

Sebastian CZYPIONKA

Bernard DRZĘŻLA

Bogdan ÓWIEK

PRAKTYCZNY SPOSÓB WYZNACZANIA STREFY NIEBEZPIECZNEJ
MIĘDZY FRONTEM ŚCIANOWYM I WYROBISKIEM KORYTARZOWYM
W POKŁADZIE TĄPIĄCYM

Streszczenie. W oparciu o rozwiązania analityczne podane w pracy [1], zaproponowano sposób szybkiego wyznaczenia strefy niebezpiecznej przy zbliżaniu się czynnego frontu ścianowego do wyrobiska korytarzowego za pomocą skonstruowanego nomogramu. Ponadto przedstawiono sposób określania tej wielkości przy wykorzystaniu opracowanego programu na maszynę cyfrową. Program ten umożliwi również wyznaczenie strefy niebezpiecznej, jeżeli w grubym pokładzie zbliża się równocześnie do wyrobiska korytarzowego front kilku warstw.

1. WSTĘP

Dotychczasowe doświadczenia przy prowadzeniu eksploatacji w pokładach tąpnięć wykazały, że istotnym zagadnieniem jest właściwe prowadzenie frontów eksploatacji ścianowej przy zbliżaniu się do istniejących równoległych wyrobisk korytarzowych. Niejednokrotnie w tych przypadkach dochodziło do groźnych w skutkach tąpnięć pokładowych. Zjawisko to można tłumaczyć tym, że w miarę zbliżania się frontu ścianowego do wyrobiska korytarzowego, w części pokładu leżącej pomiędzy wyrobiskiem korytarzowym a wybierkowym, rosną naprężenia ściskające. Ta nadmierna koncentracja naprężeń doprowadza (po przekroczeniu wytrzymałości węgla w pokładzie) do tępnięć. Zagadnienie to na drodze rozważań teoretycznych zostało rozwiązane w pracy [1].

Z uwagi na dość skomplikowane wzory określające rozkład naprężenia w zawężającym się pasie calizny węglowej, niejednokrotnie w warunkach kopalnianych występowały u osób zajmujących się tym zagadnieniem trudności natury obliczeniowej. W związku jednak z ważnością zagadnienia, jakim jest wymiarowanie stref zagrożonych przy wyrobiskach korytarzowych, do których zbliżają się równoległe fronty ścianowe, w niniejszym artykule wychodzi się naprzeciw wyżej podanym potrzebom. Podana w artykule próba ujęcia tego sposobu wyznaczenia obszarów zagrożonych w formie nomogramu oraz programu na maszynę cyfrową, pozwoli na pewniejsze i szybsze wykorzystanie metod analitycznych prognozowania obszarów zagrożonych w codziennej działalności profilaktycznej. Jest to tym bardziej ważne, że z eksploatacją w kopalniach przechodzi się na coraz to większe głębokości.

2. PRÓBA ZBUDOWANIA NOMOGRAMU DO WYZNACZANIA STREFY NIEBEZPIECZNEJ PRZY ZBLIŻANIU SIĘ FRONTU ŚCIANOWEGO DO WYROBISKA KORYTARZOWEGO

Naprężenie w pokładzie pomiędzy frontem wybierkowym, a wyrobiskiem korytarzowym jest sumą naprężenia wywołanego czynnym frontem eksploatacji, naprężenia wywołanego wykonanym wyrobiskiem korytarzowym i naprężenia pierwotnego. Jeżeli zgodnie z pracą [1] założymy, że długość wybiegu ściany liczona od punktu rozpoczęcia eksploatacji do istniejącego wyrobiska korytarzowego wynosi L , to średnie naprężenie pionowe $\sigma_{sr}^{(1)}$ wywołane czynnym frontem wybierkowym w chwili t wyraża się wzorem:

$$\sigma_{sr}^{(1)} = -\frac{2G \cdot w_0}{\alpha(L-vt)} \left\{ -\ln \frac{\beta t (L-vt)}{L} + e^{\frac{\beta}{v}(L-vt)} \left[Ei(\beta t - \frac{\beta}{v} L) + \right. \right. \\ \left. \left. - Ei(-\frac{\beta L}{v}) \right] - c + Ei(-\beta t) \right\}, \quad (2.1)$$

gdzie.

- w_0 - osiadanie końcowe stropu uwarunkowane ściśliwością podsadzki (η) i grubością pokładu (g),
- $\beta = \frac{G}{\eta}$ - współczynnik związany z prędkością osiadania stropu,
- G - moduł sprężystości postaciowej górotworu,
- η - współczynnik lepkości,
- v - stała prędkość postępu frontu eksploatacji,
- $Ei(x)$ - funkcja wykładnicza całkowita stabilizowana.

Jeżeli przez l_1 oznaczymy połowę szerokości wyrobiska korytarzowego, a odległość między tym wyrobiskiem a frontem wybierkowym przez $l = L-vt$, to średnie naprężenie pionowe w stropie pokładu wyraża się zgodnie z pracą [1] wzorem:

$$\sigma_{sr}^{(2)} = -\frac{\eta \cdot H}{4} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{2l_1}{l}} \right] \quad (2.2)$$

W powyższym wzorze nie uwzględniono strefy spękań jaka wytworzy się wokół wyrobiska korytarzowego.

Trzecim składnikiem wyznaczającym średnie naprężenie w pokładzie jest naprężenie pierwotne, które przy poziomy zaleganiu pokładu przyjmuje postać:

$$\sigma_{sr}^{(3)} = -\eta \cdot H \quad (2.3)$$

Średnie naprężenie w pokładzie wynosi:

$$\sigma_{sr} = \sigma_{sr}^{(1)} + \sigma_{sr}^{(2)} + \sigma_{sr}^{(3)} = f(l). \quad (2.4)$$

Wielkość naprężenia dopuszczalnego wyznaczmy korzystając ze wzoru empirycznego podanego w pracy [2].

$$\sigma_{sr}^* = - 28,0 - 15,3 \frac{1}{h}, \quad (2.5)$$

gdzie:

h - grubość pokładu.

Rozwiązania graficzne równań (2.4) i (2.5) pozwolą na wyznaczenie poszukiwanej wielkości niebezpiecznej.

Dla zbudowania nomogramu wykonano obliczenia wielkości składowych naprężeń na maszynie cyfrowej, przyjmując do obliczeń: stałą szerokość chodnika równą 4,0(m), $G = 10^5 \cdot 5000(N/m^2)$ $\frac{G}{v} = 0,005; 0,010; 0,015; 0,020; 0,025; 0,030$, przy zmiennych głębokościach zalegającego pokładu oraz grubości eksploatacyjnej. W przypadku grubości eksploatacyjnej pokładu do obliczeń przyjęto dla eksploatacji podsadzkowej wartość równą: 2,0(m), 2,5(m), 3,0(m), 3,5(m) i 4,0(m), a dla zawału 1,2; 1,4; 2,0; 2,5; 3,0(m). Ponadto do obliczeń przyjęto $\tilde{\eta} = 0,15$ - dla posadzki i $\tilde{\eta} = 0,80$ - dla zawału, $vt = 1000(m)$, $\tilde{\eta} = 2,5(T/m^3)$.

Rysunki 1-3 ilustrują rozkłady naprężeń w pasie calizny węglowej pomiędzy czynnym frontem, a wyrobiskiem korytarzowym przy zmiennych grubościach eksploatacyjnych pokładu oraz zmiennych głębokościach zalegania. Stosowane na tych rysunkach symbole posiadają następujące znaczenie:

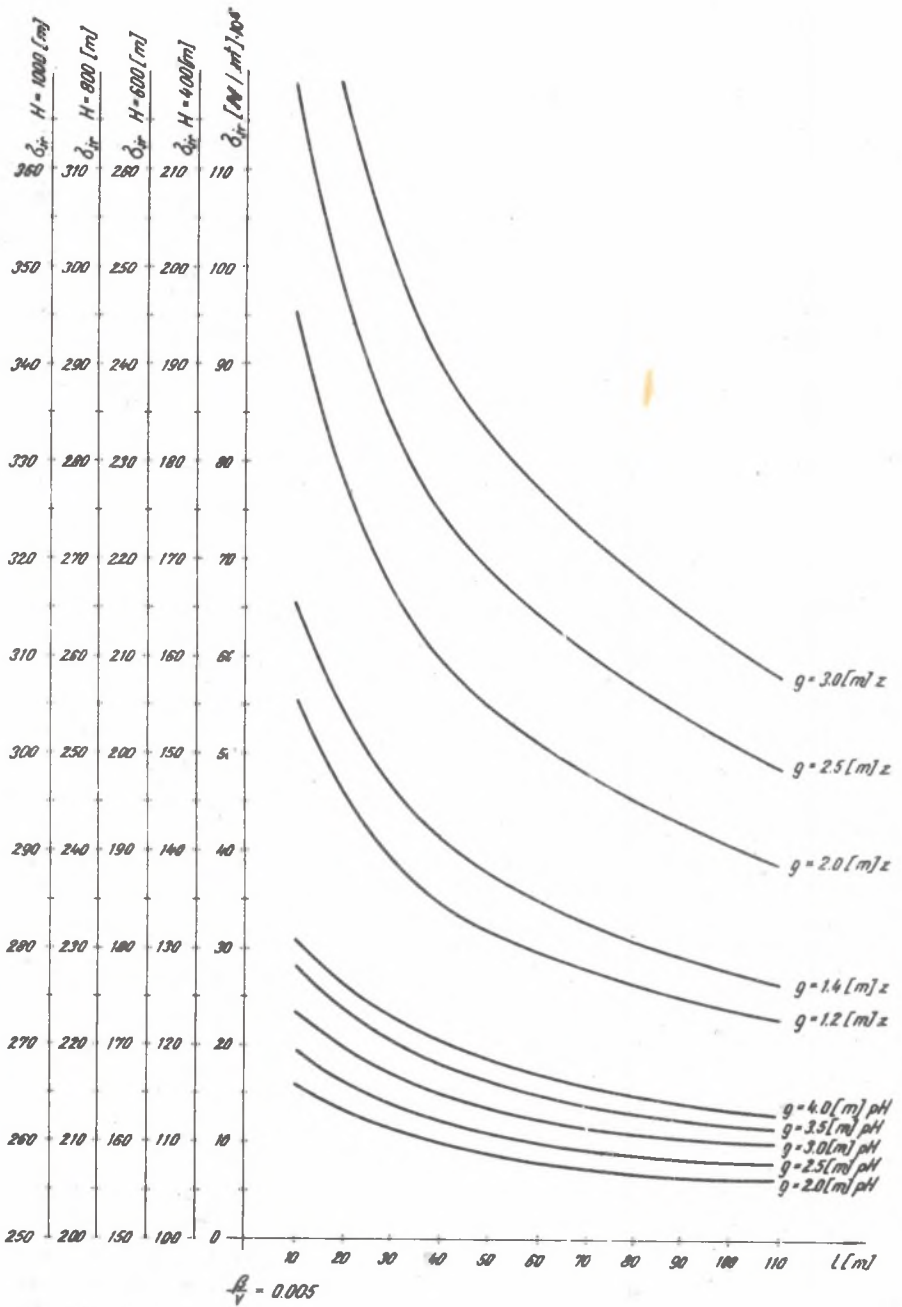
z - eksploatacja zawałowa,

pH - eksploatacja z podsadzką hydrauliczną.

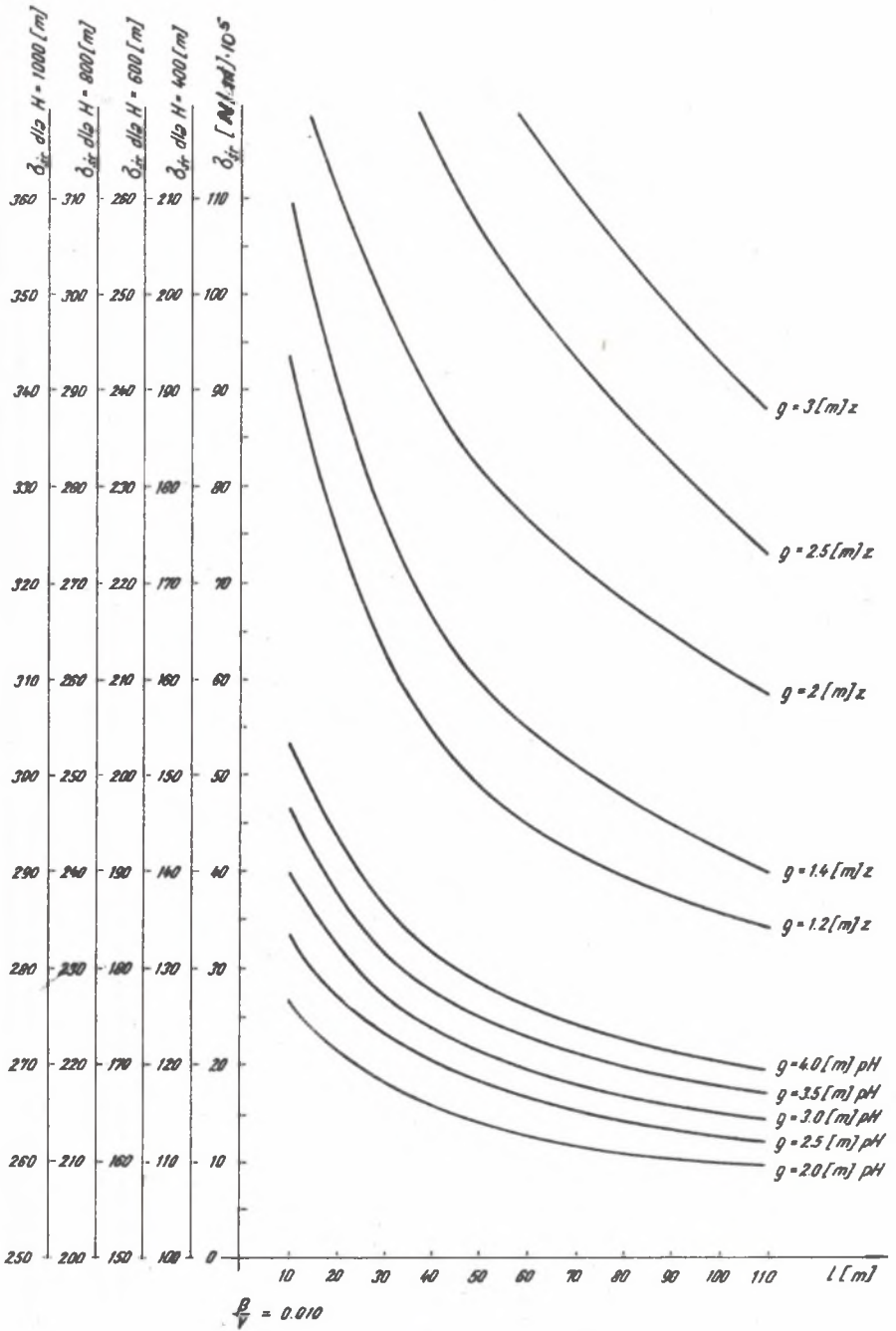
Wyżej przytoczone obliczenia oraz wykonane wykresy rozkładów naprężeń dla największego wybiegu 1000 m, są podstawą do sporządzania nomogramu. Nomogram ten zbudowano w ten sposób, że w pierwszej ćwiartce naniesiono wielkości naprężeń wywołane czynnym frontem wraz ze zmianą poszukiwanej odległości niebezpiecznych przy zmiennych wielkościach stosunku $\frac{G}{v}$. Grubość pokładu wyrażona jest iloczynem $G \cdot w_0$. Korzystając z liniowej zależności $G \cdot w_0$ w stosunku do pozostałej części wzoru można za pomocą prostych nachylonych pod określonym kątem i zmiennej skali na osi odciętych, otrzymać wartości naprężeń dla konkretnych grubości pokładu (ćwiartka II). W ćwiartce III ujęta jest zależność wielkości naprężenia od głębokości zalegania pokładu. Ćwiartka IV ilustruje rozkłady naprężeń dopuszczalnych dla różnych grubości eksploatacyjnych otrzymane ze wzoru (2.5).

Korzystanie ze zbudowanego nomogramu polega na zasadzie kolejnych przybliżeń w poszukiwaniu wielkości niebezpiecznej. Odbyna się to w ten sposób, że zakładamy określoną wielkość strefy niebezpiecznej w ćwiartce I przy znanej wielkości stosunku $\frac{G}{v}$, następnie poziomo odrzutujemy do określonej prostej $G \cdot w_0$ (ćwiartka II), a dalej pionowo w dół do przecięcia z prostą charakteryzującą wielkość naprężenia pierwotnego od głębokości zalegania pokładu (ćwiartka II).

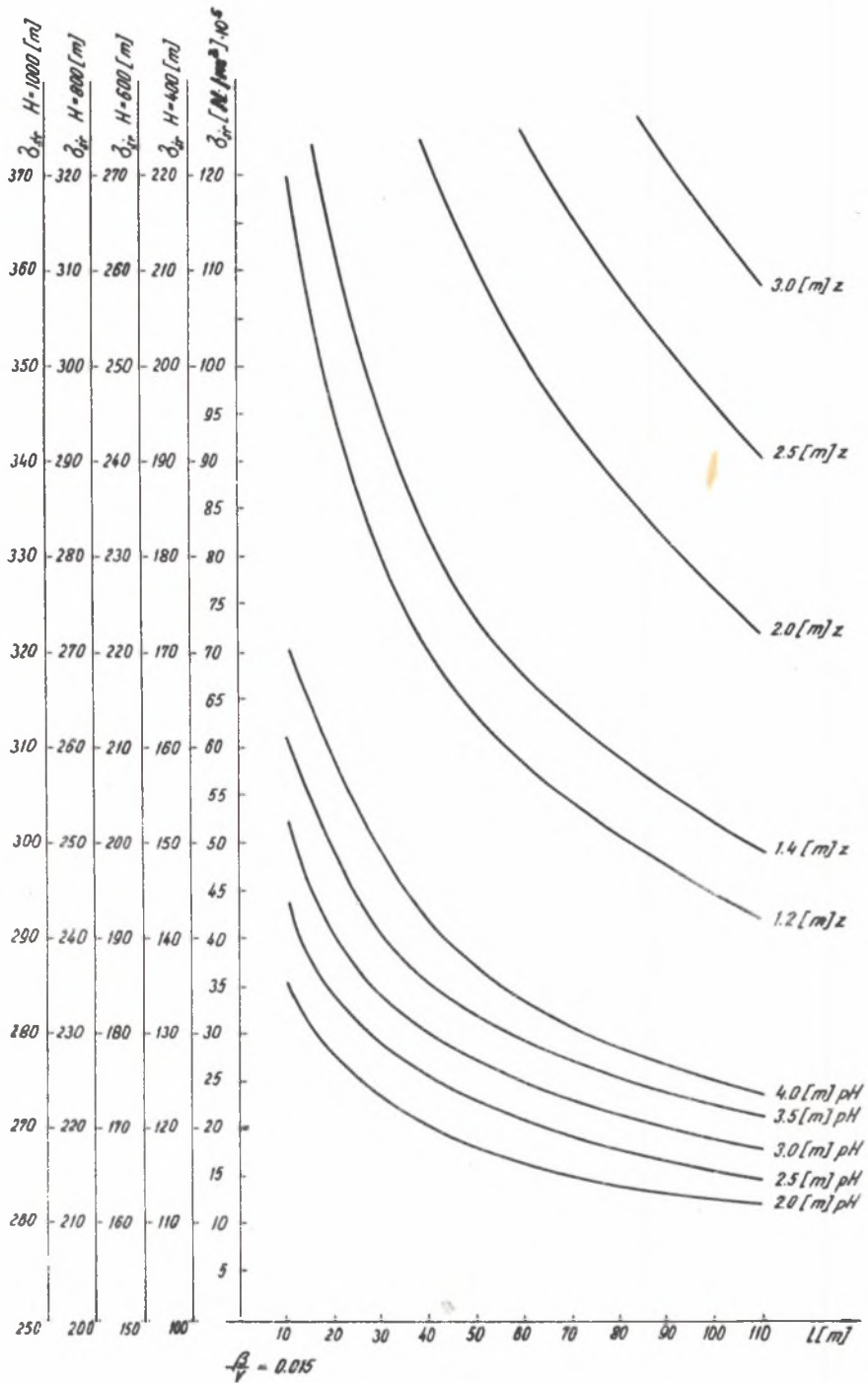
Dalsza droga prowadzi do przecięcia z krzywą Bieniawskiego (ćwiartka IV) i pionowo w górę do punktu początkowego. Jeżeli prostokąt zamknął się, tzn. powróciliśmy dokładnie do punktu początkowego, oznacza to, że wielkość strefy niebezpiecznej została trafnie dobrana. W przypadku odwrotnym drogę trzeba kolejno powtórzyć. W związku z tym, że nie uwzględniono w nomo-



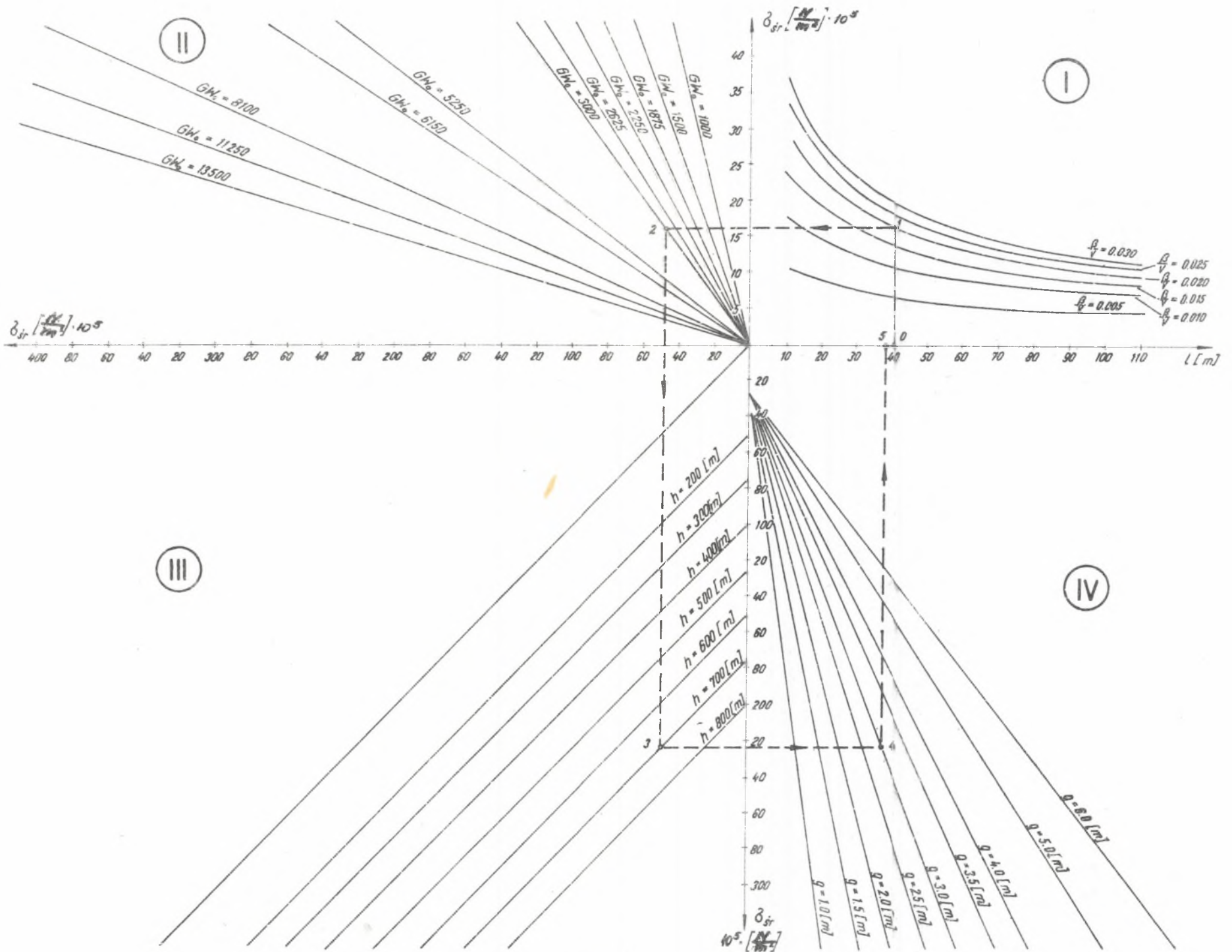
Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4

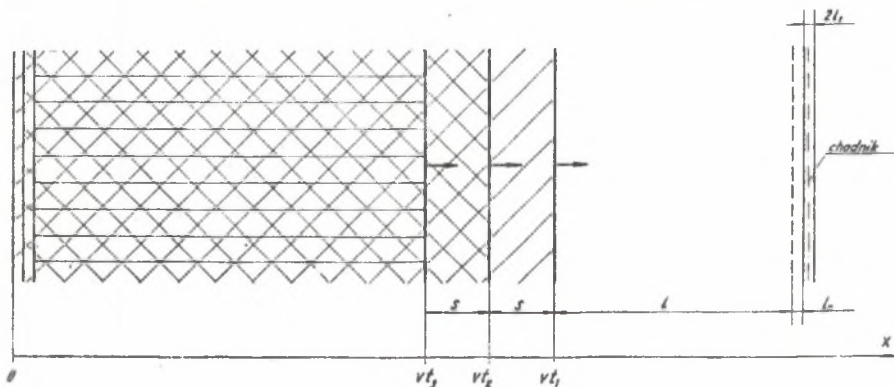
gramie wielkości naprężeń wywołanych wyrobiskiem korytarzowym jako wartości małej w stosunku do pozostałych składowych, proponuje się do otrzymanej z nomogramu wielkości niebezpiecznej dodać wartość wynikającą z przyjętego współczynnika bezpieczeństwa 1.2. Dla jaśniejszego prześledzenia sposobu posługiwania się nomogramem pokazano drogę poszukiwania dla konkretnego przykładu (punkty 1+5), przyjmując:

$$\begin{aligned} \beta &= 10 \text{ (1/rok)}, \\ v &= 500 \text{ (m/rok)}, \\ \frac{\beta}{v} &= 0,020; H = 700 \text{ (m)}, \\ g &= 3,0 \text{ (m)}, \\ G &= 5000 \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 5000 \cdot 10^5 \text{ [N/m}^2\text{]}, \\ G \cdot w_0 &= 3000. \end{aligned}$$

Dla tego przykładu wielkość strefy niebezpiecznej wyniesie ok. 40 m.

3. WYZNACZANIE STREF NIEBEZPIECZNYCH PRZY ZBLIŻANIU SIĘ FRONTU ŚCIANOWEGO DO WYROBISKA KORYTARZOWEGO PRZY POMOCY MASZYNY CYFROWEJ

Zagadnienie wyznaczania stref niebezpiecznych, przy zbliżaniu się frontu ścianowego do wyrobiska korytarzowego, zostało ujęte w programie dla maszyny cyfrowej o nazwie ED16. Program ten opracowano w języku ALGOL1900



Rys. 5

przystosowanym do maszyn Odra z serii 1300 oraz do maszyn firmy ICL z serii 1900. Miejscem przechowywania programu jest rybnicki oddział COIGiE. Omawiane zagadnienie zostało potraktowane w programie ED16 szerzej niż to przedstawiono w poprzednich punktach artykułu. Założono mianowicie, że na resztkę przy chodniku o szerokości $l + l_0$ może oddziaływać jedna lub kilka warstw wybieranych w równych odstępach s (rys. 5). Na podstawie wzoru (2.1) średnie całkowite naprężenie w pasie o szerokości l przed frontem pierwszej warstwy pochodzące od czynnego frontu wynosi w tym przypadku:

$$\sigma_{sr}^{(1)} = \frac{2G}{\pi l} \sum_{i=1}^n w_i \left\{ - \ln \frac{1+vt_1}{vt_1} + e^{\beta(t_1-t_1)} \cdot \left[e^{\frac{\beta}{v} l} \text{Ei}(-\frac{\beta}{v}(1+vt_1)) - \text{Ei}(-\beta t_1) \right] - e^{\frac{\beta}{v} [1+(i-1)s]} \cdot \left[\text{Ei}(-\frac{\beta}{v} [1+(i-1)s]) + F_i \right] \right\}, \quad (3.1)$$

gdzie:

- n - ilość wybieranych warstw,
- G - moduł sprężystości postaciowej,
- w_i - największe możliwe obniżenie górotworu przy eksploatacji i -tej warstwy ($w_i < 0$),
- t_i - czas biegu i -tej warstwy od chwili rozpoczęcia wybierania,
- v - postęp wybierania,
- β - odwrotność czasu opóźnienia sprężystego.

$\text{Ei}(x) = \int_{-\infty}^x \frac{e^u}{u} du$ - funkcja wykładniczo-całkowa,

$$F_i = \begin{cases} \ln\left(\frac{\beta}{v} l\right) + C & \text{dla } i = 1 \\ e^{\frac{\beta}{v}(i-1)s} \text{Ei}(-(i-1)s) + \ln \frac{1+(i-1)s}{(i-1)s}, & \text{dla } i > 1 \end{cases}$$

$C = 0,577216$ - stała Eulera.

W przypadku, gdy wybieg wszystkich warstw jest dostatecznie duży, wzór powyższy upraszcza się do postaci:

$$\sigma_{sr}^{(1)} = \frac{2G}{\pi l} \sum_{i=1}^n w_i \left[F_i - e^{\frac{\beta}{v} [1+(i-1)s]} \text{Ei}(-\frac{\beta}{v} [1+(i-1)s]) \right], \quad (3.2)$$

gdzie:

F_i - jak wyżej.

Średnie naprężenie całkowite w pasie o szerokości l przed frontem pierwszej warstwy, pochodzące od chodnika, oblicza się w omawianym programie, uwzględniając strefę spękań przy chodniku o szerokości l_0 . Na podstawie wzoru S. Michlina [1] określającego naprężenia górotworu w sąsiedztwie chodnika, wielkość średniego całkowitego naprężenia w zadanym pasie wyrazi się wzorem:

$$\sigma_{sr}^{(2)} = \frac{\gamma \cdot H}{4l} \left[1 - \sqrt{(l_1+l_0)^2 - l_1^2} + \sqrt{(l_1+l_0)^2 - l_1^2} \right], \quad (3.3)$$

gdzie:

γ - ciężar właściwy skał górotworu,

$$l_0 = l_1 \left(\sqrt{1 + \frac{q \cdot H}{4 \left(\frac{q \cdot k}{2} - q \cdot H \right)}} - 1 \right), \quad [1]$$

k - stała plastyczności węgla.

Inne zagadnienia teoretyczne związane z programem ED16 rozwiązane są zgodnie z wzorami i stwierdzeniami zawartymi w pracy [1] oraz w poprzednim punkcie artykułu. Możemy więc przystąpić do omówienia spraw interesujących bezpośrednio użytkownika programu.

Sprawą najważniejszą jest oczywiście sporządzanie danych do obliczeń. Dane dla programu ED16 zawierają w kolejności:

1. Parametr sterujący, który w danym przypadku powinien mieć zawsze wartość 2 (przy rozpatrywaniu zagadnienia zbliżania się czynnego frontu ścianowego do starych zrobów parametrowi temu nadaje się wartość 1, a w przypadku uskoku - wartość 3).
2. Głębokość pokładu w metrach.
3. Przeciętny ciężar właściwy skał górotworu (T/m^3).
4. Odwrotność czasu opóźnienia sprężystego dla skał górotworu (1/rok).
5. Przeciętna wartość modułu sprężystości postaciowej skał górotworu (kg/cm^2).
6. Stała plastyczności węgla (kg/cm^2).
7. Kąt nachylenia pokładu w stopniach.
8. Przeciętna wielkość współczynnika Poissona dla skał górotworu.
9. Ilość warstw frontu czynnego.
10. Jeśli ilość warstw frontu czynnego jest większa niż 1, wtedy podać w tym miejscu odległość w metrach między frontami sąsiednich warstw (patrz: rys. 5 - zakłada się tak, jak na rys., że odległości między frontami kolejnych warstw są jednakowe).
11. Grubość jednej warstwy w metrach (zakłada się, że grubości wszystkich warstw są jednakowe).
12. Wielkość współczynnika eksploatacyjnego zależnego od sposobu kierowania stropem (zakłada się, że we wszystkich warstwach stosowany jest ten sam sposób kierowania stropem).
13. Przeciętny postęp wybierania (m/rok).
14. Odległość w metrach linii rozpoczęcia wybierania w pierwszej warstwie od chodnika.
15. Szerokość chodnika w metrach.

Były to wszystkie dane potrzebne do wyznaczenia szerokości strefy niebezpiecznej przy zbliżaniu się czynnego frontu do chodnika. Nie ma potrzeby omawiać postaci wyników drukowanych przez maszynę cyfrową, ponieważ są one drukowane wraz z obszernym komentarzem słownym. Wyjaśnimy tylko, że drukowana przez maszynę cyfrową wielkość nazwana szerokością strefy niebezpiecznej stanowi sumę $l+l_0$ (patrz: rys. 5), gdzie l_0 - szerokość strefy spękań przy chodniku. Szerokość strefy niebezpiecznej należałoby jeszcze powiększyć o szerokość strefy spękań przed czynnym frontem, którą maszyna cyfrowa również wyznacza. Na ogół jednak nie istnieje ona lub jej szerokość jest całkowicie pomijalna.

Na zakończenie dodamy jeszcze, że zarówno w programie ED16, jak i w wyprowadzonym wzorze (3.2) tkwi założenie, że linie rozpoczęcia wybierania we wszystkich warstwach pokrywają się. Założenie to uczyniono z tego względu, że obliczenia są nieco uproszczone, a ewentualne odstępstwa przyjętego założenia od konkretnych danych praktycznych są zupełnie nieistotne, jeśli chodzi o dokładność uzyskiwanych wyników.

4. ZAKOŃCZENIE

Przedstawiony w artykule sposób wymiarowania obszarów niebezpiecznych między frontem ścianowym a wyrobiskiem korytarzowym w pokładzie tąpiącym, pozwoli w praktyce górniczej na właściwe i szybkie stosowanie odpowiedniej profilaktyki w tych strefach.

Ponadto wskazuje na kierunki prowadzenia dalszych badań nad:

- analitycznym sposobem wyznaczania obszarów niebezpiecznych pomiędzy frontem ścianowym i istniejącym wyrobiskiem korytarzowym, nierównoległym do tego frontu,
- zweryfikowaniem wyznaczonych obszarów metodami geofizycznymi,
- określenie obszarów niebezpiecznych w przypadku zbliżania się czynnego frontu do baterii osadnikowych.

LITERATURA

- [1] Gil H., Kraj W.: Określenie bezpiecznej odległości frontu ścianowego przy zbliżaniu się do chodnika.
Archiwum Górnictwa, Tom XVII-3/1972 r.
- [2] Bieniawski Z.T.: In situ strenght and deformation characteristics of coal.
Engineering Geology, Vol. 2 N^o 5, 1968.
- [3] Michlin S.G.: O naprężeniach w parodie nad ugodnym płastom.
Izw.Akad.Nauk SSRR O.TN.7-8,1942.

ПРАКТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПАСНОЙ ЗОНЫ ПРИ ПРИБЛИЖЕНИИ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЛАВОЧНОГО ФРОНТА К КОРИДОРНОЙ ВЫРАБОТКЕ НА УДАРНОМ ПЛАСТЕ

Р е з ю м е

В статье, опираясь на аналитические решения данные в работе [1], предлагается способ быстрого определения опасной зоны при приближении действующего лавочного фронта к коридорной выработке, опираясь на сконструированную программу. Кроме того представляется способ определения этой величины при использовании программы, обработанной на счётную машину. Программа эта даёт возможность определения опасной зоны, если в мощном пласте приближается одновременно к коридорной выработке фронт нескольких слоев.

PRACTICAL WAY OF DANGEROUS ZONE DETERMINATION
AT AN APPROACH OF THE ACTIVE LONG WALL FRONT
TO THE DOG HEADING IN A BUMPING BED

S u m m a r y

In the paper, basing on the analytical solutions given in paper 1 there was suggested a way of quick dangerous zone determination, when an active long wall front is approaching the dog heading. The suggestion was based on a constructed nomogram.

Moreover a way of determining this quantity, making use of a computer for working out a programme has been presented. This programme enables also determination of a dangerous zone in case of in a thick bed a front of several strata approaches simultaneously the dog heading.