SSSR. OTN Nr 7-8.
- [9] Muszeliszwili N.J. 1954 r.: Niekatoryje osnovnyje zadaczi matematycznej teorii uprugosti. Izd. AN. SSSR M-L.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПАСНОЙ ЗОНЫ ПРИ ПРИБЛИЖЕНИИ ЛИНИИ
ДЕЙСТВУЮЩИХ ЗАБОВ К СТАРЫМ ВЫРАБОТКАМ И К СУЩЕСТВУЮЩЕЙ БРОВКЕ
В НИЖЕЛЕЖАЩЕМ ИЛИ ВЫШЕЛЕЖАЩЕМ ПЛАСТЕ

Р е з ю м е

На основе аналитических рассуждений определена опасная зона при старых выработках и при наличии бровки в нижележащем или вышележащем пласте, а также определена величина этой зоны в зависимости от глубины залегания пластов, от расстояния между ними и от податливости бровки.

DETERMINATION OF A DANGEROUS ZONE WHEN APPROACHING
AN ACTIVE WINNING FRONT TO THE ABANDONED WORKINGS
AND THE EXISTING EDGE IN A HIGHER OR LOWER DEPOSIT

S u m m a r y

On the ground of analytical considerations there has been determined a dangerous zone near the abandoned workings in case of an edge in the deposit lying higher or lower.

The size of this area, depending on the depth of deposits, their mutual distance and yielding of the edge have been also discussed.