

Zenon SZCZEPANIAK

Jan URBAŃCZYK

Politechnika Śląska, Gliwice

ZAGADNIENIE PROJEKTOWANIA SZEROKOŚCI FILARÓW OPOROWYCH
MIĘDZY WYROBISKAMI GÓRNICZYMI Z UWZGLĘDNIENIEM ICH WSPÓŁPRACY
Z WARSTWAMI NADLEGLYMI

Streszczenie. W pracy przedstawiono sposób projektowania szerokości filarów oporowych powstających między niektórymi wyrobiskami górniczymi z uwzględnieniem możliwości różnych rozkładów naprężeń ściskających koncentrujących się w filarze. Uzasadniono, że prawidłowo zaprojektowane filary oporowe decydują o zachowaniu długotrwałej stateczności wyrobisk pomiędzy którymi znajduje się dany filar. Zwrócono także uwagę na zagadnienie obliczania wielkości obciążenia filara oporowego ciężarem skupa skał zalegających nad wyrobiskami po ich wykonaniu, z uwzględnieniem współpracy skał występujących w otoczeniu tych wyrobisk z warstwami nadleglymi.

1. WPROWADZENIE

Ustalenie właściwej szerokości filarów oporowych między podziemnymi wyrobiskami górniczymi, np. filarów występujących między bliźniaczymi wyrobiskami korytarzowymi lub między wyrobiskami komorowymi składu materiałów wybuchowych itp., jest istotnym zagadnieniem z punktu widzenia stateczności tychże wyrobisk zapewniającej ich długotrwałe utrzymanie.

Spośród szeregu czynników mających wpływ na stateczność podziemnych wyrobisk górniczych oddzielonych filarami oporowymi, takich jak:

- głębokość lokalizacji wyrobisk i ciężar objętościowy zalegających nad nimi skał,
- wielkości przekrojów poprzecznych wyrobisk,
- szerokość filarów oporowych między wyrobiskami,
- wytrzymałość skał w otoczeniu wyrobisk (a więc również w filarach oporowych między nimi), zwłaszcza na naprężenia ściskające,
- konstrukcja obudowy wyrobiska rzutująca na jej podporność i współpracę z górotworem,

decydujące znaczenie posiada szerokość filarów oporowych, szczególnie przy lokalizacji wyrobisk w skałach o małej zwięzłości.

W niniejszej pracy przedstawiono sposób projektowania szerokości filarów oporowych między podziemnymi wyrobiskami górniczymi z uwzględnieniem własności wytrzymałościowych otaczających je skał (głównie na naprężenia ściskające), jak również głębokości lokalizacji tychże wyrobisk.

2. STAN NAPREŻENIA W FILARACH OPOROWYCH MIĘDZY WYROBISKAMI GÓRNICZYMI

W filarach oporowych między podziemnymi wyrobiskami górniczymi występuje koncentracja naprężeń ściskających, których wielkość - jak to już zaznaczono - związana jest z szerokością tych filarów, a także w dużej mierze zależy również od głębokości lokalizacji wyrobisk (a więc od wartości naprężeń pierwotnych p_z , jakie występują w górotworze na danej głębokości) i ciężaru Q skał zalegających nad wyrobiskami (przekazywanego na pozostawione między nimi filary oporowe).

Wielkość naprężeń pierwotnych p_z wyznacza się zgodnie z ogólnie znanym wzorem (1)

$$p_z = \rho \cdot g \cdot H = \gamma \cdot H ; \quad (1)$$

gdzie:

- ρ - gęstość skał,
- g - wielkość przyspieszenia ziemskiego,
- H - głębokość lokalizacji wyrobiska,
- γ - ciężar objętościowy skał w stanie wilgotności naturalnej.

Ciężar Q słupa skał zalegających nad połową szerokości wyrobiska - przekazywany na skały danego filara oporowego - wyznacza się z zależności (2)

$$Q = a \cdot \gamma \cdot H_1 , \quad (2)$$

gdzie:

- a - połowa szerokości wyrobiska,
- H_1 - wysokość słupa skał, którego ciężar przekazywany jest na filar oporowy.

Przekazywany na skały w filarze oporowym ciężar Q powoduje wystąpienie w nim tzw. naprężeń dodatkowych $\bar{\sigma}_c$ dod sumujących się z naprężeniami pierwotnymi p_z (rys. 1). Maksymalną wielkość naprężeń dodatkowych $\bar{\sigma}_c$ dod max na obszarze filara oporowego można wg [2] określić z zależności (3):

$$Q = \int_0^s \bar{\sigma}_c \text{ dod max} \left[1 - \left(\frac{x}{s} \right)^n \right] dx, \quad (3)$$

gdzie:

- n - współczynnik koncentracji naprężeń dodatkowych uwzględniający wielkość doraźnej wytrzymałości na ściskanie skał występujących w filarze oporowym,
- s - minimalna szerokość filara oporowego między wyrobiskami.

Wielkość współczynnika n dla różnych skał określa się doświadczalnie; na podstawie przeprowadzonych badań [2] można przyjąć, że przybliżona wielkość współczynnika n kształtuje się zgodnie z zależnością (4)

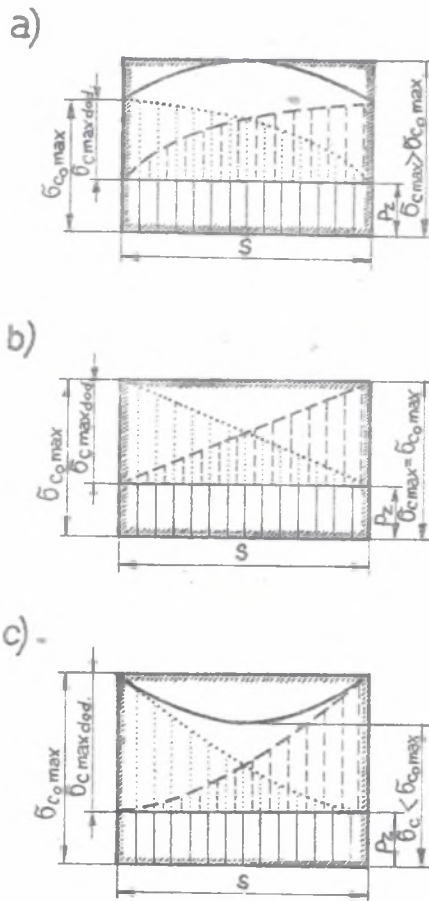
$$n \approx \frac{6 \cdot 10^4}{R_c}, \quad (4)$$

gdzie:

- liczba $6 \cdot 10^4$ odpowiada doraźnej wytrzymałości skał na ściskanie równej około $6 \cdot 10^4$, KN/m^2
- R_c - doraźna wytrzymałość na ściskanie skał budujących filary oporowe między wyrobiskami, KN/m^2 ,

Z zależności (3) - po przeprowadzeniu całkowania i prostego przekształcenia - otrzymuje się zależność (5) pozwalającą na obliczenie (przy znanych wielkościach n , s i Q) wartości maksymalnych naprężeń dodatkowych

$$\bar{\sigma}_c \text{ dod max} = \frac{Q(n+1)}{s \cdot n} \quad (5)$$



Rys. 1. Rozkład naprężeń ściskających w filarach podporowych między wyrobiskami górnictwymi:
 a) dla $n > 1$; b) dla $n = 1$; c) dla $n < 1$

Fig. 1. Distribution of compressive stresses in barrier pillars between headings:
 a) if $n > 1$, b) in $n = 1$, c) if $n < 1$

Sumaryczna maksymalna wielkość naprężeń ściskających $\bar{\sigma}_{c_0 \max}$ występujących przy ociosach wyrobisk - w pozosta-
tawionych między nimi filarach oporowych - wyznaczyć można
z zależności (6)

$$\bar{\sigma}_{c_0 \max} = p_z + \bar{\sigma}_{c_{\text{dod max}}} = p_z + \frac{q(n+1)}{s \cdot n}, \quad (6)$$

Stateczność filarów oporowych między wyrobiskami - równoznaczna
na z statecznością samych wyrobisk - będzie zachowana,
jeżeli spełniony zostanie warunek (7)

$$\bar{\sigma}_{c_0 \max} = p_z + \bar{\sigma}_{c_{\text{dod max}}} < R_c \quad (7)$$

Rozkład naprężeń ściskających w filarach oporowych między
wyrobiskami górniczymi - dla różnych wielkości współzyna-
nika koncentracji naprężeń dodatkowych n - przedstawiono
na rys. 1.

3. OBLICZANIE WIELKOŚCI OBCIĄŻENIA FILARÓW OPOROWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM ICH WSPÓŁPRACY Z WARSTWAMI NADLEGLYMI

Przy określaniu wielkości naprężeń dodatkowych występu-
jących w skałach filara oporowego istotne znaczenie posiada -
jak to wynika z zależności (5) - ciężar słupa skał zalegają-
cych nad wyrobiskami.

Wysokość słupa skał, których ciężar przekazywany jest na
filar oporowy, z dużym prawdopodobieństwem można określić
na 200 do 300 m. Jak to wynika z dokonanej analizy przekro-
jów geologicznych, co najmniej w takich odległościach wystę-
pują warstwy skał o dużej sztywności (zwanymi dalej warstwami
podporowymi), dla których, przy ich odpowiedniej współpracy
z warstwami nadleglymi, spełniona jest zależność (8)

$$M_a \leq M_o, \quad (8)$$

gdzie:

- M_a - maksymalny moment gnący (aktywny) w warstwie
podporowej wywołany zalegającym nad nią, na
szerokości wyrobiska, ciężarem słupa skał,
- M_o - dopuszczalna wielkość momentu gnącego w warst-
wie podporowej bez utraty jej stateczności.

Zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 2 jest:

$$M_a = \frac{q_z \cdot l_w^2}{8} \quad (9)$$

$$M_o = 2 \cdot R_c \cdot x \left(\frac{h_w}{2} - \frac{1}{3} x \right) \quad (10)$$

gdzie:

q_z - pionowe obciążenie warstwy podporowej rozłożone równomiernie na całej jej długości,

l_w - odległość między wyrobiskami (szerokość rozpatrywanego wycinka warstwy podporowej),

R_c - doraźna wytrzymałość na ściskanie skały w warstwie podporowej;

$$R_c > 4,5 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$$

h_w - miąższość warstwy podporowej; $h_w \geq 10 \text{ m}$,

x - wysokość trójkąta, w którym przyjmuje się występowanie naprężeń zginanej warstwy podporowej przy ograniczonym jej obciążeniu,

w szczególności:
$$x = \frac{2 \sigma_y \cdot h_w}{R_c}, \quad (11)$$

przy czym:
$$\sigma_y = \sigma_x = \frac{\sigma_z \cdot \nu}{1 - \nu}, \quad (12)$$

a:
$$\sigma_z = \sigma_p = \rho \cdot g \cdot H, \quad (13)$$

Uwzględniając powyższe, warunek (8) można zapisać w postaci (14)

$$\frac{q_z \cdot l_w^2}{8} \leq 2 R_c x \left(\frac{h_w}{2} - \frac{1}{3} x \right) \quad (14)$$

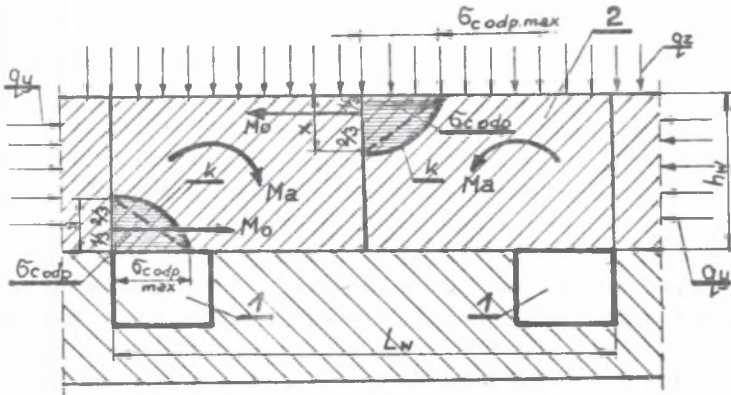
Zależność (14) wyprowadzono dla granicznego obciążenia warstwy podporowej przy założeniu, że występujące w niej wewnętrzne naprężenia $\sigma_c \text{ odp}$ (odporowe) rozkładające się wg trójkąta prostokątnego o wysokości x (rys. 2) równoległej do miąższości warstwy podporowej h_w , a ustalonej zgodnie ze wzorem (11). Druga przyprostokątna trójkąta rozkładu naprężeń $\sigma_c \text{ odp}$ odpowiada wielkości doraźnej wytrzymałości na ściskanie R_c skały budującej warstwę

podporową. W rzeczywistości pole naprężeń odporowych

$\sigma_{c \text{ odp}}$ w granicznych warunkach pracy warstwy podporowej $\sigma_{c \text{ odp max}} \approx R_c$ jest większe od pola powierzchni F_1 przyjętego wg trójkąta prostokątnego o przyprostokątnych x i R_c , gdyż naprężenia te przy granicznym obciążeniu warstwy podporowej rozkładają się wg krzywej k rys. 2, która wyznacza większe pole naprężeń F_2 , czyli $F_2 > F_1$.

Przyczyny większego pola naprężeń F_2 upatruje się w:

- pewnym uplastycznieniu skały na wysokości odcinka x ,



Rys. 2. Obciążenie filara oporowego między wyrobiskami górnymi z uwzględnieniem oddziaływania warstwy podporowej;
1 - wyrobisko górnicze, 2 - warstwa podporowa.

Fig. 2. The loading of a barrier pillar between headings, taking into consideration the influence of the supporting stratum.
1 - heading, 2 - supporting stratum.

- zwiększeniu wypadkowej docisku w miejscach działania momentu M_0 wskutek rozpięcia warstwy podporowej przy jej zginaniu; stąd też rzeczywiste wielkości momentów M_0 występujących w warstwie podporowej będą większe od wielkości momentu M_0 , określonej zależnością (10). Stosunek M_0/M_0 jako zawsze większy od jedności wskazuje na występowanie, w porównaniu z zależnością (14), pewnego współczynnika bezpieczeństwa.

Warstwa podporowa spełniająca zależność (14) charakteryzuje się, do chwili jej zniszczenia, minimalnym ugięciem i jako taka nie przekazuje ciężaru warstw zalegających powyżej na warstwy występujące bezpośrednio nad wyrobiskami; przekazuje natomiast ten ciężar w głąb górotworu, przez co ogranicza wielkość naprężeń dodatkowych koncentrujących się w ociosach wyrobisk i filara oporowego zawartego między nimi. Skały słabsze znajdujące się pod warstwą podporową ulegają pewnemu ugięciu w kierunku wykonanych wyrobisk, a przez to zostają odciążone od słupa skał zalegających nad warstwą podporową - na szerokości tychże wyrobisk.

Można przyjąć, że wielkość dodatkowych naprężeń ściskających σ_c do koncentrujących się w ociosach wyrobisk i filarze oporowym zawartym między nimi uzależniona jest w praktyce od ciężaru słupa skał ograniczonych płaszczyznami równoległymi do ociosów wyrobisk, ich stropem i spagiem najbliższej, zalegającej powyżej, warstwy podporowej.

4. WYZNACZANIE SZEROKOŚCI FILARÓW OPOROWYCH MIĘDZY WYROBISKAMI GÓRNICZYMI

Prawidłowo wyznaczona szerokość filara oporowego zawartego między wyrobiskami górniczymi powinna być taka, aby naprężenia ściskające występujące na jego obrzeżach były możliwie jak najmniejsze, a ich maksymalna wartość powinna występować w środkowej części filara, w której panuje trójkierunkowy stan naprężenia. Istnieje wówczas możliwość przejmowania przez skały zalegające w środkowej partii filara (do chwili zniszczenia ich struktury) większych naprężeń ściskających od tych, które mogą być przejmowane przez partie filara graniczące z ociosami wyrobisk, gdzie skały pracują - w przybliżeniu - w warunkach jednokierunkowego stanu naprężenia, przechodząc w pewnej odległości od ociosów wyrobisk w płaski, a następnie trójkierunkowy stan naprężenia. Sytuację taką przedstawia rys. 1a.

Minimalną bezpieczną szerokość s filara oporowego (rys. 1) zapewniającą długotrwałą jego stateczność (jak również stateczność wyrobisk górniczych, pomiędzy którymi znajduje się rozpatrywany filar) można wyznaczyć korzystając z zależności (15), przy uwzględnieniu wniosków wynikających z rozważań przedstawionych w punkcie 3, a dotyczących sposobu obliczania wielkości obciążenia Q oddziałującego na skały budujące filar:

$$s \geq \frac{Q(n+1)}{n(k_c - p_z)}, \quad (15)$$

gdzie:

k_c - naprężenia dopuszczalne na ściskanie dla skał filara oporowego,

$$k_c = \frac{R_c}{n_1},$$

n_1 - współczynnik bezpieczeństwa, $n_1 > 1$.

Z powyższej zależności wynika, że wraz ze zmniejszaniem się doraźnej wytrzymałości na ściskanie skał zalegających w otoczeniu wyrobisk górniczych - dla danej głębokości ich lokalizacji - powinna zwiększać się szerokość pozostawionych między nimi filarów oporowych.

5. WNIOSKI

1. Wytrzymałość filarów oporowych pozostawionych pomiędzy niektórymi wyrobiskami górniczymi (np. pomiędzy bliźniaczymi wyrobiskami korytarzowymi, wyrobiskami komorowymi składu materiałów wybuchowych itp.) jest głównym czynnikiem decydującym o stateczności tychże wyrobisk.

2. Stateczność filara oporowego będzie zapewniona wówczas, gdy suma naprężeń ściskających koncentrujących się w filarze, a więc naprężeń pierwotnych i naprężeń dodatkowych pojawiających się z chwilą wykonania wyrobisk, nie przekroczy doraźnej wytrzymałości na ściskanie skał budujących filar.

3. Ustalając wielkość obciążenia filara oporowego ciężarem słupa skał zalegających nad wyrobiskami po ich wykonaniu, należy uwzględnić oddziaływanie tak zwanych warstw podporowych.

4. Szerokość filara oporowego powinna być taka, aby maksymalna wielkość naprężeń ściskających oddziałujących na skały tego filara koncentrowała się w środkowej jego części, tzn. w obszarze, w którym występuje w nim najpełniejszy trójkierunkowy stan naprężenia, a równocześnie na obrzeżach filara nie dochodziło do nakładania się naprężeń wywołanych oddziaływaniem skał zalegających nad każdym z wyrobisk.

5. Podane w pracy zależności umożliwiają wyznaczenie bezpiecznej szerokości filarów oporowych, z zachowaniem występowania w nich naprężeń ściskających nie przekraczających doraźnej wytrzymałości budujących filar skał na ściskanie, zapewniając tym samym długotrwałą stateczność wyrobisk, pomiędzy którymi znajduje się dany filar.

LITERATURA

- [1] Chudek M., Szczepaniak Z., Ządęcki W.: Wpływ nasyconego roztworu chlorku sodu na stateczność komór w zatopionych kopalniach soli kamiennej. Materiały konferencyjne, Kraków 1984.
- [2] Szczepaniak Z.: Podporność segmentowej obudowy żelbetowej oraz jej wpływ na stateczność wyrobisk udostępniających na dużych głębokościach. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo z. 121, Gliwice 1982.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Rułka

СПОСОБ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕЛИЧИН ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ,
ВОЗНИКАЮЩИХ МЕЖДУ НЕКОТОРЫМИ ГОРНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ,
С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ ВЫШЕЗАЛЕГАЮЩИХ ПЛАСТОВ

Р е з ю м е

В работе показан способ проектирования величин предохранительных целиков, возникающих между некоторыми горными выработками с учётом различного распределения сжимающих напряжений, концентрирующихся в целике. Подтверждено, что правильно запроектированные предохранительные целики влияют на поведение длительной устойчивости выработок, между которыми находится данный целик. Обращается также внимание на проблему расчёта величины нагрузки предохранительного целика столбом пород, залегающих над выработками после их выполнения с учётом местного влияния пород в окружении этих выработок вместе с вышезалегающими пластами.

METHOD OF DESIGNING THE WIDTH OF BARRIER PILLARS BETWEEN MINE
HEADINGS WITH INFLUENCE OF THE OVERLYING STRATA TAKEN INTO ACCOUNT

S u m m a r y

The paper deals with a new method of designing the width of barrier pillars between some headings, taking into account various distributions of compressive stresses concentrating in the pillar. It has been substantiated that correctly designed barrier pillars warrant a long-lasting stability of the headings on both sides of the given pillar. Attention has been also paid to the calculation of the loading of the barrier pillar by the mass of over-lying rock, co-operation between the rocks around the headings and the over-lying strata.