ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1987

Seria: GÓRNICTWO z. 145 Nr kol. 885

Zdzisław KŁECZEK
Andrzej SZUMIŃSKI
Andrzej ZORYCHTA

Instytut Geomechaniki Górniczej
AGH w Krakowie

KONCENTRACJA NAPRĘŻEŃ W SĄSIEDZTWIE SKRZYŻOWAŃ WYROBISK KORYTARZOWYCH

Streszczenie. Skrzyżowanie wyrobisk górniczych jest jednym z najbardziej narażonych na utratę stateczności obiektów podziemnych. Stateczność wyrobisk górniczych określają w głównej mierze dwa czynniki:

- stan naprężenia,
- własności fizyko-mechaniczne skał.

W pracy przedstawiono w oparciu o rozwiązanie analityczne problem stanu naprężenia w sąsiedztwie połączeń wyrobisk korytarzowych na przykładzie symetrycznego rozwidlenia. Zamieszczono również wykresy zmian stanu naprężenia (w postaci współczynników koncentracji) w charakterystycznych przekrojach w sąsiedztwie skrzyżowania wyrobisk chodnikowych.

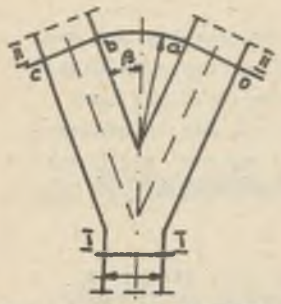
1. WPROWADZENIE

Współczesna kopalnia, prowadząca eksploatację podziemną, charakteryzuje się olbrzymią siecią krzyżujących się udostępniających i przygotowawczych wyrobisk, a także znaczną ilością skrzyżowań wyrobisk przygotowawczych z eksploatacyjnymi.

Połączenie wyrobisk górniczych jest jednym z najbardziej narażonych na utratę stateczności obiektów podziemnych. Fakt ten nabiera tym większego znaczenia, że wzrost wydobycia związany jest przede wszystkim z koniecznością udostępniania nowych, głębiej zalegających złóż lub eksploatacji w nowych rejonach istniejących zagłębi, nierzadko w skomplikowanych warunkach geotechnicznych.

Skrzyżowanie wyrobisk chodnikowych jest typowym obiektem o strukturze przestrzennej. Stanowisko takie jest jednak pozornie słuszne, jak stwierdza autor pracy [1], tłumacząc, że jeśli uwzględni się proces powstawania skrzyżowania, wówczas układ przestrzenny redukuje się do dwu układów płaskich wzajemnie na siebie wpływających. Ten sam pogląd reprezentują autorzy pracy [2]. Równocześnie istnieje szereg prac, w których dla analizy stanu naprężenia wokół połączeń wyrobisk wykorzystuje się rozwiązania zagadnienia płaskiego.

Przykładowo autorzy pracy [3] wykazują, że jeśli odległość pomiędzy krzyżującymi się chodnikami jest większa od jednej średnicy wyrobiska, wówczas błąd zaistniały w wyniku zastąpienia zagadnienia przestrzennego problemem płaskim nie przekracza 7%.

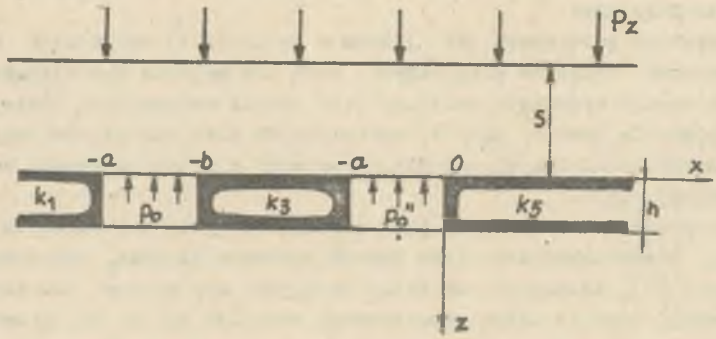


Rys. 1. Schemat symetrycznego rozwidlenia

Fig. 1. Scheme of symmetrical fork

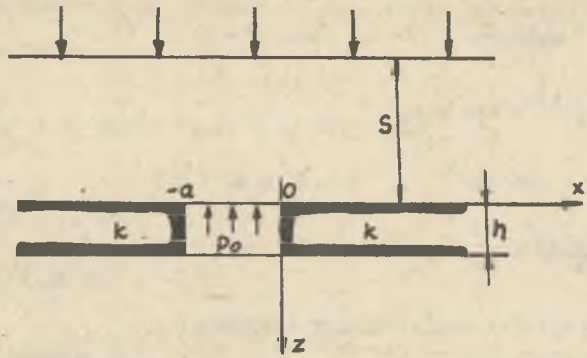
Analityczne rozwiązanie problemu koncentracji naprężeń w sąsiedztwie skrzyżowań wyrobisk ze względu na ich przestrzenny charakter jest niezmiernie skomplikowane. Z tego też powodu zdecydowano się na przyjęcie pewnych uproszczeń, z których najważniejsze to zastąpienie zagadnienia przestrzennego problemem płaskim. Podstawową przesłanką skłaniającą do tego typu postępowania jest niewątpliwie uproszczenie rozwiązania, niemniej jednak przyjęcie takiego założenia ma swoje uzasadnienie. Otóż rozpatrując problem skrzyżowania jako zagadnienie płaskie zajmujemy się przypadkiem bardziej niebezpiecznym, zatem uzyskane rozwiązanie zawiera pewien niezbędny zapas bezpieczeństwa. Rozwiązanie problemu uzyskano dla symetrycznego rozwidlenia, analizując stan naprężenia w przekrojach uwidocznionych na rys. 1, przy czym poszczególne przekroje sprowadzono do zagadnienia płaskiego. Takie usytuowanie przekrojów prowadzi do rozwiązania dwu przypadków, których schematy statyczne przedstawiono na rysunkach 2 i 3.

Analizę przeprowadzono dla wyrobisk o przekroju prostokątnym.



Rys. 2. Schemat statyczny stanu naprężenia dla przekroju II-II wg rys. 1

Fig. 2. Statical scheme of state of stress for cross-section II-II according to Fig. 1



Rys. 3. Schemat statyczny stanu naprężenia dla przekroju I-I- wg rys. 1
Fig. 3. Statical scheme of state of stress for cross-section I-I according to Fig. 1

2. STAN NAPRĘŻENIA W SĄSIEDZTWIE SKRZYŻOWANIA WYROBISK

Rozwiązanie problemu koncentracji naprężeń wokół połączenia wyrobisk chodnikowych oparto na analizie ugięcia belki stropowej spoczywającej na sprężystym podłożu przy założeniu działania jedynie sił ścinających [4], [5].
Strop bezpośredni obciążony jest ciśnieniem wynikającym z ciężaru skał nadległych.
Ogólne równanie różniczkowe linii ugięcia belki stropowej przyjmie wówczas postać:

$$G^*F \frac{d^2z(x)}{dx^2} = \sigma_z(x) - P_z , \tag{1}$$

gdzie: G^*F jest modułem zastępczym [5] definiowanym w następujący sposób:

$$G^*F = \frac{G^*_{str}F_{str} \cdot G^*_{sp}F_{sp}}{G^*_{str}F_{str} + G^*_{sp}F_{sp}} ,$$

ponadto:

$G^* = G/n$

$\sigma_z(x) = k \cdot z$

$k = E/h$ - współczynnik oporu właściwego pokładu,

n - współczynnik zależny od kształtu przekroju belki.

Równanie (1) dla poszczególnych przedziałów (rys. 2) można zapisać w postaci:

Przedział I - calizna $-\infty < x \leqslant -c$

$$G^*F \frac{d^2z(x)}{dx} = k_1 z - p_z \tag{2}$$

Przedział II - chodnik 1 $-c \leqslant x \leqslant -b$

$$G^*F \frac{d^2z(x)}{dx} = p_o' - p_z , \tag{3}$$

gdzie: p_o' - oddziaływanie obudowy chodnika 1.

Przedział III - filar $-b \leqslant x \leqslant -a$

$$G^*F \frac{d^2z(x)}{dx^2} = k_3 z - p_z \tag{4}$$

Przedział IV - chodnik 2 $a \leqslant x \leqslant 0$

$$G^*F \frac{d^2z(x)}{dx} = p_o'' - p_z \tag{5}$$

gdzie: p_o'' - oddziaływanie obudowy chodnika 2.

Przedział V - caliza $0 \leqslant x < \infty$

$$G^*F \frac{d^2z(x)}{dx^2} = k_5 \cdot z - p_z \tag{6}$$

Rozwiązania ogólne równań (2)-(6) przyjmują postać:

Przedział I - caliza

$$\left.\begin{aligned} z_1(x) &= \frac{p_z}{k_1} + A_1 \exp(-\alpha_1 x) + A_2 \exp(\alpha_1 x) \\ \sigma_1(x) &= k_1 \cdot z_1(x) \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

gdzie: $\alpha_1 = \sqrt{k_1/(G^*F)}$

Przedział II - chodnik 1

$$z_2(x) = \frac{p^*}{2G^*F} x^2 + A_3 x + A_4 \tag{8}$$

gdzie: $p^* = p_o' - p_z$

Przedział III - filar

$$z_3(x) = \frac{p_z}{k_3} + A_5 \exp(-\alpha_3 . x) + A_6 \exp(\alpha_3 . x)$$

$$\sigma_3(x) = k_3 \cdot z_3(x) \tag{9}$$

gdzie: $\alpha_3 = \sqrt{k_3/(G^* F)}$

Przedział IV - chodnik 2

$$z_4(x) = \frac{p^{**}}{2G^* F} x^2 + A_7 x + A_8 \tag{10}$$

gdzie: $p^{**} = p_o'' - p_z$

Przedział V - caliza

$$z_5(x) = \frac{p_z}{k_5} + A_9 \exp(-\alpha_5 x) + A_{10} \exp(\alpha_5 x)$$

$$\sigma_5(x) = k_5 \cdot z_5(x) \tag{11}$$

gdzie: $\alpha_5 = \sqrt{k_5/(G^* F)}$

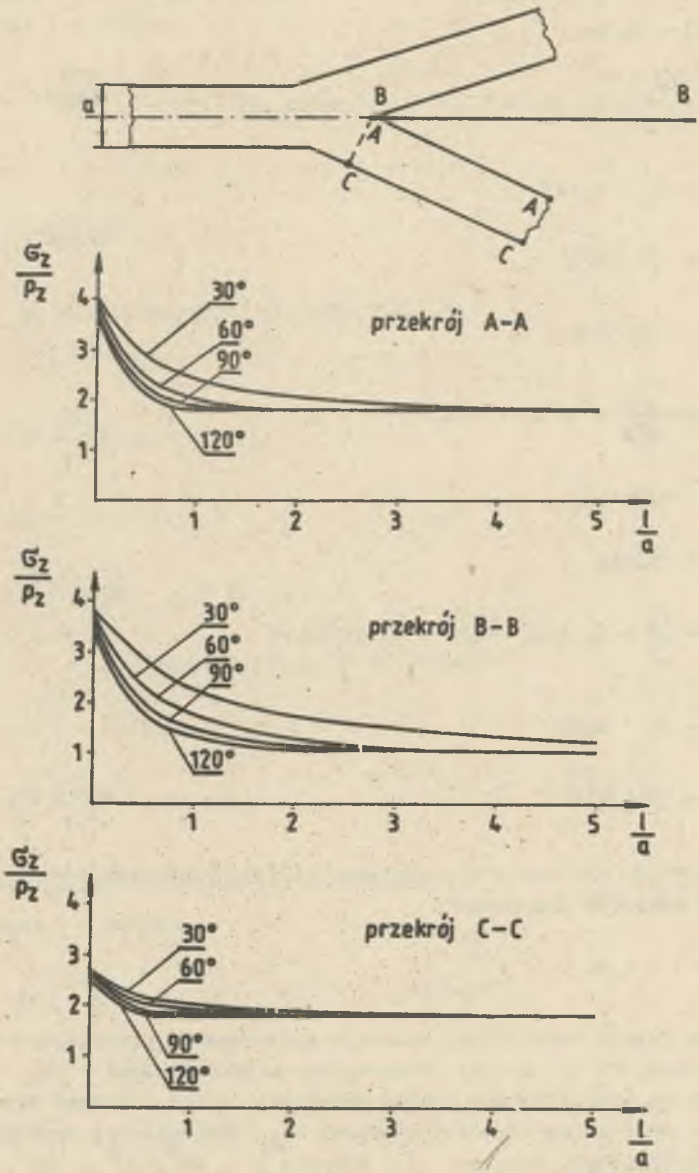
W celu wyznaczenia występowania we wzorach (7)-(11) stałych A_1-A_{10} można skorzystać z warunków brzegowych:

$$z(\pm \infty) = p_z/k \tag{12}$$

oraz warunków szycia rozwiązania wyrażającego ciągłość przemieszczeń pionowych oraz nachyleń na granicy poszczególnych przedziałów.

Ze względu na skomplikowaną postać końcowych formuł dokonano tabelaryzacji wzorów, obliczając wartości naprężeń σ_z dla czterech wariantów rozwidleń symetrycznych o kątach 2β równych 30°, 60°, 90° i 120°, wykonanych w górotworze o następujących własnościach fizyko-mechanicznych: strop i spąg bezpośredni: łupek ($G = 2$ GPa; $\nu = 0,25$), pokład: węgiel ($G = 1,2$ GPa; $\nu = 0,25$).

Ze względu na niewielkie wartości podporności stosowanych obecnie obudów skrzyżowań wyrobisk chodnikowych w obliczeniach nie uwzględniono oddziaływania obudowy. Wyniki obliczeń w postaci współczynników koncentracji σ_z/p_z, uzyskane dla trzech charakterystycznych przekrojów:



Rys. 4. Zmiana współczynnika koncentracji σ_z/p_z dla trzech charakterystycznych przekrojów

A-A - ocios od strony filara, B-B - oś symetrii rozwidlenia, C-C - ocios od strony calizny

Fig. 4. Concentration coefficient σ_z/p_z for three charakteristic cross-sections

A-A - side of work from the pillar side, B-B - axis of fork symmetry, C-C - side of work from the unmined coal side

A-A (ocios od strony filara), B-B (oś symetrii rozwidlenia) i C-C (ocios od strony calizny), zilustrowano wykresami przedstawionymi na rys. 4.

3. ZAKOŃCZENIE

Niniejsza praca dotyczy niezmiernie ważnego z punktu widzenia geomechaniki problemu, tzn. koncentracji naprężeń w sąsiedztwie skrzyżowań wyrobisk chodnikowych.
W oparciu o teorię zginania belek na sprężystym podłożu uzyskano zależności pozwalające wyznaczyć wielkości naprężeń w sąsiedztwie jednego z typów skrzyżowań wyrobisk - symetrycznego rozwidlenia. Dla potrzeb rozwiązania przyjęto górotwór jako izotropowy ośrodek liniowo-sprężysty.

Zastąpienie przestrzennego stanu naprężenia w sąsiedztwie połączenia wyrobisk rozwiązaniem płaskim stanowi niewątpliwie pewne uproszczenie problemu, lecz rozwiązanie płaskie prowadzi do wyników zawyżonych, a zatem pewnego niezbędnego przy tego typu zagadnieniach zapasu bezpieczeństwa. Przyjęcie takich założeń upraszczających oraz fakt pominięcia tak istotnych czynników jak reologiczne własności masywu skalnego czy też poniszczeniowej charakterystyki górotworu sprawia, że rozpatrywany model nie w pełni odzwierciedla ośrodek rzeczywisty. Niemniej jednak, widząc konieczność uwzględnienia w dalszych badaniach niektórych z pominiętych w niniejszej pracy parametrów, zdecydowano się na rozwiązanie przy tego typu założeniach.

LITERATURA

[1] Gergowicz Z.: Skrzyżowanie wyrobisk korytarzowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 128, Gliwice 1983.

[2] Gałczyński S., Wojtaszek A.: Stateczność skrzyżowań wyrobisk górniczych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo z. 128, Gliwice, 1983.

[3] Zorin A.J., Żulin J.L., Mankow A.J.: Issliedowanije razpriedielienija napriażienij w parodach wmieszczajuszczich uzły sopriażienij gornych wyrabotok. Don-UGI, Donieck 1969.

[4] Borecki M., Chudek M.: Mechanika górotworu. Wyd. "Śląsk", Katowice 1972.

[5] Filcek H., Kłeczek Z., Zorychta A.: Pogląd i rozwiązania dotyczące tąpań w kopalniach węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo nr 123, Kraków 1984.

[6] Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1981.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Mirosław Chudek

Wpłynęło do Redakcji w kwietniu 1985 r.

КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ ВБЛИЗИ СОПРЯЖЕНИЯ КОРИДОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Р е з ю м е

Сопряжение горных выработок является одним из наиболее подвергнутых утрате устойчивости подземных объектов. Устойчивость горных выработок определяют в большей мере 2 фактора:

- состояние напряжения,
- физико-механические свойства скал.

В работе представлено, на основании аналитического решения, проблему состояния напряжения вблизи скрещения коридорных выработок на примере симметричного разветвления.
Также представлен график изменений состояния напряжения (в виде коэффициента концентрации) в представительных сечениях вблизи скрещения штрековых выработок.

STRESS CONCENTRATION NEAR CROSSINGS OF DOG HEADINGS

S u m m a r y

Drossing of dog headings is very subjected to loss of stability. Stability of headings is defined mainly by two factors:

- state of stress,
- physical-mechanical properties.

On the base of analytical solution the problem of state of stress near connections of dog headings has been presented as an example of symmetrical fork. The curves of changes of state of stress (in the form of concentration coefficients) in characteristic cross-sections near heading crossing have been included.