

Jan BIAŁEK

## WYZNACZANIE SZEROKOŚCI FILARÓW POMIĘDZY WYROBISKAMI PRZY PROWADZENIU EKSPLOATACJI WĄSKIMI PRZODKAMI

**Streszczenie.** W pracy podano sposób wyznaczania szerokości filarów pasowych pozostawianych przy wybierania pokładu wąskimi przodkami (chodnikami), które coraz częściej są miejscem lokowania odpadów przemysłowych oraz sposobem na częściowe odzyskanie zasobów z niektórych filarów ochronnych.

## DETERMINING THE WIDTH OF PILLARS BETWEEN HEADINGS WITH THE MINING CARRIED OUT BY WAY OF NARROW MINE FACES

**Summary.** The paper presents a method to determine the width of belt pillars left over as a result of mining carried out by way of narrow mine faces (galleries), which are very often used as places for deposition of industrial wastes and which constitute a method allowing partial recovery of deposits from some safety pillars.

### 1. Wstęp

Eksploatacja wąskimi przodkami to w rozumieniu niniejszego artykułu eksploatacja prowadzona systemem równoległych wyrobisk chodnikowych wykonywanych zwykłymi kombajnami chodnikowymi, np.: AM50, układ równoległych wyrobisk komorowych wykonywanych kombajnami typu continuous miners lub układ krótkich ubierek charakterystyczny dla częściowej eksploatacji z podsadzką hydrauliczną. Podstawowym wyróżnikiem omawianej eksploatacji jest pozostawianie pomiędzy kolejnymi wyrobiskami (chodnikami, komorami, ubierkami) filarów węglowych w kształcie pasów o stałej szerokości. Zakłada się, że szerokość pasów jest tak dobrana, iż zachowują one stateczność, przenosząc ciężar nadkładu i obciążenia wynikające z istnienia układu krawędzi eksploatacyjnych starych zrobów. Z warunku minimalizacji deformacji górotworu i powierzchni wynika, że maksymalna szerokość wyrobisk (wybranych pasów pokładu) nie może przekroczyć wartości równej 10% głębokości pokładu.

## 2. Analiza wytrzymałości filarów węglowych w oparciu o wyniki doświadczeń opisane w literaturze światowej

Zagadnienie wyznaczania wymiarów filarów węglowych jest dosyć dobrze opisane [3], [4], [5] w literaturze, szczególnie w anglojęzycznej. Dużo doświadczeń w tym zakresie pochodzi z USA i RPA, tj. z krajów, gdzie dominującym systemem eksploatacji złóż węgla jest system "room and pillar". Projektując system "room and pillar" należy wyznaczyć optymalne wymiary pozostawionego filara węglowego i szerokość wyrobiska. Szerokość wyrobiska musi odpowiadać wymogom technologii drążenia i zabezpieczenia stropu wyrobiska obudową kotwicią, natomiast filary węglowe muszą być dostatecznie wytrzymałe, a całość powinna zapewniać w miarę maksymalny dla tego systemu eksploatacji współczynnik wykorzystania zasobów.

Większość opisanych wyników doświadczeń dotyczy wytrzymałości filarów węglowych o kształcie kwadratowym, gdyż jest to z uwagi na wykorzystanie zasobów w systemie room and pillar kształt optymalny, a więc najczęściej występujący. Podobnie, badania wytrzymałościowe dotyczące efektu skali i wpływu smukłości prób węglowych były prowadzone na wielkogabarytowych próbach o kwadratowej podstawie.

Według Bieniawskiego (1983) średnią wytrzymałość filara węglowego można opisać stosując empiryczną formułę o postaci:

$$\sigma_k = S_1 [B + Cw/h] \quad (1)$$

gdzie:

$\sigma_k$  - naprężenia dopuszczalne [MPa] - literką k zaznaczono, że wzór dotyczy filara o kwadratowej podstawie,

$S_1$  - wytrzymałość dużej sześcienniej próby węgla [MPa] (praktycznie badana próba musi mieć rozmiar powyżej 5 stóp (ok. 1,5m)),

**B, C** - stałe współczynniki. Wartość tych współczynników bywa różnie określana przez różnych autorów. Do celów niniejszej pracy przyjęto wartości podawane przez Bieniawskiego: **B = 0,64; C = 0,36**; które uzyskano badając wielkogabarytowe próby węgla,

**w** - szerokość filara (width);

**h** - wysokość filara (height) - będzie to wysokość wyrobiska w wyłomie.

Zgodnie ze wzorem (1) dopuszczalne naprężenie w próbie wzrasta liniowo, gdy zwiększamy szerokość w próby (filara).

Stosowanie wzoru (1) wymaga znajomości stałej materiałowej  $S_1$ . Wyznaczenie stałej  $S_1$  dla konkretnego pokładu wymagałoby zbudowania niezwykle kosztownego stanowiska do badania wielkogabarytowych prób węgla, dlatego dla oszacowania wartości tego parametru należy posłużyć się cytowanymi w literaturze zależnościami dotyczącymi wpływu wymiarów próby na jej wytrzymałość na ściskanie oraz wynikami laboratoryjnych badań wytrzymałościowych węgla z pokładu przewidzianego do eksploatacji.

Przybliżoną wartość parametru  $S_1$  można ustalić znając średnią wytrzymałość  $R_{cs}$  próbek sześciennych o boku 2 cale (ok. 50 mm), tj. próbek o smukłości 1. Dla otrzymania reprezentatywnej średniej wytrzymałości pokładu zaleca się pobranie z jednego profilu pokładu 10 do 15 prób w równych odstępach od 0,2 m do 0,3 m. Gdyby w wyniku rutynowych badań wytrzymałościowych określono wytrzymałość  $R_c$  próbek prostopadłościennych o wymiarze 50x50x100 mm lub walcowych  $d=50$ ,  $h=100$ , to zachodzi potrzeba przeliczenia wytrzymałości  $R_c$  próbek prostopadłościennych na wytrzymałość  $R_{cs}$  próbek sześciennych. Stosujemy wzór Oberta - Duvalla:

$$R_{cs} = R_c / [0,778 + 0,222 (w/h)] \quad (2)$$

Jeśli w powyższym wzorze przyjmiemy, że dla próbki o danej wytrzymałości  $R_c$  stosunek szerokości do wysokości  $w/h=0,5$ , to uzyskamy przelicznik:

$$R_{cs} = 1,125 R_c \quad (3)$$

Wzory (2),(3) można stosować do przeliczania wytrzymałości próbek o tej samej podstawie.

Dla przeliczenia wytrzymałości  $R_{cs}$  kostki sześciennej o boku 50 mm na wytrzymałość  $S_1$  dużych prób sześciennych węgla o boku  $>1,5$  m posłużymy się wynikami badań Wilsona (1981), który proponuje wytrzymałość  $R_{cs}$  pomnożyć przez współczynnik redukujący  $f=1$  do  $1/7$ . Przyjmując do dalszych rozważań  $f=1/3$  otrzymano:

$$S_1 = R_{cs} / 3 \quad (4)$$

Analiza danych cytowanych w literaturze wskazuje, że wielkość  $S_1$  dla węgla nie przekracza wartości **6,75MPa (980psi)**, dlatego proponuje się dla bezpieczeństwa przyjmować war-

tość  $S_1=6,75\text{MPa}$  jako wartość maksymalną, mimo że w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych i wzory (2), (4) sporadycznie możemy uzyskać wartość wyższą.

Wzór Bieniawskiego (1) i zależność Wilsona (4) wyprowadzono dla filarów o podstawie kwadratowej, natomiast projektowane przez nas filary będą pasami o szerokości  $w$  i długości  $l$ , gdzie  $w \ll l$ , więc ich średnia wytrzymałość w porównaniu z filarami kwadratowymi o boku  $w$  powinna być  $M$  razy większa. Górną granicę wartość parametru  $M$  oszacowano przyjmując założenie, że rozkład naprężeń w filarze kwadratowym jest zbliżony kształtem do stożka o objętości  $V_s=w^2S_{max}/3$ , a rozkład naprężeń w filarze o kształcie długiego pasa jest podobny do bryły o kształcie klasycznego dachu o objętości  $V_d=w^2S_{max}/2$ . Ponieważ stosunek objętości  $V_d/V_s$  odpowiada w przybliżeniu stosunkowi maksymalnych możliwych sił obciążających filar o podstawie prostokątnej i kwadratowej, więc z porównania tych sił otrzymamy wielkość współczynnika  $M=1,5$  pozwalającą nam na obliczenie średniej wytrzymałości filara o kształcie pasa.

$$\sigma_p = M\sigma_k = M S_1 [B+Cw/h] \quad (5)$$

(literą  $p$  zaznaczono, że wytrzymałość  $p$  odnosi się do filarów w kształcie długiego pasa).

Ostatecznie proponuje się przyjmować wartość  $M = \text{od } 1,3 \text{ do } 1,5$ .

Z powyższego szacunku wynika, że wytrzymałość filarów pasowych może być od 30% do 50% większa niż wytrzymałość filarów o przekroju kwadratowym o tym samym polu podstawy.

### 3. Ocena obciążenia filarów węglowych

Przykładowo, na głębokości 400 m, przy średnim ciężarze właściwym górotworu  $2.5\text{Tony/m}^3$ , na  $1\text{ m}^2$  powierzchni pokładu naciska słup górotworu o wadze 1000 Ton, tzn. pionowe naprężenie naturalne osiąga wartość  $p_n = 10\text{ MPa}$ . W przypadku filarów węglowych naprężenie to jest jeszcze większe, gdyż przenoszą one również tę część ciężaru, która spoczywała uprzednio na stropie wyrobisk. Zakładając płaski stan odkształceń, który będzie realizowany w środkowej części zrobów po osiągnięciu znacznych (w porównaniu z głębokością) rozmiarów wybrania oraz przyjmując, że cały ciężar górotworu będzie podtrzymywany przez filary oporowe, będą one obciążone naprężeniem  $\sigma_o$ :

$$\sigma_o = p_z [w + L(1-a_p/100)]/w \quad [\text{MPa}] \quad (6)$$

gdzie:

$\sigma_o$  - naprężenie w filarze (obciążenie filara) [MPa],

$w$  - szerokość filara [m],

$L$  - szerokość wyrobiska [m],

$p_z$  - pionowe naprężenie przed wykonaniem wyrobisk [MPa]

$$p_z = \gamma H A_k = 0,025 A_k H; \quad H - \text{głębokość pokładu [m],}$$

$a_p$  - podporność podsadzki wyrażona w % wartości obciążenia pokładu pionowym naprężeniem  $p_z$ . Gdy brak podsadzki  $a_p=0\%$ , gdy jest podsadzka  $a_p=40\%$ .

$A_k$  - współczynnik opisujący oddziaływanie starych zrobów i niewybranych resztek. Proponuje się przyjmować: dla stref bez wyraźnego oddziaływania krawędzi eksploatacyjnych (odległość wszystkich krawędzi w pionie i poziomie >200m)  $A_k=1,0$ ; w strefach koncentracji naprężeń  $A_k=1,25$ ; a w strefach odprężonych  $A_k=0,85$ .

Powyższy sposób uwzględnienia wpływu zaszczości eksploatacyjnych nie może być stosowany w rejonach zagrożonych tąpnięciami i wstrząsami górniczymi oraz w rejonach o szczególnie złożonym układzie krawędzi eksploatacyjnych. Konieczne jest wówczas wykonanie analitycznej [2] oceny wpływu zaszczości na stan naprężenia w tym rejonie.

Ze względu na przewidywaną dużą niejednorodność bliżej nieokreślonych mieszanin podsadzkowych założono tu stosunkowo mały wpływ podsadzki na zmniejszenie obciążenia filara:

Szerokość wyrobiska [m]	Szerokość filara [m]	Zmniejszenie obciążenia filara wskutek podsadzenia wyrobiska
5	5	20% $\gamma H$
5	10	13% $\gamma H$
30	20	24% $\gamma H$

#### 4. Wyznaczenie szerokości filarów węglowych

Poszukiwana szerokość filara  $w$  to taka szerokość, przy której naprężenie obciążające filar  $\sigma_0(w)$  określone wzorem (6) jest nie większe od wytrzymałości filara  $p_z(w)$  określonej wzorem (5)

$$MS_1[B+Cw/h] \geq p_z [w + L(1-a_p/100)]/w \quad (7)$$

Powyższe równanie można rozwiązać graficznie. W tym celu należy na wykresie nanieść liniową zależność (5) i nieliniową zależność (6) jako funkcje zmiennej  $w$ . Punkt przecięcia tych wykresów daje nam poszukiwaną szerokość filara. W dalszej części pracy posłużono się analitycznym rozwiązaniem równania (7) w postaci wzoru (8).

$$w = \frac{-M \cdot S_1 \cdot B + p_z + \sqrt{(M \cdot S_1 \cdot B - p_z)^2 + 4 \cdot M \cdot S_1 \cdot \frac{C}{h} p_z \cdot L \cdot \left(1 - \frac{a_p}{100}\right)}}{2 \frac{M \cdot S_1 \cdot C}{h}} \quad (8)$$

**Przykład.** W części pokładu charakteryzującej się średnią wytrzymałością na ściskanie  $R_c=15\text{MPa}$  (próby 50 mm x 50 mm x 100 mm) zalegającej na głębokości  $H=300$  m, znajdującej się poza zasięgiem oddziaływania krawędzi eksploatacyjnych ( $A_k=1$ ), planuje się wykonanie sieci równoległych wyrobisk chodnikowych o szerokości  $L=5$  m i wysokości  $h=3,5$  m. Obliczyć minimalną odległość pomiędzy chodnikami:

- gdy chodniki będą podsadzone ( $a_p=40\%$ );
- nie będą podsadzone ( $a_p=0$ ).

**Obliczenia:**

$$R_{cs} = 1,125R_c = 1,125 \times 15 = 16,875\text{MPa}$$

$$S_1 = R_{cs} / 3 = 5,625\text{MPa}; \text{ przyjmujemy tę wartość, gdyż jest mniejsza od } 6,75\text{MPa};$$

$$p_z = 0,025A_k H = 0,025 \times 1,0 \times 300 = 7,5\text{MPa};$$

$$B = 0,64; C = 0,36; M = 1,5; L = 5 \text{ m}; h = 3,5 \text{ m}.$$

Ze wzoru (8) dla powyższych danych otrzymamy:

$$\text{Dla wyrobiska z podsadzką, gdy } a_p = 40\%, w = 6,44 \text{ m}.$$

$$\text{Dla wyrobiska bez podsadzki, gdy } a_p = 0\%, w = 7,89 \text{ m}.$$



*Ponieważ w powyższych obliczeniach nie uwzględnia się zwiększonego obciążenia filarów wynikającego z faktu, że aktualnie drążone i ostatnie już wykonane wyrobisko mogą być czasowo niepodsadzone, proponuje się dla wyrobisk <10 m, zwiększać o 1m obliczone wzorem (8) szerokości filarów z uwzględnieniem podsadzki.*

Uwzględniając powyższe, dla wyrobisk z podsadzką z omawianego przykładu otrzymamy:  
 $w_p = w + 1 = 6,44 \text{ m} + 1 \text{ m} = 7,44 \text{ m}$ .

## 5. Podsumowanie

Zaproponowany sposób obliczania szerokości filarów pomiędzy równoległymi wyrobiskami umożliwia wstępne oszacowanie ich szerokości w zależności od podstawowych parametrów charakteryzujących warunki górnictwo-geologiczne. Odrębnej analizy i dodatkowych badań wymagają:

- wpływ bardzo słabych skał spagowych i stropowych na wytrzymałość filarów i ogólną stateczność wyrobisk;
- wpływ obudowy wyrobisk na podporność i obciążenie filarów - tu nie uwzględniono podporności obudowy;
- wpływ wstępnego zniszczenia struktury skał pokładu, stropu i spagu uprzednio prowadzonymi robotami górnictwymi na możliwość eksploatacji chodnikami równoległymi.

## LITERATURA

1. Białek J., Drzęźła B., Jaworski A. i zespół.: Analiza możliwości przeprowadzenia pasowej eksploatacji (60%) w pokładzie 501 w parceli G24 KWK Polska w warunkach górotworu naruszonego wcześniejszą eksploatacją. Gliwice 1992 - praca niepublikowana.
2. Drzęźła B., Białek J., Jaworski A.: Metoda prognozowania rozkładów naprężeń w strefach oddziaływania zaszczości eksploatacyjnych. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-10 (213) 1988.
3. Hustrulid.: A Review of Coal Pillar Strength Formulas. Rock Mechanics 8, 115-145 (1976).

4. Krzysztoń D.: Analysis of different concepts of pillar strength calculation for USA coal mining conditions. *Archiwum Górnictwa*. Tom 29 1984, zeszyt 4.
5. Syd S. Peng.: *Coal Mine Ground Control*. A Wiley-Interscience Publication - John Wiley & Sons. 1986.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Bogdan Dzegniuk

Wpłynęło do Redakcji 4.10.1996 r.

### **Abstract**

The paper presents a method to determine the width of belt pillars left over as a result of mining carried out by way of narrow mine faces (galleries). This way of mining is becoming more and more popular in Polish mining industry since it affords possibilities for easy deposition of industrial wastes and allows partial recovery of deposits from some safety pillars. Left over belt-shaped coal pillars of invariable width between successive headings (galleries, chambers, open-ends) are basic distinctive features of this mining process. It is assumed that the width of belts will be selected in a way assuring their stability, and they will be able to carry the overburden load as well as loads resulting from the existence of mining edge structures left over by abandoned workings. To determine the width of belt pillars we have adopted the calculation methodology based on the research carried out by Bieniawski (1983) and Wilson (1981), which concerned the strength of large samples having square bases and different slenderness ratios. In addition, the paper suggests a method for the estimation of parameters needed to carry out the prediction of surface deformation with respect to the discussed mining.