

Zenon SZCZEPANIAK

Instytut Projektowania Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni  
Politechnika Śląska - Gliwice

PROJEKTOWANIE SZEROKOŚCI FILARÓW OPOROWYCH  
W KOPALNIACH PODZIEMNYCH SOLI KAMIENNEJ

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono sposoby projektowania szerokości filarów oporowych między komorami stanowiącymi podziemne wyrobiska eksploatacyjne złoża soli. Przy projektowaniu uwzględniono możliwość trzech różnych rozkładów naprężeń ściskających wzdłuż szerokości filara (rysunki 2, 3, 4). Uzasadniono, że prawidłowo zaprojektowane filary oporowe decydują o zachowaniu długotrwałej stateczności wyrobisk eksploatacyjnych soli, jakimi są wielkogabarytowe nieobudowane wyrobiska komorowe. Stanowią więc podstawową przyczynę zachowania kryterium w zakresie minimalizacji deformowania zalegającego nad nimi górotworu, a tym samym występowania zagrożeń górniczych w samych wyrobiskach (w czasie wydobywania soli) i szkód górniczych przy powierzchni terenu w okresie czynnej działalności kopalni, jak i po jej zlikwidowaniu.

## 1. WSTĘP

Eksploatację soli kamiennej w kopalniach podziemnych prowadzi się najczęściej sposobem ługowania, rzadziej poprzez urabianie skał i wydobywanie urobku. Zarówno w pierwszym jak i drugim sposobie istnieje konieczność zachowania pełnej stateczności komór praktycznie przez czas nieograniczony, a więc również po zlikwidowaniu kopalni. W obydwu przypadkach wytwarzane są i pozostawiane komory o dość dużych gabarytach. Konieczność wyeliminowania dopływu wody z wyższych warstw zawodnionych skał do wyrobisk kopalni oraz potrzeba ochrony górotworu i obiektów powierzchniowych wymagają zachowania trwałych gabarytów wyrobisk komorowych tak w czasie prowadzenia eksploatacji soli, jak i po zlikwidowaniu kopalni.

Głównymi czynnikami decydującymi o stateczności komór są:

- głębokość lokalizacji danego poziomu wydobywczego i ciężar objętościowy zalegających nad nim skał,
- gabaryty wyrobisk komorowych,
- szerokość filarów oporowych między komorami,
- wytrzymałość skał w otoczeniu komór, a więc również w filarach oporowych, zwłaszcza na naprężenia ściskające.

Spośród wymienionych czynników decydującą przyczyną o zaciskaniu komór i deformowaniu oraz osiadaniu zalegającego nad nimi górotworu jest niszczenie w filarach oporowych pierwotnej struktury budujących je skał po wystąpieniu w nich naprężeń przekraczających doraźną wytrzymałość na ściskanie.

Wielkość naprężeń ściskających w filarach już istniejących i szerokość filarów projektowanych można określić za pomocą zależności przedstawionych w niniejszej pracy, a w szczególności przy wykorzystaniu wzorów (9) i (10).

## 2. STATECZNOŚĆ FILARÓW OPOROWYCH MIĘDZY KOMORAMI STANOWIĄCYMI WYROBISKA EKSPLOATACYJNE SOLI

Konieczność ochrony górotworu i terenu pod obiektami zabudowanymi nad obszarem prowadzonej eksploatacji soli kamiennej sposobem komorowym wymaga zachowania trwałych (praktycznie - przez czas nieograniczony) gabarytów wyrobisk komorowych tak w czasie prowadzenia eksploatacji soli, jak i po zakończeniu jej wybierania i zlikwidowaniu kopalni.

Podstawowym czynnikiem decydującym o konwergencji komór jest wielkość naprężeń ściskających, występujących w pozostawionych między komorami filarach oporowych.

Wielkość naprężeń w każdym filarze oporowym w dużym stopniu zależy od wartości naprężeń pierwotnych  $p_z$ , jakie występują w górotworze na danej głębokości. Ich wielkość można wyliczyć znanym wzorem (1)

$$p_z = \varrho \cdot g \cdot H = \gamma \cdot H, \quad (1)$$

gdzie:

- H - głębokość lokalizacji wyrobiska,
- $\varrho$  - gęstość skał,
- g - przyśpieszenie ziemskie,
- $\gamma$  - ciężar objętościowy skał.

Drugim podstawowym elementem, decydującym o wielkości naprężeń ściskających w filarach oporowych między komorami jest ciężar skał zalegających nad maksymalną szerokością każdej komory, przekazywany na pozostawione między nimi filary oporowe.

Wielkość wymienionego ciężaru słupa skał nad połową szerokości jednej komory - przekazywanego na skały danego filaru oporowego - ustala się z zależności (2):

$$Q = 0,5 l_w \cdot \gamma \cdot H, \quad (2)$$

gdzie:

- $l_w$  - maksymalna szerokość komory,
- H - głębokość zalegania komory względem powierzchni ziemi.

W przypadku komór zatopionych solanką w zlikwidowanych kopalniach soli wielkość  $Q$  przyjmuje wartość określoną zależnością (3)

$$Q = 0,5 \cdot l_w (\gamma \cdot H - \gamma_s \cdot H_s) \quad (3)$$

gdzie:

$\gamma_s$  - ciężar właściwy solanki stanowiącej wodny nasycony roztwór NaCl,  
 $H_s$  - wysokość słupa solanki w zlikwidowanych (zasypanych) szybach.

Przekazywany na skały w filarze oporowym ciężar  $Q$  powoduje wystąpienie w nim tzw. naprężeń dodatkowych  $\sigma_{\text{dod}}$ , sumujących się z naprężeniami pierwotnymi  $p_z$  (rysunki 2, 3, 4).

Maksymalną wielkość naprężeń dodatkowych  $\sigma_{\text{max dod}}$  na obszarze filara oporowego - w miejscu minimalnej jego szerokości - można według badań przeprowadzonych w (8) określić z zależności (4):

$$Q = \int_0^s \sigma_{\text{max dod}} \left[ 1 - \left( \frac{x}{s} \right)^n \right] dx, \quad (4)$$

gdzie:

$n$  - współczynnik koncentracji naprężeń dodatkowych (o wielkości zależnej od doraźnej wytrzymałości na ściskanie występujących w filarze oporowym skał) ustalony według (8) za pomocą wzoru (8),  
 $s$  - minimalna szerokość filara oporowego między komorami.

Z zależności (4) po przeprowadzeniu całkowania otrzymuje się wzór:

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

Ze wzoru (5) oblicza się - przy znanych wielkościach  $n$ ,  $s$  i  $Q$  - wartość maksymalnych naprężeń dodatkowych  $\sigma_{\text{max dod}}$

$$\sigma_{\text{max dod}} = \frac{Q(n + 1)}{s \cdot n} \quad (6)$$

Obliczoną za pomocą wzoru (6) wartość  $\sigma_{\text{max dod}}$  wykorzystuje się we wzorze (7) do określenia sumarycznej maksymalnej wielkości naprężeń ściskających  $\sigma_{\text{O max}}$  przy ociosach komór w pozostawionych między nimi filarach oporowych

$$\sigma_{\text{O max}} = p_z + \sigma_{\text{O max dod}} = p_z + \frac{Q(n + 1)}{s \cdot n} \quad (7)$$

Na podstawie badań przeprowadzonych w (8) można przyjąć, że występująca w zależności (7) liczba  $n$  posiada przybliżoną wartość ustaloną z zależności (8)

$$n \approx \frac{6 \cdot 10^7}{R_c}, \quad (8)$$

gdzie: liczba  $6 \cdot 10^7$  odpowiada wytrzymałości doraźnej skał na ściskanie, równej około  $6 \cdot 10^7$  [Pa],  $R_c$  - doraźna wytrzymałość na ściskanie [Pa] skał budujących filary oporowe między komorami.

Skały kompleksu solnego przy długotrwałym poddawaniu ich naprężeniem ściskającym wykazują dość znaczne właściwości reologiczne, w związku z czym wielkość liczby  $n$  zawsze spełnia warunek  $n > 1$ . Kształtowanie się naprężeń dodatkowych dla różnych wielkości liczby  $n$  obrazuje rys. 1 a ich rozkład i sumowanie z naprężeniami pierwotnymi  $p_z$  - rysunki 2, 3 i 4. Rozkład naprężeń w filarze oporowym dla liczby  $n > 1$  przedstawiono na rys. 2. Rozkład taki jest korzystny, gdyż maksymalna wielkość naprężeń ściskających wpada w środku filara oporowego, gdzie panuje trójosiowy stan naprężenia, co powoduje możliwość przejmowania przez skały filara (do chwili zniszczenia ich struktury) większych naprężeń ściskających od tych wartości, jakie mogą być przyjmowane przy powierzchniach graniczących z komorami, gdzie skały pracują w przybliżeniu w warunkach jednoosiowego stanu naprężenia, przechodząc w pewnej odległości od obrzeża komory w płaski, a dalej ku środkowi filara - w trójosiowy stan naprężenia. W przypadku komór zatopionych solanką pozostającą pod określonym ciśnieniem hydrostatycznym - skały filarów oporowych również na ich obrzeżach są zmuszane do pracy w trójosiowym stanie naprężenia, co czyni filary bardziej statecznymi.

Ze względów bezpieczeństwa można przyjąć wartość liczby  $n$  równą jedności ( $n = 1$ ) i założyć, że według wzoru (7) stateczność filara będzie zachowana przy spełnieniu zależności (9) lub (10)

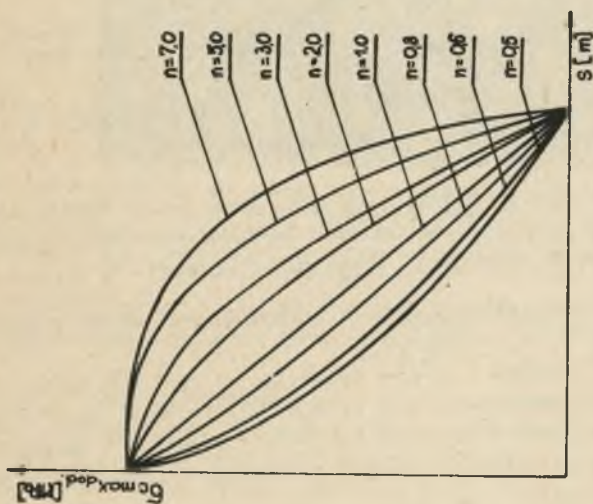
$$\sigma_{c_0 \max} = p_z + \frac{Q(n+1)}{n \cdot s} = p_z + \frac{2Q}{s} \leq \frac{R_c}{n_1} \quad (9)$$

$$s \geq \frac{2 n_1 Q}{R_c - n_1 p_z}, \quad (10)$$

gdzie  $n_1$  - współczynnik bezpieczeństwa ( $n_1 > 1$ ).

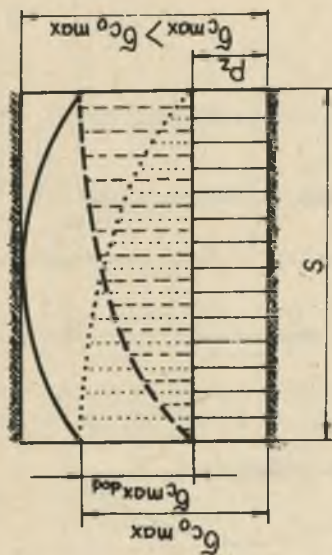
Przy przyjęciu liczby  $n = 1$  naprężenia dodatkowe  $\sigma_{c \text{ dod}}$  zgodnie z rys. 3) rozkładają się według trójkąta, a sumaryczna ich wielkość łącznie z naprężeniami  $p_z$  - według prostokąta.

Spełnienie zależności (9) lub (10) jest warunkiem dostatecznym zachowania stateczności filarów oporowych między komorami.



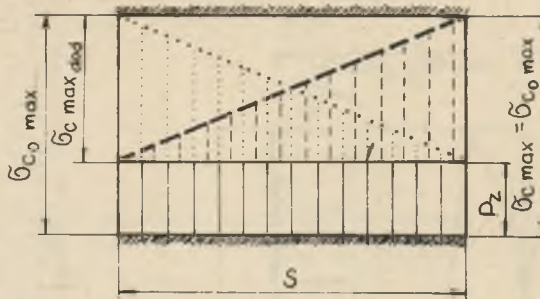
Rys. 1. Kształtowanie się naprężeń dodatkowych z jednej strony filara oporowego (równoważących ciężar słupa skał zalegających nad połową szerokości wyrobiska komorowego) - przy różnych wartościach liczby  $n$

Fig. 1. Additional stresses from one side of the protecting pillar (counterbalancing the rock weight placed over the half width of the chamber) - at different values of number  $n$



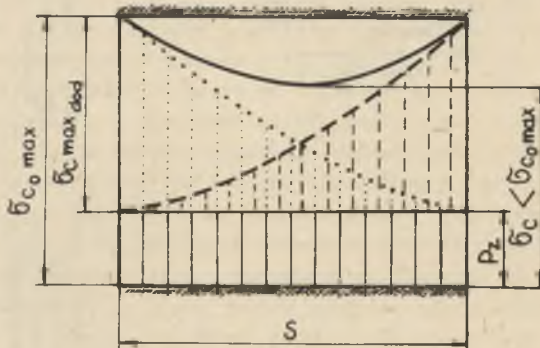
Rys. 2. Rozkład naprężeń ściskających w filarach oporowych pozostawionych między wyrobiskami komorowymi w kopalni soli - przy stosowanym we wzorach (4) i (6) współczynniku  $n > 1$

Fig. 2. Distribution of compressing stresses in protecting pillars remained between the chambers in a salt mine - at the coefficient  $n >$  applied in the formulae (4) and (6)



Rys. 3. Rozkład naprężeń ściskających w filarach oporowych pozostawionych między wyrobiskami komorowymi w kopalni soli - przy stosowanym we wzorach (4), (5) i (6) współczynnika  $n = 1$

Fig. 3. Distribution of compressing stresses in protecting pillars remained between the chambers in a salt mine - at the coefficient  $n = 1$  applied in the formulae (4), (5) and (6)

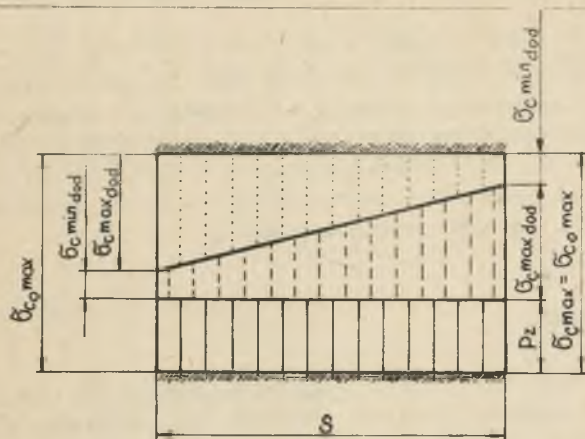


Rys. 4. Rozkład naprężeń ściskających w filarach oporowych pozostawionych między wyrobiskami komorowymi w kopalni soli - przy stosowanym we wzorach (4), (5) i (6) współczynnika  $n \leq 1$

Fig. 4. Distribution of compressing stresses in protecting pillars remained between the chambers in a salt mine - at the coefficient  $n \leq 1$  applied in the formulae (4), (5) and (6)

W przypadku małej szerokości filarów oporowych, przy której naprężenia dodatkowe po przeciwnej stronie filara względem ich wielkości maksymalnych ( $\sigma_{c_{\text{mac}_{\text{dod}}}}$ ) osiągają wielkości większe od zera, można przyjąć, że dla liczby  $n \approx 1$  nie będą one kształtować się mniej korzystnie od układu przedstawionego na rys. 5.

Maksymalna sumaryczna wielkość naprężeń ściskających przy ich kształtowaniu się jak na rys. 5 jest równa wielkości wyliczonej wzorem 9. Stąd zależności (9) i (10) można stosować dla każdej wartości liczby  $n \approx 1$  we wszystkich wielkościach ustalonych i projektowanych szerokości filarów oporowych między komorami soli kamiennej.



Rys.5. Rozkład naprężeń ściskających w filarze oporowym o szerokości  $s$  mniejszej od wielkości ustalonej z zależności (10) przy wartości liczby  $n$  równej 1

Fig.5. Distribution of compressing stresses in protecting pillars whose width  $s$  is smaller than value defined from the relation (10) at number  $n$  equal 1



Rys.6. Zachowanie się górotworu (stwierdzone za pomocą badań modelowych) w otoczeniu dwóch równoległych wyrobisk podziemnych o kształcie prostokątnym po zniszczeniu pozostawionego między nimi wąskiego filara oporowego (na skutek wystąpienia naprężeń przekraczających doraźną wytrzymałość na ściskanie w zamodelowanych w nim skałach)

Fig. 6. Rock behaviour (found by model testings) near two parallel underground rectangular headings after damaging the narrow pillar remained between them (because of stresses bigger than compression strength in the modelled rocks)

Wyliczone wielkości naprężeń wg zależności (9) (przy  $n \approx 1$ ) nie będą mniejsze od rzeczywistych, a zatem wyliczone szerokości filarów za pomocą wzoru (10) pozwolą określić wystarczającą ich wielkość dla zachowania stateczności komór. Jeżeli szerokość filarów oporowych będzie zbyt mała (mniejsza od wielkości określonej wg zależności 10), wówczas naprężenia ściskające mogą spełniać warunek  $\sigma_{c \max} > R_c$ , co oznacza, że skały zarówno w filarach, jak

i w otoczeniu komór (poza filarami) ulegną zniszczeniu jak na rys. 6. Deformacje skał w kierunku wyrobisk komorowych będą przyczyną przemieszczeń mas skalnych aż do powierzchni ziemi, a w konsekwencji mogą zaistnieć znaczne odkształcenia całego górotworu wraz z powierzchnią terenu, stanowiące zagrożenia wodne i inne dla wyrobisk górniczych w czasie wydobywania soli oraz dla obiektów na powierzchni terenu (zarówno w czasie prowadzonej eksploatacji w kopalni, jak i po jej zlikwidowaniu).

### 3. WNIOSKI KOŃCOWE

1. Wyrobiskami eksploatacyjnymi w podziemnych kopalniach soli kamiennej są komory, których gabaryty muszą być utrzymane bez większych zmian w czasie istnienia kopalni jak i po jej zlikwidowaniu, aby maksymalnie ograniczyć deformacje górotworu, możliwości zmian pierwotnego stanu wód gruntowych przy powierzchni ziemi oraz w niższych horyzontach wodnych łącznie z wyeliminowaniem jej przecieków do wyrobisk kopalni, jak również w celu zminimalizowania szkód górniczych w obiektach powierzchniowych.

2. Między komorami projektowanymi jako wyrobiska eksploatacyjne soli należy wyznaczyć i pozostawić odpowiedniej szerokości filary oporowe, decydujące o stateczności komór. Szerokość filarów przy znanej wytrzymałości występujących w nich skał można ustalić na drodze obliczeń przy wykorzystaniu podanych w pracy zależności (1) - (10), a zwłaszcza za pomocą wzorów (9) i (10).

3. Prawidłowo zaprojektowane filary oporowe zapewnią trwałą ich stateczność, a tym samym ograniczą zaciskanie wyrobisk komorowych i powstawanie szkód górniczych stanowiących zagrożenie dla wyrobisk czynnej kopalni oraz dla powierzchni terenu - również po zlikwidowaniu kopalni, a więc praktycznie przez czas nieograniczony.

### LITERATURA

- [1] Borecki M., Kwaśniewski M., Oleksy St.: Wpływ stopnia anizotropii sprężystej górotworu transwersalnie izotropowego na rozkład i wielkość naprężeń wokół chodnika. Prace Naukowe Instytutu geotechniki Politechniki Wrocławskiej. Konferencja nr 12, 1980.
- [2] Bułyczew N.S., Amusin B.Z., Ołowianij A.G. Rasczot kriepi kapitalnych gornych wyrobotok. "Niedra", Moskwa 1974.
- [3] Chudek M.: Mechanika Górotworu. Skrypt Politechniki Śląskiej nr 956/61. Gliwice 1981.
- [4] Chudek M., Szczepaniak Z., Urbańczyk J. Stateczność ociosów w otoczeniu odgałęzień udostępniających wyrobisk korytarzowych. VI Szkoła Mechaniki Górotworu. Kraków 1979.
- [5] Dżandżgawa J.D. Woprosy kriepienija gornych wyrobotok. Izd. Miecni-  
jerieba, 1973.



- [6] Sałustowicz A.: Zarys mechaniki górotworu. "Śląsk", Katowice 1968.
- [7] Szczepaniak Z.: Stan naprężeń w narożach połączeń podziemnych wyrobisk korytarzowych. ZN Pol. Śl. s. Górnictwo z. 7, Gliwice 1963.
- [8] Szczepaniak Z.: Podporność segmentowej obudowy żelbetowej oraz jej wpływ na stateczność wyrobisk udostępniających na dużych głębokościach (praca habilitacyjna). ZN Pol. Śl. s. Górnictwo, z. 121, Gliwice 1982.

Recenzent Prof. dr hab. inż. Kazimierz Rułka

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1984 r.

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДДЕРЖИВАЮЩИХ ЦЕЛИКОВ В ПОДЗЕМНЫХ СОЛЯНЫХ ШАХТАХ

#### Р е з ю м е

В работе представлены методы проектирования ширины поддерживающих целиков между камерами, образующими подземные эксплуатационные выработки залежей соли.

При проектировании принято во внимание возможность трёх разных распределений напряжений, сжимающих вдоль ширины целика. Подтверждено, что правильно запроектированные поддерживающие целики решают вопрос сохранения продолжительной устойчивости эксплуатационных выработок соли, которыми являются крупногабаритные незакрепленные камерные выработки. Они составляют основную причину сохранения критерия в области минимизации деформации находящихся над ними горных пород, а тем самым появления опасности обрушивания в самых выработках (во время добычи соли) и ущербов наземных сооружений вблизи поверхности местности, как в периоде активной деятельности, так и после её ликвидации.

### DESIGNING OF PROTECTING PILLARS WIDTH IN SALT MINES

#### S u m m a r y

The paper shows how to design the width of protecting pillars between the chambers being underground headings of salt beds while designing three different distributions of compressing stresses along the pillar width (Fig. 2,3,4) have been taken into account. It has been proved that properly designed protecting pillars are important for long stability of salt exploitation headings which are very large unsupported chambers. They are basic criteria for minimalization of deformation of the rock over the bed, and by this minimalization of mining hazards in headings themselves (during salt winning) and mining damages at the surface both during the mine work and after closing the mine.