ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1983

Seria: GÓRNICTWO z. 118 Nr kol. 730

Henryk GIL, Adam ŚWIDZIŃSKI

ANALITYCZNY SPOSÓB OKREŚLANIA ZAGROŻENIA WYRZUTOWEGO W WYROBISKACH KORYTARZOWYCH

Streszczenie. Przy założeniu, że górotwór zachowuje się jak ciało liniowo-sprężyste, uwzględniając wpływ uskoków wyprowadzono wzór na szerokość strefy bezpiecznej wstrzymującej wyrzut (l). Określając in situ faktyczną szerokość strefy odprężonej (l_δ) i znając wartość l można wnioskować o zagrożeniu wyrzutowym w drążonym wyrobisku korytarzowym. Podano przykłady praktycznego zastosowania.

1. Wstęp

Zagrożenie wyrzutami gazów i skał stanowi podstawowe zagrożenie kopalń dolnośląskich. Od 1894 r. do 1.11.1981 r. zarejestrowano 1562 wyrzuty, w wyniku których zginęło 469 górników (analizę wszystkich wyrzutów zestawiono w tablicy 1). Spośród tych wyrzutów, 1369 zaistniało w wyrobiskach korytarzowych (patrz tablica 2), co stanowi ok. 89% [9]. Drugą charakterystyczną cechą występowania wyrzutów gazowo-skalnych w kopalniach dolnośląskich jest ich związek z uskokami; 60-80% wyrzutów w poszczególnych kopalniach zaistniało w sąsiedztwie uskoków [10]. Podobne prawidłowości występują również w kopalniach zagłębi Donieckiego i Ostrawsko-Karwińskiego [1, 11]. Powyższe przyczyny wskazują na konieczność opracowania odrębnej metody prognozy dla wyrobisk korytarzowych. Niniejsza praca stanowi kontynuację prac [4, 5, 6], w których przedstawiono analityczne metody prognozy wyrzutów gazów i skał na etapie: regionalnym, lokalnym i bieżącym.

2. Wpływ uskoków na zagrożenie wyrzutami gazów i skał

Traktując uskok jak szczelinę w górotworze przeanalizowano jego wpływ na rozkład naprężenia w górotworze. W tym celu należy rozważyć wpływ parametrów geometrycznych szczeliny uskokowej na wielkość współczynnika poziomego rozpierania skał (α) oraz wpływ składowej poziomej naprężenia:

$$p_x = \alpha \cdot \gamma H \tag{1}$$

na wytrzymałość calizny w jej sąsiedztwie, a co za tym idzie na możliwość zaistnienia wyrzutu. Zagadnieniem poszukiwania rozkładu naprężenia na kon-

Tablica 2

Zestawienie ilości wyrzutów gazów i skał
w kopalniach DśZPW na dzień 1.I.1979 r. wg rodzaju wyrobisk

Rodzaj wyrobiska	Liczba zaistniałych wyrzutów
Szyby i szybiki	14
Przekopy	113
Otwory wiertnicze	1
Ogółem przy przebijaniu pokładów	128
Chodniki poziome	868
Dowierzchnie	200
Upadowe	177
Otwory wiertnicze	3
Ogółem wyrobiska badawcze i przygotowawcze	1248
Ściany i zabierki	158
Ogólna liczba wyrzutów	1534

turze szczeliny Griffitha o zadanym jej kształcie zajmował się Sneddon [8]. W przypadku, gdy kształt szczeliny zadano w postaci:

$$U_y(x,o) = \begin{cases} W_{(x)}, & \text{gdy} \quad 0 < x < y \\ 0, & \text{gdy} \quad x > a \end{cases} \tag{2}$$

wówczas naprężenie działające prostopadle do konturów szczeliny $\sigma_y = -p_{(x)}$, dane jest wzorem:

$$p_{(x)} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{d}{dx} \int_0^x \frac{f(t)dt}{\sqrt{x^2 - t^2}} \tag{3}$$

gdzie:

$U_{(x,o)}$ - składowa pionowa wektora przemieszczenia,
$f(t)$ - funkcja czasu, określana wzorem

$$f(t) = -\frac{E}{2(1-\vartheta^2)} \int_t^a \frac{W'(s)}{\sqrt{s^2 - t^2}} ds \tag{4}$$

E - moduł sprężystości podłużnej Younga,
ϑ - współczynnik Poissona,
$W'(x)$ - pochodna funkcji $W_{(x)}$.

Charakterystyka zagrożenia wyrzutowego w kopalniach DśZPW (stan na 1.11.1981 r.)

Kopalnia	Pierwszy zarejestrowany wyrzut			Liczba zarejestrowanych wyrzutów			Największy wyrzut			Gaz biorący udział w wyrzut.	Głębokość występowania wyrzutów (m)		Wyrzuty skały płonnej	Pokłady, w których notowano wyrzuty	System eksploatacji i kierowania stropem	Wypadki śmiertelne osób spowodowane wyrzutami			Dodatkowe uwagi
	rok	wyrzucona masa (t)	pokład	do 11.07. 1945	od 12. 7.45 do 1.11.81	razem	data	wyrzucona masa (t)	ilość wydzielon. gazu (tys. m^3)		minimalna	maksymalna				do 11.07.45	od 12.07.45 do 1.11.81	Razem	
OKRĘG WAŁBRZYSKI														**OKRĘG WAŁBRZYSKI**					
Thorez	1909	5	673	39	81	120	1.02. 1913	220	2	CO_2	418	794,4	nie występują	655, 667, 672, 673, 675, 678	ścianowy z pełnym zawałem lub podsadzką suchą	21	16	17	w 1975 r. zaistniał nagły wypływ CO_2 w ilości 32000 m^3, który pociągnął ofiary w ludziach
Wałbrzych, pole B. Chrobry	1909	60	437/441	23	6	29	9.10. 1978	400	30	CO_2, CH_4 $CO_2 + CH_4$	281	821,5	nie występują	309, 312/14, 437, 441	ścianowy z pełnym zawałem lub podsadzką suchą	1	4	5	zanotowano 6 wyrzutów CH_4 i węgla
Victoria	1923	36	550	9	4	13	11.06. 1924	1600	97,512	CO_2, CH_4 $CO_2 + CH_4$	309	580	nie występują	549, 550, 662, 672	ścianowy z pełnym zawałem lub podsadzką suchą	30	1	1	4 wyrzut zanotowano 27.3.44 r.; 10 wyrzut (CH_4) zanotowano we wrześniu 80 r., 11 wyrzut (CO_2) w dn. 20.3.81 r., 12 wyrzut (CO_2) w dn. 19.6.81 r. (zginęła 1 osoba)
OKRĘG NOWORUDZKI														**OKRĘG NOWORUDZKI**					
Nowa Ruda, pola: Piast, Bolesław i upadowej Pniaki	1908	16	302	628	611	1239	22.10. 1958	5000	750	CO_2, $CO_2 + CH_4$ (*)	110	800	dotychczas zanotowano 2 wyrzuty: 1840 i 1260 t	301, 302, 304, 405, 410, 412, 415/1, 415/2, 415 i ławy łupku ogniotrwałego	ścianowy z pełnym zawałem lub podsadzką suchą	210	31	251	wyrzuty skały płonnej zaistniały w drążonym przekopie "C" na głęb. 595 m
KOPALNIE AKTUALNIE NIECZYNNE														**KOPALNIE AKTUALNIE NIECZYNNE**					
Cezar - - Zofia	1894	3	436	69	-	69	21.09. 1924	710	brak danych	CO_2	80	400	nie występowały	436, 427	ściany i zabierki	14	-	14	kopalnia położona w okolicy Jedliny Zdroju
Wacław	1915	20	304	92	-	92	9.07. 1930	3354	brak danych	CO_2	90	590	nie występowały	304, 408, 410, 413, 415	ściany i zabierki	161	-	161	największy wyrzut powstał na skutek tąpnięcia; w wyniku wyrzutu zginęło 151 górników
OGÓŁEM DLA KOPALŃ DOLNOŚLĄSKICH														**OGÓŁEM DLA KOPALŃ DOLNOŚLĄSKICH**					
Zagłębie Dolnośląskie	1894	3	436	860	702	1562	22.10. 1958	5000	750	CO_2, CH_4, $CO_2 + CH_4$	80	821,5	występują	301,302,304,309,312/14,405,408-10,412,413,415, 415/1-2,427,436,437,441,549,550,655,662,667,672, 673,675,678 i ławy łupku ogniotrwałego	aktualnie głównie ścianowy z pełnym zawałem stropu	417	52	469	wyrzuty zachodzą w węglach chudych, koksowych, antracytach i łupkach ogniotrwałych

(*) Przypadki wyrzutów $CO_2 + CH_4$ i węgla notowano w nieczynnym aktualnie polu "Bolesław".

Przy założeniu, że górotwór zachowuje się jak ciało liniowo-sprężyste oraz przy założeniu, że kształt szczeliny uskoku pionowego opisuje w przybliżeniu funkcja, postaci:

$$W_{(x)} = A(1 - \frac{x^2}{a^2}), \tag{5}$$

to wówczas rozkład naprężenia na konturze szczeliny zgodnie ze wzorem 3, określa zależność:

$$P_{(x)} = \frac{2\,A\,.\,E}{(1 - \vartheta^2)a} \cdot E_{(k)}, \tag{6}$$

gdzie:

$$E_{(k)} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2\,.\,\sin^2\varphi}\,d\varphi, \tag{7}$$

oznacza całkę eliptyczną drugiego rodzaju, natomiast k wynosi:

$$k = \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}},$$

gdzie:

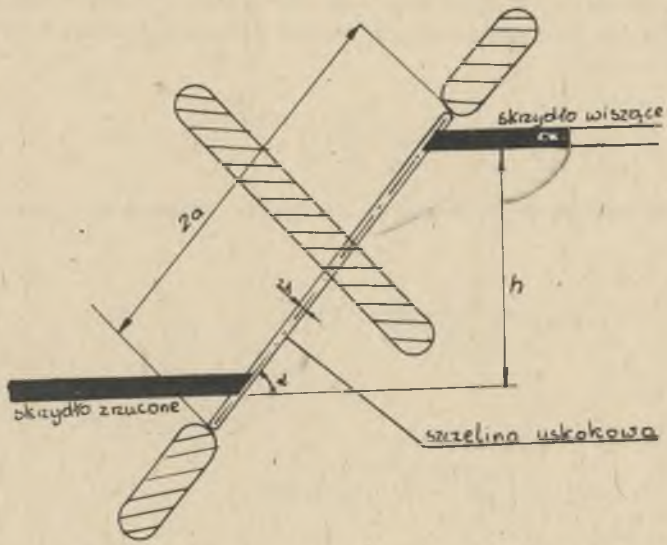
a - połowa szczeliny ($\frac{1}{2}$ długości szczeliny),
A - połowa długości amplitudy (szerokości szczeliny).

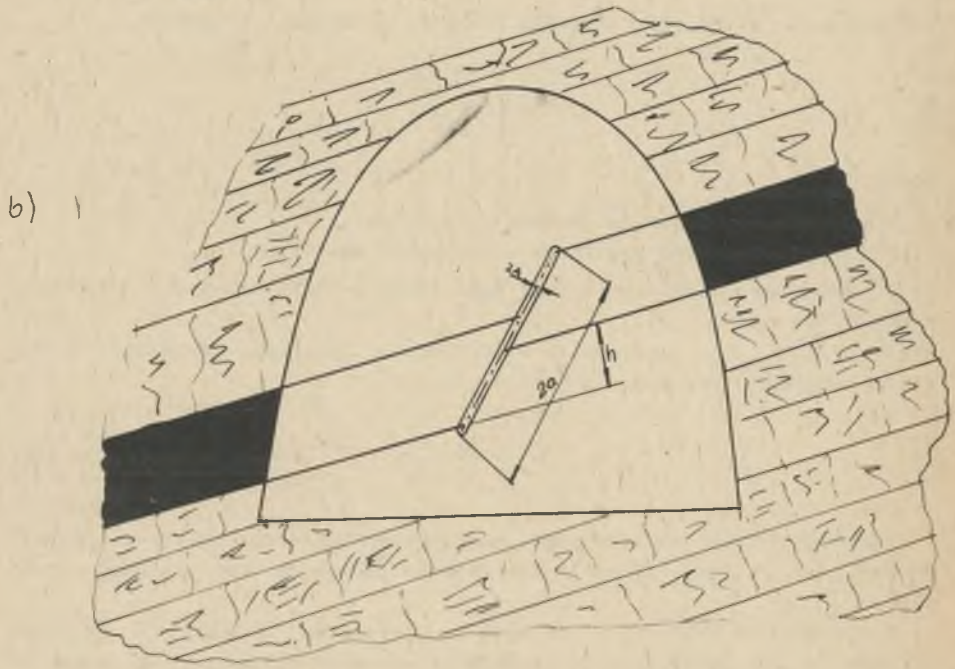
Dla szczeliny uskokowej sposób oznaczania parametrów A i a obrazują schematy na rys. 1.
Dla: $x = 0$, $E_{(k)} = 1$, wzór 6 określa wielkość przyrostu naprężenia w miejscu największego rozwarcia szczeliny, czyli:

$$P_{(o)} = \frac{2\,A\,.\,E}{(1 - \vartheta^2)a}. \tag{8}$$

Przyrost naprężenia ciśnięcego, wywołanego szczelinę uskokową, zależy od amplitudy uskoku, stałych materiałowych górotworu oraz długości szczeliny.

W sąsiedztwie szczelin uskokowych o niewielkich rozmiarach, przyrost naprężenia jest duży. Wartość naprężenia wyrażona wzorem 8 ma wpływ na wielkość współczynnika poziomego rozpierania skał (α). Można powiedzieć, że amplituda szczeliny, jej długość jak również charakter skał mają decydujący wpływ na ten współczynnik, który w skałach zwięzłych będzie wzras-





Rys. 1. Schemat do wyznaczania parametrów szczeliny uskokowej (a - połowa długości szczeliny, A - połowa jej szerokości)

a) przy dużym zrzucie uskoku (h > 3 m); pole zakreskowane oznaczają miejsca podwyższonych naprężeń wokół uskoku wg A. Goszcza, b) przy małym zrzucie uskoku (h < 3 m)

tał, a w słabych malał. Jego wartość średnią dla danej głębokości można wyznaczyć ze wzoru [2]:

$$\alpha\gamma H = n\gamma H + \frac{2\,A\,.\,E}{\pi\,.\,a(1-\nu^2)}, \tag{9}$$

dzieląc obustronnie przez γH, otrzymamy:

$$\alpha = n + \frac{2\,A\,E}{\pi\,.\,a(1-\nu^2)}\cdot\frac{E}{\gamma H} \tag{10}$$

Z powyższego wzoru wynika, że w sąsiedztwie szczeliny uskokowej ma miejsce przyrost parametru α. Dla szczelin uskokowych o małych długościach współczynnik α może się zwiększać kilkakrotnie i może mieć decydujący wpływ na stateczność ociosu chodnikowego w bezpośrednim sąsiedztwie uskoku. Znajomość parametru uskoku pozwala na wyspecyfikowanie współczynnika α.

3. Kryterium wyrzutu gazów i skał w wyrobisku chodnikowym w sąsiedztwie szczeliny uskokowej

Obecność uskoków w pokładzie gazonośnym zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia wyrzutu; węgiel w jego sąsiedztwie jest zniszczony, przez co posiada mniejszą mechaniczną wytrzymałość, szczelina uskokowa oraz skrzydło zrzucone uskoku są miejscami dużych nagromadzeń gazu wolnego; w sąsiedztwie szczeliny uskokowej ma miejsce podwyższony stan naprężenia. Wobec powyższego obecność uskoków w górotworze potraktowano jako jedną z zasadniczych, naturalnych przyczyn występowania zjawisk wyrzutów. Jak wykazano powyżej obecność uskoku w górotworze zaburza pierwotny stan naprężenia i składowa pozioma naprężenia różni się zwykle w jego sąsiedztwie od wielkości $n\gamma H$.

Jeżeli wykorzystamy wzór 10, określający współczynnik poziomego rozpierania α, to kryterium wyrzutu (patrz praca 6), można uogólnić i będzie ono opisywać stan krytyczny w sąsiedztwie uskoku.

Uogólnione kryterium wyrzutu przyjmie wtedy postać:

$$-\frac{\sigma_k}{2} + (1-m)\,.\,(\alpha\gamma H + p_o) = \sigma_z(l_o,t) - \gamma H \tag{11}$$

W powyższym wzorze naprężenie $\sigma_z(l_o,t)$ musi być wyliczone na podstawie innych rozważań. Dla wyrobiska chodnikowego rozkład naprężenia $\sigma_{z(x)}$ na jego ociosie określa wzór podany przez S.G. Michlina [2] w postaci:

$$\sigma_{z(x)} = \frac{p}{4}\left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 - a_1^2}}\right); \quad x > a_1, \tag{12}$$

gdzie:

$2a_1$ - szerokość chodnika,

$p = \gamma H$ - (składowa pozioma naprężenia pierwotnego).

Uwzględniając wzór 12, w kryterium wyrzutu 11, otrzymamy kryterium wyrzutu dla ociosu chodnika w następującej formie:

$$-\frac{\pi k}{2} + (1 - m) \cdot (\alpha\gamma H + p_o) = \frac{\rho}{4}\left(1 - \frac{l_o}{\sqrt{l_o^2 - a_1^2}}\right) - \gamma H. \qquad (13)$$

Kryterium wyrzutu dla wyrobiska chodnikowego wyrażone powyższym wzorem można wykorzystać praktycznie w zagadnieniu prognozowania (szerokość strefy bezpiecznej) oraz profilaktyki zwalczania wyrzutów (długość otworów odprężających). Przy odpowiednich parametrach występujących po lewej stronie równości 13, istnieje odpowiednia szerokość strefy odprężonej l, (bezpiecznej, wstrzymującej wyrzut). Szerokość ta pokrywa się w zasadzie z długością otworów odprężających (ich długość powinna być o 0,5-1 m dłuższa od szerokości strefy l). Szerokość strefy l można wyliczyć z warunku, że siła tarcia przeciwdziałająca niestateczności ociosu musi się równać sile wypychającej ocios, wyrażonej przez lewą stronę równości 13. Dla pokładu lub warstwy wyrzutowej o grubości h, równość ta ma postać (licząc na 1 m bieżący ociosu):

$$100 \cdot l\gamma H \cdot \mathrm{tg}\varrho = h\left[-\frac{\pi k}{2} + (1 - m) \cdot (\alpha \cdot \gamma H + p_o)\right] 10^2 \qquad (14)$$

Z powyższej równości, wyznaczając l jako funkcję pozostałych parametrów charakteryzujących wyrzut, otrzymamy wzór na szerokość strefy odprężonej l (2), zdolnej wytrzymać wyrzut, dla przypadku wyrobiska korytarzowego z uwzględnieniem uskoku, postaci:

$$l = \frac{h\left[-\pi k + 2(1 - m) \cdot (\alpha\gamma H + p_o)\right] 10^2}{200 \cdot \gamma H \cdot \mathrm{tg}\varrho}, \quad (m) \qquad (15)$$

natomiast dla przypadku bez uskoku, wzór powyższy będzie miał postać:

$$l = \frac{h\left[-\pi k + 2(1 - m) \cdot (n\gamma H + p_o)\right]}{2 \cdot \gamma H \cdot \mathrm{tg}\varrho}, \quad (m) \qquad (16)$$

W formułach 14-16 poszczególne symbole oznaczają:

h - grubość pokładu lub warstwy wyrzutowej (cm),

k - wytrzymałość pokładu węgla (stała plastyczności węgla), określana jako $k = \frac{Rc}{\sqrt{3}}$, gdzie Rc - mechaniczna wytrzymałość węgla (skały) na ściskanie w stanie jednoosiowym,

a - porowatość węgla (%),

α - współczynnik poziomego rozpierania, uwzględniający zaburzenia tektoniczne w postaci uskoku, określany wzorem 10,

n - współczynnik bocznego rozpierania, określany jako:

$$n = \frac{\vartheta}{1 - \vartheta}, \quad (-) \tag{17}$$

ϑ - współczynnik Poissona (-),

γH - składowa pozioma naprężenia pierwotnego (MPa); γ - ciężar objętościowy skał nadległych (25 KN/m^3), H - głębokość zalegania licząc od powierzchni Ziemi (m),

p_o - ciśnienia gazu wolnego w pokładzie (MPa),

ϱ - kąt tarcia wewnętrznego węgla odprężanego (rd).

We wzorach 15 i 16 pominięto wpływ wyrobiska na zmianę pierwotnego stanu naprężenia. Ponieważ jednak wpływ wyrobiska na zmianę naprężenia może sięgać 50%, co w praktyce daje zmianę szerokości strefy 1 do ok. 1 m, zagadnienie to w niniejszej pracy uwzględniono [3].

4. Wpływ kształtu wyrobiska na zmianę pierwotnego stanu naprężenia

Wykonanie wyrobiska w górotworze zmienia pierwotny stan naprężenia; powstają dodatkowe naprężenia wywołane wyrobiskiem. Zagadnienie rozkładu naprężenia wokół wyrobiska korytarzowego zostało między innymi rozwiązane przez A. Sałustowicza [7], w układzie sprężystym. Rozpatrzono 3 najbardziej typowe kształty wyrobisk górniczych, tj. kołowy, prostokątny i eliptyczny. Celem pracy jest uwzględnienie wpływu oddziaływania wyrobiska na zmianę stanu naprężenia; z punktu widzenia niniejszej pracy znaczenia nabiera jedynie składowa pozioma naprężenia (przyjęto, że wyrobiska korytarzowe są zbliżone do kształtu prostokątnego - co w praktyce kopalń dolnośląskich odpowiada prawdzie). Wg Sałustowicza [7] na wielkość i rozkład naprężenia w najbliższym sąsiedztwie chodnika nie wpływa wielkość pola przekroju poprzecznego wyrobiska, a jedynie jego kształt, ściślej stosunek szerokości wyrobiska (b) do jego wysokości (c), tzn. stosunku $\frac{b}{c}$, a poza tym składowe naprężenia pierwotnego p_z i p_x. Na ociosach chodnika i w jego sąsiedztwie w caliźnie, naprężenie pionowe σ_z jest większe od ciśnienia pierwotnego p_z (w niniejszej pracy pominięto znane powszechnie z literatury wykresy naprężenia w sąsiedztwie ociosu i w stropie wyrobisk korytarzowych). Największą wartość naprężenia pionowe osiąga na ociosie; jego wartość jest równa:

$$\sigma z_{max} = p_z(1 + \alpha') - p_x, \tag{18}$$

gdzie:

α' - współczynnik zależny od stosunku $\frac{b}{c}$ (w niniejszej pracy współczynnik ten nas nie interesuje).

A więc im szerszy jest chodnik, przy tej samej wysokości, tym większą wartość osiąga naprężenie pionowe na jego ociosach. Obszar o zwiększonym naprężeniu dochodzi teoretycznie do nieskończoności; praktycznie jego zasięg jest skończony i zależy od wysokości chodnika; mianowicie przy stosunku $\frac{b}{c} = 1 \div 2$ można jego zasięg przyjęć jako równy 3-krotnej wysokości chodnika.

Na ociosie składowa σ_x jest równa 0, ponieważ układ jest w równowadze. W partii stropowej i spągowej wskutek wykonania wyrobiska następuje spadek naprężenia pionowego; na odkrytej płaszczyźnie stropu lub spągu $\sigma_z = 0$. Naprężenie poziome σ_x jest przeważnie naprężeniem rozciągającym, a jego największa wartość w środkowym punkcie stropu lub spągu wynosi:

$$\sigma_{x_{max}} = - p_z + (1 + \beta) p_x, \tag{19}$$

gdzie:

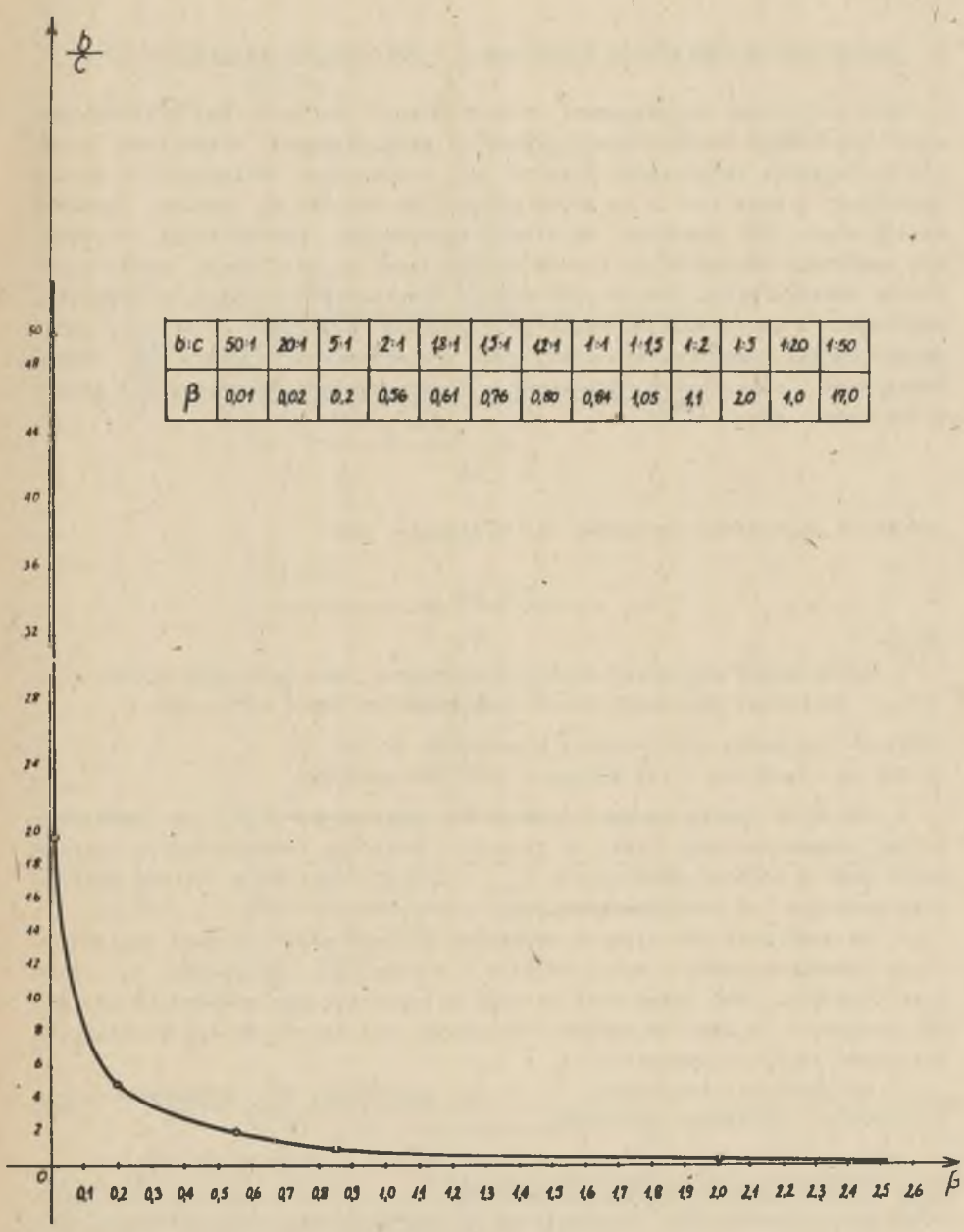
β - współczynnik zależny od $\frac{b}{c}$.

Z powyższego wzoru wynika, że ciśnienie pionowe wywołuje w stropie naprężenie rozciągające ($-p_z = \gamma H$), ciśnienie zaś boczne - naprężenie ciśnięce. Zazwyczaj przeważa ciśnienie pionowe i w stropie panują rozciągania. Z punktu widzenia niniejszej pracy chodzi jedynie o wyspecyfikowanie składowej poziomej naprężenia (p_x), która wraz z ciśnieniem gazu (p) stanowi siłę motoryczną zaistnienia wyrzutu. Wartość składowej poziomej naprężenia jest powiększona o oddziaływania wyrobiska korytarzowego (współczynnik β), stąd jego wartość po uwzględnieniu oddziaływania wyrobiska wynosi $(1 + \beta)p_x$. W kopalniach dolnośląskich stosunek $\frac{b}{c}$ w wyrobiskach korytarzowych może się zmieniać w granicach od 1 do 2. Najczęstszym przypadkiem jest: $\frac{b}{c} = \frac{3}{2} = 1,5$, co odpowiada wartości $\beta = 0,76$ (patrz rys.2). Dla ułatwienia określania jako funkcji $\frac{b}{c}$ sporządzono wykres tej funkcji (3), przedstawiony na rys. 2; podano na nim również tabelkę zależności $\beta = f(\frac{b}{c})$ wg Sałustowicza [7].

Po uwzględnianiu oddziaływania wyrobiska, tzn. współczynnika $\beta = f(\frac{b}{c})$, wzory 15 i 16 przyjmą postać (3):

$$l = \frac{h\left\{-\mathfrak{M}k + 2(1 - m) \cdot \left[(1 + \beta)(\alpha\gamma H) + p_o\right]\right\}}{2 \cdot \gamma H \cdot tg\varrho} \quad (m) \tag{20}$$

$$l = \frac{h\left\{-\mathfrak{M}k + 2(1 - m) \cdot \left[(1 + \beta) \cdot (m\gamma H) + p_o\right]\right\}}{2\gamma h \cdot tg\varrho}, \quad (m) \tag{21}$$



b:c	50:1	20:1	5:1	2:1	1,8:1	1,5:1	1,2:1	1:1	1:1,5	1:2	1:5	1:20	1:50
β	0,01	0,02	0,2	0,56	0,61	0,76	0,80	0,84	1,05	1,1	2,0	1,0	17,0

Rys. 2. Zależność między stosunkiem szerokości wyrobiska korytarzowego (b) i jego wysokości (c) a współczynnikiem β, tzn. b/c = f(β)

Wzór 20 odnosi się do przypadku występowania uskoku, wzór 21 do przypadku bez uskoku.

5. Prognozowanie zagrożenia wyrzutowego w wyrobiskach korytarzowych

Głównymi siłami decydującymi o zaistnieniu wyrzutu są: składowa pozioma naprężenia pierwotnego i ciśnienie gazu wolnego; czynnikami przeciwdziałającymi zaistnieniu wyrzutu jest mechaniczna wytrzymałość strefy odprężonej i siła tarcia na styku pokładu ze stropem i spągiem. Badania autora pracy [10] wykazały, że strefę maksymalnej koncentracji naprężenia poprzedza bezpośrednio strefa maksymalnych ciśnień gazu. Dobrą ilustrację takiego stanu rzeczy jest wykres podstawowych parametrów gazowych, naprężenia i wytrzymałości węgla jako funkcję odległości od ociosu; uśrednione wyniki badań autora pracy [10] przedstawiono w pracy [6]. Wobec powyższego z zagrożeniem wyrzutowym w drążonym chodniku należy się liczyć w przypadku, gdy:

$$l > l_{\sigma}$$

natomiast zagrożenia wyrzutowe nie występuje, gdy:

$$l \leq l_{\sigma}$$

gdzie:

l - obliczona szerokość strefy bezpiecznej, wstrzymującej wyrzut,

l_{σ} - faktyczna szerokość strefy odprężonej w czole wyrobiska.

Powyższe przypadki zilustrowano graficznie na rys. 3.

Tok postępowania w tej metodzie jest następujący:

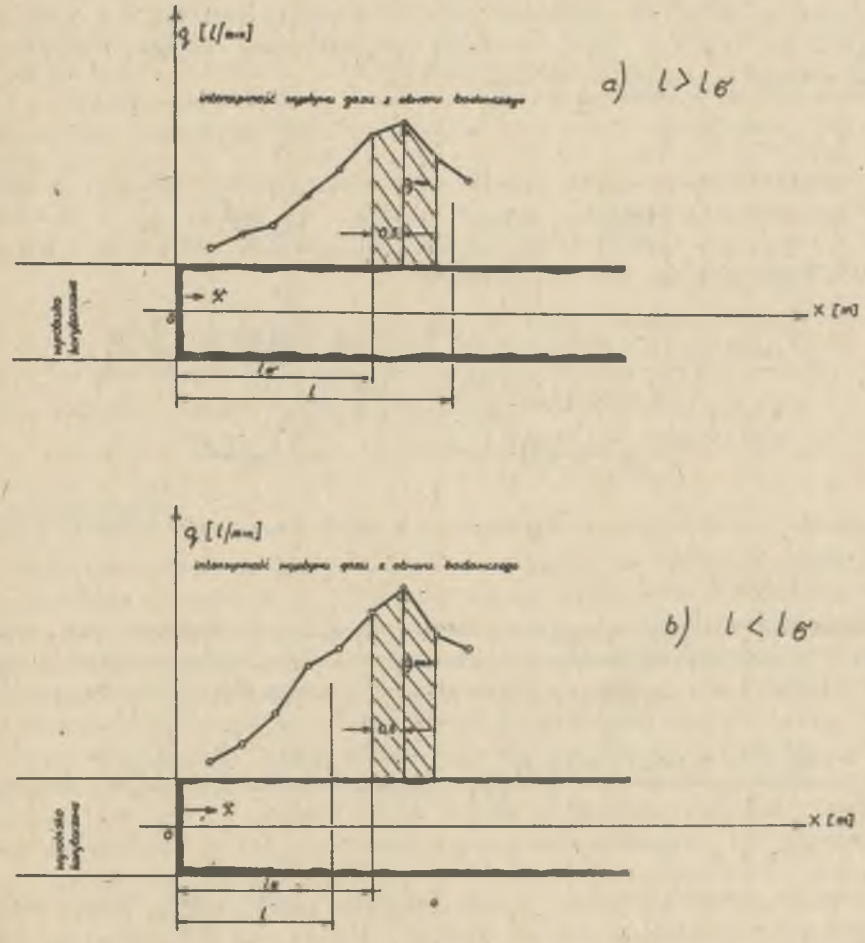
1. Określić faktyczną szerokość strefy odprężonej (l_{σ}), na podstawie metody gazodynamicznej (tzn. do uzyskania maksimum intensywności wydzielania gazu z otworu badawczego - q_{max} - 0,5 m), względnie metody wychodu masy zwiercin lub metody sejsmicznej.

2. Na podstawie określonych badaniami stałych materiałowych węgla; zostały wyspecyfikowane - patrz tablica 1 w pracy [5], znajomości H, h oraz ciśnienia gazu (pod uwagę brać wartość maksymalną) oraz znajomości kształtu wyrobisk i parametrów uskoku, posługując się wzorem 20 lub 21 obliczyć szerokość strefy bezpiecznej l.

3. Na podstawie znajomości l i l_{σ}, posługując się schematem (rys. 3) określić zagrożenie wyrzutowe.

5.1. Przykłady praktycznego zastosowania

Podane wzory 15 i 16 oraz 20 i 21 (z uwzględnieniem wpływu wyrobiska) są proste w swej formie i nie wymagają stosowania EMC, co jest konieczne



Rys. 3. Metoda bieżąca prognozowania wyrzutów węgla i gazu w wyrobiskach korytarzowych

a) istnieje zagrożenie wyrzutami węgla i gazu, b) zagrożenie wyrzutami węgla i gazu nie występuje, l - obliczona szerokość strefy bezpiecznej, l_σ - faktyczna szerokość strefy odprężonej określona na podstawie metody gazodynamicznej (pomiar intensywności wypływu gazu z otworu badawczego określamy co 0,5 m)

dla wyliczenia szerokości strefy bezpiecznej $(x_0 + l_0)$ w wyrobisku ścianowym [6]. Dla kopalń dolnośląskich parametry fizyczne, tkwiące w rozwiązaniach analitycznych [4, 5, 6], zostały ustalone badaniami laboratoryjnymi przez autora pracy [10]. Parametry te są obowiązujące również w niniejszej metodzie. Do poniższych obliczeń przyjęto poza tym $\beta = 0,76$ oraz $p = 0,5$ MPa (~ 5 at), czyli najwyższe zarejestrowane wartości ciśnienia gazu wolnego w kopalniach dolnośląskich.

P r z y k ł a d 1

Chodnik kamienno-węglowy prowadzony w pokł. 672 KWK "Thorez", w strefie niezaburzonej uskokami, dane: $h = 1,3$ m, $H = 500$ m, $p_0 = 0,5$ MPa, $k = 2,3$ MPa, $\varrho = 0,33$ rd (19^0), $m = 6,25\%$, $\beta = 0,76$, $\vartheta = 0,33$, $\gamma = 25$ KN/m^3. Wykorzystując wzór 21 obliczamy l.

$$l = \frac{1,3m\left\{-3,14.2,3+2(1-0,0625)\left[(1+0,76)\frac{0,33}{1-0,33}12,5+0,5\right]\right\}}{2\ .\ 12,5\ .\ tg.0,33} =$$

$$= \frac{1,3\left[-7,222+1,875(0,867.12,5+0,5)\right]}{25\ .\ 0,344} = \frac{1,3\ .\ 14,98}{8,6} \cong 2,27\ m$$

Niezbędna szerokość strefy bezpiecznej w czole tego chodnika wynosi 2,27 m.

P r z y k ł a d 2

Chodnik prowadzony w węglu w pokł. 410/2+412 pole "Piast" KWK "Nowa Ruda", w strefie niezaburzonej uskokami; dane: $h = 2,8$ m, $H = 600$ m, $P_0 = 0,5$ MPa, $k = 1,21$ MPa, $\varrho = 0,28$ rd (16^0), $m = 9,71\%$, $\vartheta = 0,37$, $\beta = 0,76$.

$$l = \frac{2,8m\left\{-3,14.1,21+2(1-0,0971).\left[(1+0,76)\ .\ \frac{0,37}{1-0,37}\ .\ 15,0+0,5\right]\right\}}{2\ .\ 15\ .\ tg\ 0,28} = 8,48\ m$$

P r z y k ł a d 3

Chodnik kamienno-węglowy w pokł. 415 pole "Piast" KWK "Nowa Ruda", prowadzony w strefie uskokowej; dane: $H = 400$ m, $h = 2,0$ m, $p_0 = 0,5$ MPa, $k = 1,21$ MPa, $\varrho = 0,28$ rd, $m = 9,21\%$, $\vartheta = 0,37$, $\beta = 0,76$. Parametry uskoku wynoszą: szerokość 1 m i długość 70 m, stąd: $A = 0,5$ m i $a = 35,0$ m. Z tablicy 1 - patrz praca [5] bierzemy ustaloną badaniami wartość modułu Kirchhoffa równą: $G = 301$ MPa stąd $E = 2\ G\ (1+\vartheta) = 825$ MPa (przy ϑ 0,37).

Najpierw wyznaczamy wartość współczynnika α, wykorzystując wzór 10.

$$\alpha = \frac{0,37}{1-0,37} + \frac{2\ .\ 0,5}{3,14.35(1-0,37^2)}\ .\ \frac{825}{10} = 0,5873 + 1,1567 = 1,744$$

a następnie wyliczamy wartość l na podstawie wzoru 20.

$$l = \frac{2,0.\left\{-3,14.1,21+2(1-0,0971)\left[(1+0,76).(1,744.10,0)+0,5\right]\right\}}{2\ .\ 10,0\ .\ tg\ 0,28} = 11,32\ m$$

P r z y k ł a d 4

Chodnik prowadzony w węglu w polu "Chrobry" KWK "Wałbrzych", w strefie uskokowej w pokł. 309, dane: H = 500 m, h = 2,5 m, k = 2,2 MPa, φ = = 0,35 rd (20°) ν = 0,32, G = 407 MPa, co przy ν = 0,32 daje E = 1075 MPa, m = 8,4%, β = 0,76, p_o = 0,5 MPa. Parametry uskoku, przez który prowadzony jest chodnik, wynoszą: szerokość 2 m (A = 1 m) i długość 128 m (a = 64 m)

$$\alpha = \frac{0,32}{1-0,32} + \frac{2\ .\ 100}{3,14.64(1-0,32^2)} \cdot \frac{1075}{12,5} =$$

$$= 0,4705 + \frac{1}{3,14.32(0,8976)} \cdot 86 = 0,4705 + 0,9695 = 1,44$$

$$l = \frac{2,5\left\{-314.2,2+2(1-0,084).\left[(1+0,76).(1,44.12,5)+0,5\right]\right\}}{2\ .\ 12,5\ .\ tg\ 0,35} = 8,41\ m.$$

6. Podsumowanie

Przedstawiona metoda jest wynikiem pracy badawczej (NB-373/RG-6/80) [3]. W poprzednich pracach [4, 5, 6] przedstawiono opracowania analityczne metody prognozowania wyrzutów gazów i skał na etapie: regionalnym, lokalnym i bieżącym dla wyrobisk eksploatacyjnych, przy czym dla tej ostatniej metody konieczne jest korzystanie z EMC typu "Odra 1300", ze względu na skomplikowany charakter obliczania średniego całkowego naprężenia $\sigma_{śr}$ wywołanego eksploatacją. W przedstawionej metodzie, która ma charakter prognozy bieżącej, istotę stanowi obliczana analitycznie szerokość strefy bezpiecznej (l), która w głównej mierze zależy od składowej poziomej naprężenia pierwotnego (która jest funkcją głębokości zalegania, H), ciśnienia gazu wolnego (p_o), grubości pokładu (h), a także od parametrów fizycznych węgla: stałej plastyczności (k), porowatości (m) i kąta tarcia wewnętrznego (φ). W metodzie uwzględniono również wpływ zaburzeń tektonicznych (uskoków), których obecność zwiększa współczynnik bocznego rozpierania, a przez to wpływa na szerokość strefy l; przy tych samych danych wpływ uskoku powoduje zwiększenie szerokości strefy odprężonej o 1,5 do 4 m. Szerokość tej strefy może zawierać się w szerokich granicach (patrz przykłady 1 i 2), a czynnikami decydującymi o jej wartości w warunkach kopalń dolnośląskich są parametry fizyczne węgla, głębokość zalegania i grubość pokładu.

Przedstawione rozwiązanie dotyczy tak przypadku wyrzutów węgla i gazu, wyrzutów piaskowca i gazu, jak i wyrzutów soli i gazu. Parametry fi-

zyczne węgla dla kopalń dolnośląskich zostały wyspecyfikowane badaniami laboratoryjnymi; w przypadku stosowania metody w warunkach kopalń ROW względnie kopalń soli rejonu kujawskiego należy znać wartości k, m i ϱ a dla przypadku występowania uskoku (oprócz jego parametrów geometrycznych) także wartość modułu Younga. Parametry te należy wyznaczać laboratoryjnie z minimum 15 oznaczeń; w przypadku węgli wyrzutowych k, ϱ i ϑ można wyznaczać pośrednio na podstawie badań wskaźnika zwięzłości f (patrz praca [4]).

LITERATURA

[1] Ćwik L., Świdziński A.: Walka z wyrzutami węgla i gazu w kopalniach Ostrawsko-Karwińskiego Rejonu. Przegląd Górniczy Nr 2, 1980.

[2] Gil H.: Kryterium możliwości prowadzenia chodnika w strefie zagrożonej wyrzutami. Opracowanie dla K.G. PAN, Kraków XII.1975.

[3] Gil H., Świdziński A.: Metoda prognozowania zagrożenia wyrzutowego dla wyrobisk korytarzowych - faza R. Praca badawcza (NB-373/RG-6/80) wykonana w ITEZ, Gliwice XI.1980.

[4] Gil H., Świdziński A.: Nowa metoda prognozowania wyrzutów gazów i skał na etapie prognozy regionalnej. Przegląd Górniczy. Nr 2, 1981.

[5] Gil H., Świdziński A.: Nowa metoda prognozy lokalnej wyrzutów gazów i skał. Przegląd Górniczy, Nr 9, 1981.

[6] Gil H., Świdziński A.: Nowa metoda prognozowania wyrzutów gazów i skał na etapie prognozy bieżącej. Przegląd Górniczy. Nr 12, 1981.

[7] Sałustowicz A.: Zarys mechaniki górotworu. Wyd. "Śląsk", Katowice, 1968.

[8] Sneddon J.N.: Teoria szczelin w matematycznej teorii sprężystości. Wyd. PKiN, Warszawa 1962.

[9] Świdziński A.: O niektórych prawidłowościach statystycznych zagrożenia wyrzutowego kopalń dolnośląskich. Przegląd Górniczy Nr 10, 1980.

[10] Świdziński A.: Weryfikacja analitycznego kryterium prognozowania wyrzutów węgla, gazów i skał w oparciu o pomiary in situ. Praca doktorska. Biblioteka Politechniki Śląskiej. Gliwice, 6.V.1980.

[11] Świdziński A.: Wyrzuty węgla i gazu w kopalniach radzieckich - metody prognozowania. Wiadomości Górnicze. Nr 2/3. 1981.

Recenzent: Prof. dr inż. Adam SZCZUROWSKI

Wpłynęło do Redakcji 4.03.1982 r.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГРОЗЫ ВЫБРОСА
В КОРИДОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Р е з ю м е

Предпологаясь, что горные породы ведут себя как линейноупругое тело, учитывая влияние обросов быко выведено уравнение на ширину безопасной зоны задерживающей выброс (1). Определяя, в месте нахождения, фактическую ширину зоны отжима (1б) и принимая величину l известной можно привести вывод об опасности выброса в долбленной коридорной выработке. В работе даны примеры практического применения.

ANALITICAL MODE OF DETERMINING COAL OUTBURSTS'
HAZARD IN DOG HEADINGS

S u m m a r y

Assuming that the rock mass behaves like a linearelastic body, and taking into consideration the influence of leaps, an equation for the width of the safe zone restraining an outburst was obtained (1). Determining in situ the real width of the decompresed zone and knowing the value $l_б$ coal outburst hazard in a driven dog heading can be estimated. Examples of practical application are given.