ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1984

Seria: GÓRNICTWO z. 125 Nr kol. 769

Stanisław KRZEMIEŃ

PRAKTYCZNY SPOSÓB WYZNACZANIA SZEROKOŚCI STREFY BEZPIECZNEJ POMIĘDZY FRONTEM ŚCIANOWYM A CHODNIKIEM ZNAJDUJĄCYM SIĘ W ZASIĘGU ODDZIAŁYWANIA STAREJ EKSPLOATACJI

Streszczenie. W publikacji przedstawiono praktyczny sposób wyznaczania szerokości strefy bezpiecznej pomiędzy frontem ścianowym a chodnikiem znajdującym się w zasięgu oddziaływania starej eksploatacji. Podano przykład obliczeniowy wyznaczania strefy bezpiecznej, jak również wpływ parametrów górniczo-technicznych na wielkość tej strefy.

1. Wstęp

Rozpatrzmy sytuację górniczą przedstawioną na rys. 1, w której front ścianowy zbliżając się do krawędzi starych zrobów napotyka na swej drodze wyrobisko chodnikowe usytuowane równolegle lub prawie równolegle do tego frontu.

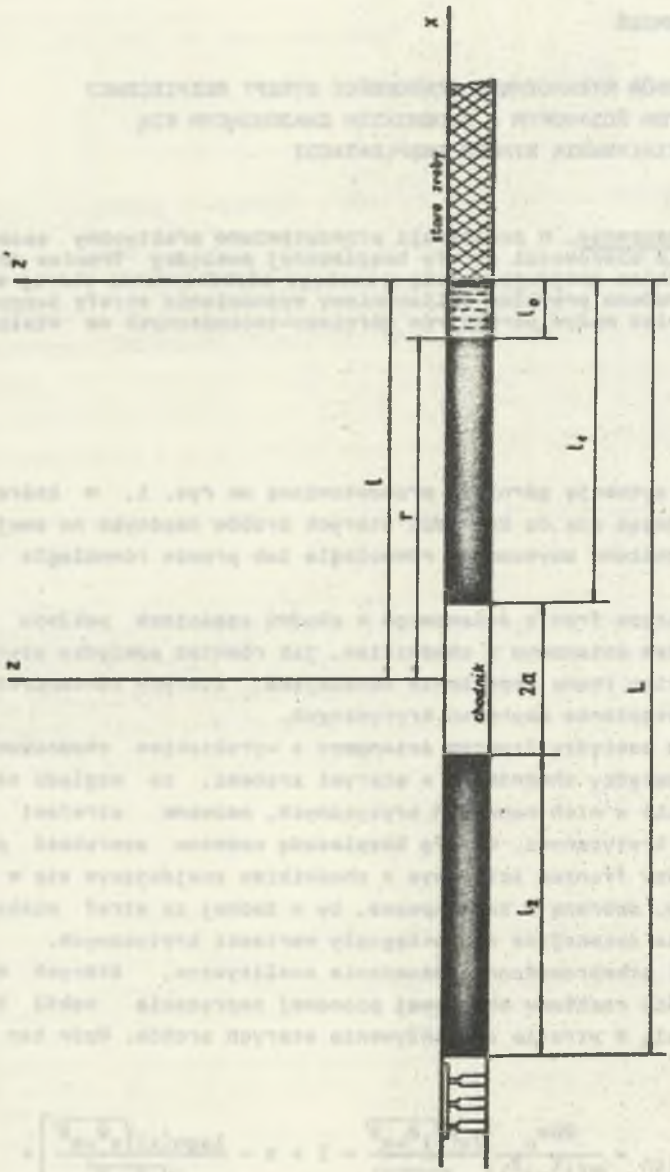
W miarę postępu frontu ścianowego w obydwu częściach pokładu zarówno pomiędzy frontem ścianowym a chodnikiem, jak również pomiędzy starymi zrobami a chodnikiem rosną naprężenia ściskające, których koncentracja może spowodować wystąpienie naprężeń krytycznych.

Pas pokładu pomiędzy frontem ścianowym a wyrobiskiem chodnikowym oraz pas pokładu pomiędzy chodnikiem a starymi zrobami, ze względu na możliwość wystąpienia w nich naprężeń krytycznych, nazwano strefami niebezpiecznymi lub krytycznymi. Strefę bezpieczną nazwano szerokość pasa zawartego pomiędzy frontem ścianowym a chodnikiem znajdującym się w zasięgu starych zrobów, dobraną w taki sposób, by w żadnej za stref niebezpiecznych naprężenia ściskające nie osiągnęły wartości krytycznych.

W pracy [7] przeprowadzono rozważania analityczne, których wynikiem było wyznaczenie rozkładu składowej pionowej naprężenia wokół chodnika znajdującego się w strefie oddziaływania starych zrobów. Wzór ten ma postać:

$$\sigma_{z(x,o)ch} = \frac{2Gw_o}{\pi(l^2-x^2)}\left[\frac{|x|\sqrt{l^2-a^2}}{\sqrt{x^2-a^2}} - l + x - \frac{l\,\mathrm{sgn}(x)\sqrt{x^2-a^2}}{\sqrt{l^2-a^2}}\right] +$$

$$+ p\left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2-a^2}}\right); \quad p > 0 \tag{1}$$



Rys. 1. Schemat usytuowania w pokładzie wyrobisk górniczych (czynny front - chodnik - stare zroby), z uwzględnieniem przyjętego układu współrzędnych

Rozkład składowej pionowej naprężenia w stropie pokładu w dowolnym punkcie x nad calizną węglową przy czynnym froncie eksploatacji określony jest wzorem podanym w pracy [5]. Ma on postać:

$$\sigma_{z(x,t)} = \frac{2Gw_o}{\pi}\left\{\frac{1}{x}(1 - e^{-\beta t}) + \frac{\beta}{V} e^{-\frac{\beta}{V}(Vt-x)}\left[E_1(\beta t - \frac{\beta}{V} x) + E_1 \frac{\beta x}{V}\right]\right\} \qquad (2)$$

Asymptotyczna forma tego wzoru dla $t \to \infty$ umożliwia określenie składowej naprężenia w sąsiedztwie krawędzi starych zrobów [6]:

$$\sigma_{z(x)} = \frac{2Gw_o}{\pi x} \qquad (3)$$

W rozpatrywanym układzie: front ścianowy - chodnik - stare zroby naprężenie wypadkowe jest uzależnione od naprężenia pochodzącego od czynnej eksploatacji, naprężenia wywołanego oddziaływaniem starych zrobów, naprężenia pochodzącego od chodnika oraz naprężenia pierwotnego [4].

Aby zastosować zasadę superpozycji wpływów, należy dla sytuacji przedstawionej na rys. 1, z podanych wzorów (1) (2) (3) wyznaczyć naprężenia średnie całkowe. Naprężenia te wyznaczono odrębnie dla strefy zawartej pomiędzy czynnym frontem, chodnikiem (indeks "L" przy oznaczeniach naprężeń) oraz odrębnie dla strefy zawartej pomiędzy chodnikiem a starymi zrobami (indeks "P" przy oznaczeniach naprężeń).

Średnie naprężenia całkowe dla obydwu rozpatrywanych stref będą miały postać:

$$\sigma_z^{śr.L} = \sigma_{ch.}^{śr.L} + \sigma_{śr.zr.}^{śr.L} + \sigma_{cz.fr.}^{śr.L} - \gamma H \qquad (4)$$

$$\sigma_z^{śrP} = \sigma_{ch.}^{śrP} + \sigma_{st.zr}^{śr.P} + \sigma_{cz.fr.}^{śrP} - \gamma H \qquad (5)$$

Strefa bezpieczna jest wyznaczana równocześnie ze względu na przyrost naprężeń tak po stronie czynnego frontu, jak również po stronie starych zrobów. O jej wartości (szerokości) zdecyduję naprężenia w tej strefie, w której wcześniej osięgną one wartość krytyczną.

2. Wyznaczenie średniego naprężenia w strefie pokładu między chodnikiem a frontem ścianowym

Biorąc pod uwagę w modelu geometrycznym wyrobisk (rys. 1) przedział zewnętrzny w kierunku do czynnej eksploatacji całkujemy wzór (1) w granicach od $x = -a$ do $x = -l_2-a$. Po wykonaniu tej operacji wzór ten będzie miał postać:

$$\sigma_{ch.}^{śr.L} = \left[\ln \frac{2\sqrt{(l^2-a^2)\left[(l_2+a)^2 - a^2\right]} + l^2 + (l_2+a)^2 - 2a^2}{l^2 - a^2} + \right.$$

$$+ \ln \frac{l+a}{l-a} - \ln \left| \frac{l(l_2+a) + a^2 - \sqrt{(l^2-a^2)\left[(l_2+a)^2 - a^2\right]}}{l(l_2+a) - a^2 + (l^2-a^2)\, l_2+a)^2 - a^2} \right| +$$

$$\left. - \frac{l}{\sqrt{l^2-a^2}} \ln \left| \frac{l_2+a+\sqrt{(l_2+a)^2 - a^2}}{l_2+a-\sqrt{(l_2-a)^2 - a^2}} \right| \right] + p\left(1 - \sqrt{1 + \frac{2a}{l_2}}\right) \qquad (6)$$

Dla obliczenia średniego naprężenia pochodzącego od starych zrobów całkujemy wzór (3) w granicach od $x = -a$ do $x = -l_2 - a$. Otrzymamy:

$$\sigma_{st.zr.}^{śrL} = \frac{2Gw_o}{\gamma l_2} \int_{-l_2-a}^{-a} \frac{dx}{l - x} = \frac{2Gw_o}{\gamma l_2} \ln \frac{l + a + l_2}{l + a} \qquad (7)$$

Średnie naprężenie pochodzące od czynnego frontu wyznaczamy za wzoru (2), przyjmując oznaczenia jak na rys. 1.

$$\sigma_{cz.fr.}^{śr.L} = \frac{2Gw_o}{\gamma l_2} \left[e^{\frac{\beta}{\nabla} l_2} \int_{\frac{\beta}{\nabla} l_2}^{\infty} \frac{e^{-s}}{s}\, ds + C + \ln \frac{\beta}{\nabla} l_2 \right] \qquad (8)$$

Suaaryczne naprężenie średnie $\sigma_z^{śr.L}$ (wzór 4) nie może przekroczyć wartości krytycznej w części pokładu pomiędzy chodnikiem a ścianą. Korzystając z kryterium wytrzymałościowego Bieniawskiego [1] podano warunek, który musi być spełniony, aby w części pokładu między frontem ścianowym a chodnikiem nie nastąpiło przekroczenie wytrzymałości węgla:

$$\left| \sigma_{ch}^{śr.L} + \sigma_{st.zr.}^{śrL} + \sigma_{cz.fr.}^{śr.L} - \gamma H \right| \leqslant 28 + 15{,}3\, \frac{l_2}{g} \qquad (9)$$

Z zależności tej metodą kolejnych przybliżeń, za pomocą maszyny cyfrowej wyznaczono wielkość strefy krytycznej, ze względu na resztkę pomiędzy czynnym frontem a chodnikiem.

3. Wyznaczenie średniego naprężenia w strefie pokładu między chodnikiem a starymi zrobami

Dla wyznaczenia średniego naprężenia w tej strefie uwzględniamy przedział zmienności x w kierunku od chodnika do starych zrobów (rys. 1), tj. od $x = a$ do $x = r$,

gdzie:

r – odległość między osią chodnika od starych zrobów powiększona o szerokość strefy spękań przy starych zrobach $(r = l - l_o)$.

Po wykonaniu całkowania wzór na naprężenie średnie pochodzące od chodnika będzie miał postać:

$$\sigma_{zch}^{śrP} = \frac{Gw_o}{\pi(r-a)}\left[2\ln\frac{\sqrt{l^2-a^2}\sqrt{r^2-a^2}}{l+r} + \right.$$

$$- 2\ln\frac{l+a}{l+r} - \ln\left|\frac{\sqrt{(l^2-a^2)(r^2-a^2)} + lr - a^2}{\sqrt{(l^2-a^2)(r^2-a^2)} - lr - a^2}\right| +$$

$$\left. + \frac{l}{\sqrt{l^2-a^2}}\ln\frac{r+\sqrt{r^2-a^2}}{r-\sqrt{r^2-a^2}}\right] + p\left(1 - \sqrt{\frac{r+a}{r-a}}\right) \tag{10}$$

Średnie naprężenie pochodzące od czynnej eksploatacji obliczamy korzystając ze wzoru (2), zapisując go w postaci:

$$\sigma_{cz.fr.}^{śr.P} = \frac{2Gw_o}{\pi r}\left[e^{\frac{\beta}{\nabla}(l_2+2a+r)}\int_{\frac{\beta}{\nabla}(l_2+2a+r)}^{\infty}\frac{e^{-s}}{s}\,ds - e^{\frac{\beta}{\nabla}(l_2+2a)}\int_{\frac{\beta}{\nabla}(l_2+2a)}^{\infty}\frac{e^{-s}}{s}\,ds + \ln\frac{l_2+2a+r}{l_2+2a}\right] \tag{11}$$

Średnie naprężenie pochodzące od starych zrobów wyznaczamy ze wzoru (3) i rys. 1, wykonując całkowanie od $x = a$ do $x = r$

$$\sigma_{st.zr.}^{śr.P} = \frac{2Gw_o}{\pi(r-a)}\ln\frac{l_1}{l_o} \tag{12}$$

Warunek, który musi być spełniony, aby w części pokładu między frontem ścianowym a chodnikiem nie nastąpiło przekroczenie wytrzymałości, ma postać:

$$\sigma_z^{śr.P} < \sigma_z^{kr} \tag{13}$$

Po podstawieniu wartości naprężeń składowych otrzymamy zależność

$$\sigma_{ch.}^{śr.P} + \sigma_{st.Żr}^{śr.P} + \sigma_{cz.fr}^{śr.P} - \gamma H \leqslant 28 + 15{,}3\,\frac{l_1 - l_o}{g}, \qquad (14)$$

z której metodą kolejnych przybliżeń, za pomocą maszyny cyfrowej wyznaczamy wielkość strefy krytycznej, ze względu na resztkę pomiędzy chodnikiem a starymi zrobami.

4. Algorytm obliczeniowy

W celu dogodnego i szybkiego wyznaczenia strefy krytycznej przy zbliżaniu się frontu ścianowego do chodnika i starych zrobów, otrzymane wzory i zależności analityczne zostały zawarte w programie obliczeniowym [2] opracowanym w języku ALGOL 1900, przystosowanym do maszyn Odra serii 1300. Metoda postępowania przy wyznaczaniu strefy krytycznej w przygotowanym programie obliczeniowym zawiera następujące etapy obliczeń:

Etap 1. Wyznaczenie szerokości strefy spękań przy starych zrobach l_o i szerokości stref spękań z obydwu stron chodnika. Strefy spękań wyznaczono ze wzoru podanego w pracy [3], przyjmując go w postaci:

$$\left|\sum \sigma(x)\right| = \frac{\gamma K}{2} \qquad (15)$$

Równanie (15) rozwiązano numerycznie, metodą kolejnych przybliżeń, ze względu na szerokość strefy spękań (l_o), która zgodnie z przyjętym modelem przestrzennym wyrobisk (rys. 1) jest uzależniona od współrzędnej bieżącej x. Przyjęto, że:

- strefa spękań przy starych zrobach $l_o = |l-x|$,
- strefa spękań przy chodniku od strony starych zrobów $l_o^{(P)} = x-a$,
- strefa spękań przy chodniku od strony czynnego frontu $l_o^{(L)} = -x-a = |x-a|$.

Etap 2. Wyznaczenie krytycznej odległości pomiędzy czynnym frontem a chodnikiem (l_2^{kr}) ze względu na obliczone ze wzoru (6) średnie naprężenie w tej resztce $\sigma_z^{śrL}$.

W przypadku kiedy strefa spękań l_o jest równa szerokości resztki pomiędzy chodnikiem a zrobami, wówczas sporządzony jest przez maszynę rozkład naprężeń w resztce (bez uwzględnienia oddziaływania czynnego frontu) i pomijane są dalsze obliczenia do etapu 4.

Jeżeli strefa spękań l_o obejmuje tylko część szerokości strefy pomiędzy chodnikiem a zrobami, wówczas realizowany jest etap 3.

Etap 3. Obliczone jest tutaj średnie naprężenie w resztce między chodnikiem i starymi zrobami $\sigma_z^{śr.P}$ wzór (11), bez uwzględnienia oddziaływa-

nia czynnego frontu, a także obliczona jest wytrzymałość tej resztki $\sigma_z^{kr.P}$. W przypadku kiedy średnie naprężenie $\sigma_z^{śr.P}$ przekracza wartość naprężenia krytycznego $\sigma_z^{kr.P}$, sporządzony zostaje rozkład naprężeń w resztce, jak w etapie 2.

Etap 4. Gdy naprężanie średnie w resztce pomiędzy chodnikami i starymi zrobami $\sigma_z^{śr.P}$ ma wartość mniejszą od wartości wytrzymałości tej resztki $\sigma_z^{kr.P}$, wówczas następuje obliczenie średniego naprężenia w tej samej resztce dla przypadku skrajnego położenia czynnego frontu (w linii chodnika, $l_z = 0$).

Naprężenie to oznaczono przez $\sigma_z^{śr.P2}$. W sytuacji kiedy naprężenie $\sigma_z^{śr.P2}$ przekracza wartość naprężenia krytycznego σ_z^{krP}, następuje obliczenie krytycznej odległości czynnego frontu od chodnika l_1^{kr} ze względu na naprężenia w resztce między chodnikiem i starymi zrobami, a w sytuacji przeciwnej jako szerokość strefy niebezpiecznej przyjmuje się wielkość l_2^{kr} wyznaczoną w etapie 1.

Jeżeli l_1^{kr} było wyznaczane, wtedy jako niebezpieczną odległość czynnego frontu od chodnika przyjmuje się $l_2 = l_2^{kr}$, gdy l_2^{kr} jest większe od l_1^{kr} lub $l_2 = l_1^{kr}$, gdy l_1^{kr} jest większe od l_2^{kr}. W obydwu przypadkach sporządzone są rozkłady naprężeń w obydwu resztkach przy odległości l_2 określonej jak wyżej. Odległość l_2 jest odległością czynnego frontu od chodnika, w momencie kiedy w jednej lub drugiej strefie naprężenia osiągną wartość krytyczną. Jeżeli l_2 jest równe l_2^{kr}, wówczas następuje stabelaryzowanie zależności średniego naprężenia i wytrzymałości resztki między chodnikiem i czynnym frontem od odległości czynnego frontu od chodnika.

Gdy l_2 jest równe l_1^{kr}, stabelaryzowana zostaje zależność średniego naprężenia i wytrzymałości resztki między chodnikiem i starymi zrobami od odległości czynnego frontu od chodnika.

5. Przykład obliczeniowy

Założonym celem niech będzie wyznaczenie bezpiecznej odległości l_2^{bezp}, na którą może zbliżyć się front eksploatacji ścianowej do chodnika (rys. 1), dla następujących parametrów charakteryzujących warunki eksploatacji oraz stałe materiałowe górotworu:

- głębokość zalegania pokładu, H = 400, [m],
- przeciętny ciężar właściwy skał górotworu, $\gamma = 2{,}5 \left[\frac{T}{m^3}\right]$ 25 $\left[\frac{kN}{m^3}\right]$,
- kąt nachylenia pokładu = 0°,
- odwrotność czasu opóźnienia sprężystego dla skał górotworu

$$\beta = 3{,}0 \left[\frac{1}{rok}\right],$$

- przeciętna wartość zastępczego modułu sprężystości postaciowej skał górotworu $G = 500 \left[\frac{MN}{m^2}\right]$,
- stała plastyczności węgla $K = 20 \left[\frac{MN}{m^2}\right]$,
- przeciętna wielkość współczynnika Poissona $\vartheta = 0{,}25$,
- odległość chodnika od starych zrobów $l_1 = 40$ [m],
- szerokość chodnika $2a = 3$ [m],
- grubość wybrania starych zrobów - 3 [m],
- współczynnik eksploatacyjny ze względu na stare zroby

$$\tilde{\eta}_1 = 0{,}15,$$

- średnia grubość pokładu wybieranego przed frontem czynnym - 3 [m],
- współczynnik eksploatacyjny ze względu na kierowanie stropem w pokładzie wybieranym $\tilde{\eta}_2 = 0{,}15$,
- średni roczny postęp frontu eksploatacyjnego $v = 400 \left[\frac{m}{rok}\right]$.

Dla tych konkretnych warunków po wprowadzeniu danych do maszyny cyfrowej otrzymano:

- niebezpieczną odległość czynnego frontu od chodnika ze względu na naprężenia w strefie między chodnikiem i czynnym frontem $l_2^{kr} = 25{,}6$ [m],
- niebezpieczną odległość czynnego frontu od chodnika ze względu na naprężenia w strefie między chodnikiem a starymi zrobami $l_1^{kr} = 13{,}1$ [m].

Spośród wyznaczonych wielkości l_1^{kr} i l_2^{kr} należy wybrać zawsze tę wielkość, która ma większą wartość, zgodnie z zależnością:

$$l^{bezp} = l^{kr} = \max\left[l_1^{kr}, l_2^{kr}\right] \tag{16}$$

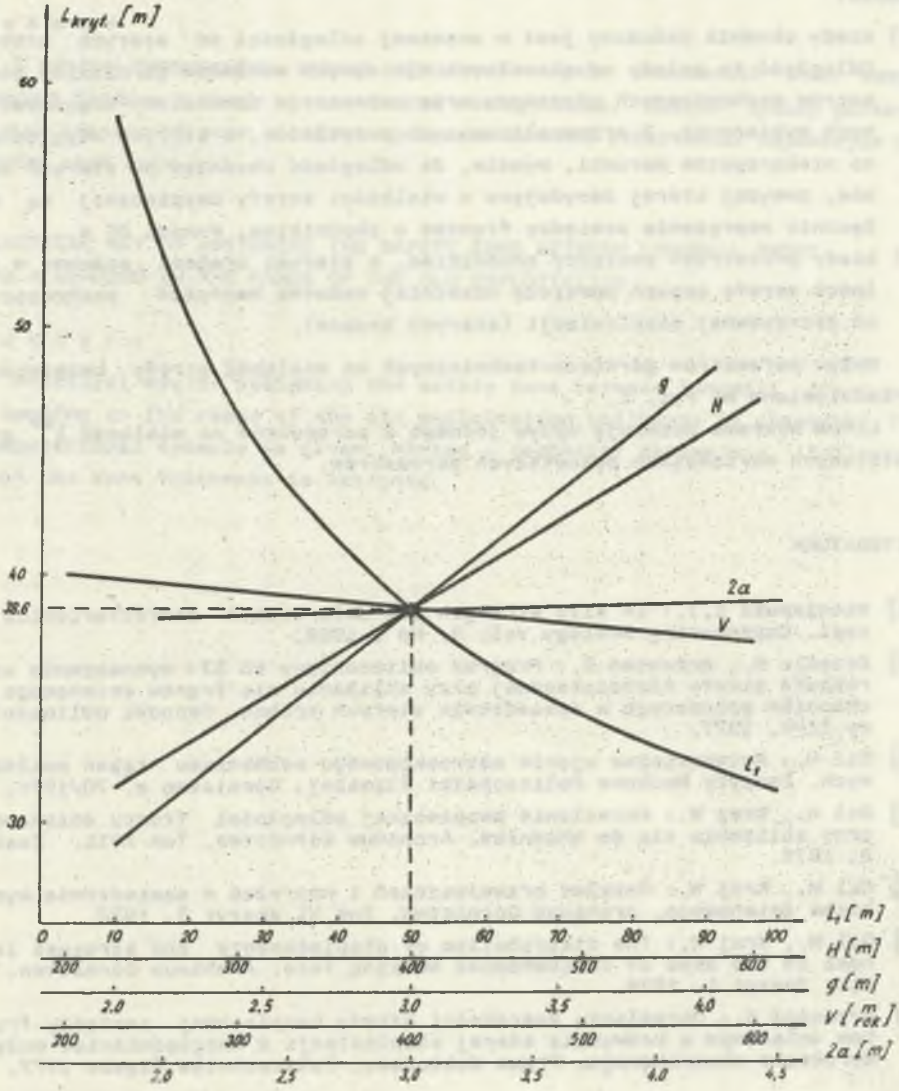
Jako wartość strefy bezpiecznej w rozpatrywanym przykładzie przyjęto:

$$l^{bezp} = l_2^{kr} = 26 \text{ m}.$$

6. Podsumowanie

Wyznaczenie strefy bezpiecznej w warunkach ruchowych kopalni powinno spowodować odpowiednio wczesne wykonanie ściany zamykającej lub podjęcie przedsięwzięć technicznych mających na celu odprężenie stref zagrożonych (strzelanie zruszająco-odprężające, wtłaczanie wody itp.).

Liczne przykłady obliczeniowe [7] wskazują, że dla najbardziej niesprzyjających warunków górniczych (w granicach głębokości eksploatacyjnej do 1000 m) strefa niebezpieczna nie przekracza 80 m. Nie jest więc większa od przeciętnej długości ściany.



Rys. 2. Wykres przebiegu zmienności charakterystycznych parametrów eksploatacyjnych i ich wpływ na wielkość strefy krytycznej ($l^{kr.}$)

Wielkość szerokości strefy bezpiecznej można wyznaczać ze względu na naprężenie pionowe panujące pomiędzy czynnym frontem a chodnikiem, z pominięciem obliczenia naprężeń między chodnikiem a starymi zrobami w przypadku:

a) kiedy chodnik położony jest w znacznej odległości od starych zrobów. Odległość ta zależy od aktualnych dla danych warunków górniczych parametrów mechanicznych górotworu oraz parametrów techniczno-organizacyjnych wybierania. Z przeanalizowanych przykładów, w których uwzględniono niekorzystne warunki, wynika, że odległość chodnika od starych zrobów, powyżej której decydujące o wielkości strefy bezpiecznej są wyłącznie naprężenia pomiędzy frontem a chodnikiem, wynosi 80 m,

b) kiedy przestrzeń pomiędzy chodnikiem, a starymi zrobami stanowi w całości strefę spękań powstałą wcześniej wskutek naprężeń pochodzących od zatrzymanej eksploatacji (starych zrobów).

Wpływ parametrów górniczo-technicznych na wielkość strefy bezpiecznej przedstawiono na rys. 2.

Linie wykresu pokazują wpływ jednego z parametrów na wielkość l^{kr} przy ustalonych wartościach pozostałych parametrów.

LITERATURA

[1] Bieniawski Z.T.: In situ strength and deformation characteristics of coal. Engineering Geology Vol. 2. No 5 1968.

[2] Drzęźla B., Krzemień S.: Program obliczeniowy ED 23- wyznaczenie szerokości strefy niebezpiecznej przy zbliżaniu się frontu ścianowego do chodnika położonego w sąsiedztwie starych zrobów. Ośrodek Obliczeniowy ZZPW, 1977.

[3] Gil H.: Matematyczne ujęcie makroskopowego mechanizmu tąpań pokładowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 70/1976.

[4] Gil H., Kraj W.: Określenie bezpiecznej odległości frontu ścianowego przy zbliżaniu się do chodnika. Archiwum Górnictwa. Tom XVII. Zeszyt 3, 1972.

[5] Gil H., Kraj W.: Rozkład przemieszczeń i naprężeń w sąsiedztwie wyrobiska ścianowego. Archiwum Górnictwa. Tom VI zeszyt 3, 1972.

[6] Gil H., Kraj W.: The distribution of displacements and stresses in a rock in the case of en abandoned working face. Archiwum Górnictwa. Tom XIX. Zeszyt 1, 1974.

[7] Krzemień S.: Określenie szerokości strefy bezpiecznej pomiędzy frontem ścianowym a krawędzią starej eksploatacji z uwzględnieniem wpływu wyrobiska chodnikowego. Praca doktorska. Politechnika Śląska 1977.

Recenzent: Doc. dr inż. Józef ŁOJAS

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1982 r.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРИНЫ БЕЗОПАСНОЙ ЗОНЫ МЕЖДУ СТЕННЫМ ФРОНТОМ А ХОДОМ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ БЫВШЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Р е з ю м е

В статье представлено пример определения ширины безопасной зоны между стенным фронтом а ходом в зоне бывшей эксплуатации. Подано пример расчота ширины безопасной зоны а также определено влияние технических параметров на ширину этой зоны.

PRACTICAL WAY OF ASSIGNING THE SAFETY ZONE BETWEEN LONGWALL FRONT AND A HEADING IN THE RANGE OF THE OLD EXPLOITATION

S u m m a r y

Practical way of assigning the safety zone between longwall front and a heading in the range of the old exploitation influence is presented. The computational example is given. Mining - technical parameters influence upon the zone thickness is assigned.