



# Projektowanie filarów międzykomorowych w kopalniach soli w świetle obowiązujących przepisów

## *Designing of inter-chamber pillars in salt mines under the regulations in force*

Wacław ANDRUSIKIEWICZ

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii,  
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; andrus@agh.edu.pl

### STRESZCZENIE

W artykule przeanalizowano obowiązującą od przeszło 30 lat metodykę projektowania filarów międzykomorowych w kopalniach soli prowadzących eksploatację systemem komorowym. Przedstawione zostało krytyczne stanowisko autora wobec metod, które w chwili obecnej można traktować jako rozwiązania przybliżone. Zdaniem autora, konieczna jest zmiana istniejących przepisów, które nie przystają do obecnych możliwości w zakresie projektowania górniczego.

### ABSTRACT

*In the paper, the methodology, which has been in force for more than 30 years, of inter-chamber pillars designing in salt mines that mine by means of the chamber system has been analyzed. The author's critical attitude to these methods has been presented, which can be treated as approximate solutions at present. In the author's opinion, the change of the regulations in force is necessary, because they do not fit the present possibilities within the scope of mine designing.*

### WPROWADZENIE

Wielowiekowe obserwacje i doświadczenie zdobyte w podziemnym górnictwie solnym pozwoliły na bezpieczne prowadzenie eksploatacji tego surowca. Dowodem kunsztu górniczego są nieczynne już dziś kopalnie w Bochni i w Wieliczce. Dopiero ubiegłe stulecie przyniosło szereg rozwiązań analitycznych i empirycznych, które miały być – a niektóre są nawet do dzisiaj – pomocne przy projektowaniu nowych wyrobisk. Rozwiązania te oparte są na laboratoryjnych badaniach wytrzymałościowych próbek soli i skał otaczających złoża solne, wpływie kształtu próbek soli na uzyskiwane wyniki, a tak-

że obserwacjach i pomiarach prowadzonych w wyrobiskach podziemnych. Nadrzędnym celem wszystkich opracowanych metod wymiarowania calizn solnych było zapewnienie szeroko rozumianego bezpieczeństwa kopalni przy równoczesnym zwiększeniu współczynnika wykorzystania złoża.

W 1979 r. na zarządzenie ówczesnego Naczelnego Dyrektora Zjednoczenia Kopalnictwa Surowców Chemicznych pojawiła się w obrocie prawnym „Instrukcja określająca szczegółowe zasady projektowania filarów bezpieczeństwa i filarów granicznych w podziemnych zakładach górniczych podległych Ministrowi Przemysłu Chemicznego oraz przy wydobywaniu soli otworami wiertniczymi z powierzchni metodą podziemnego ługowania”, zwana dalej „Instrukcją...”. W wyniku przemian ustrojowych, a także organizacyjnych, w tej chwili nie istnieje wspomniane Zjednoczenie, jak również Ministerstwo Przemysłu Chemicznego (kompetencje zostały przejęte przez inne resorty). Niemniej jednak „Instrukcja...” nadal obowiązuje.

Przed omówieniem tytułowego zagadnienia niezbędne jest przedstawienie pewnych uwag na temat formy „Instrukcji...”. Została ona opublikowana w postaci mało starannego maszynopisu (tzw. prawo powielaczowe), w którym przy kolejnych wzorach próżno szukać objaśnień dotyczących użytych symboli. Projektant zdany jest na intuicję i własne doświadczenie, gdyż wielokrotnie zdarza się, że te same symbole użyte w różnych wzorach oznaczają co innego. Aby uniknąć ewentualnych nieporozumień, autor niniejszej pracy ujednolicił stosowaną symbolikę, która nieco odbiega od przyjętej w „Instrukcji...”. Przyjęta symbolika jest tożsama z użytą w podręczniku „Geomechanika górnicza” (Kłeczek, 1994). Wprowadzone zmiany nie zmieniają sensu matematycznego omawianych wzorów.

## PROJEKTOWANIE FILARÓW MIĘDZYKOMOROWYCH

Filary międzykomorowe w komorowym systemie eksploatacji soli stanowią – obok półek między poziomowych – jeden z najważniejszych elementów systemu, decydujący o stateczności pola eksploatacyjnego bądź kopalni.

Omawiana „Instrukcja ...” filary międzykomorowe opisuje jako „Filary oporowe pionowe międzywyróbiskowe”, które zostały zdefiniowane w następujący sposób: „...Filary oporowe międzywyróbiskowe są to calizny pionowe (*filary międzykomorowe – przyp. aut.*) lub poziome (*półki między poziomowe – przyp. aut.*), pozostawione pomiędzy poszczególnymi wyróbkami celem ich ochrony przed niebezpiecznym ciśnieniem górotworu...”.

W punkcie 10 „Instrukcji...” przedstawiono metodykę projektowania filarów długich oraz kwadratowych, podano także metodę kontrolną do weryfikacji przyjętych wymiarów. Ponieważ w systemie komorowym występują filary długie, w dalszym ciągu rozważania zostaną ograniczone do tego typu filarów.

„Instrukcja...” nakazuje, by dopuszczalną szerokość filara (*minimalną – przyp. aut.*) wyznaczać z następującego wzoru (1):

$$\frac{l}{h} = \frac{R_{co}}{n \cdot \gamma_n \cdot H} \cdot \left(\frac{f}{h}\right)^{\frac{3}{2}} - \frac{f}{h} \quad (1)$$

gdzie:

$l$  – szerokość komór przyległych do filara/*the width of the chambers adjacent to the pillar*;

$h$  – wysokość komory/filara/*height of the chamber/pillar*;

$R_{co}$  – wytrzymałość doraźna na ściskanie próbki sześcienniej/*compressive strength sample cube*;

$n$  – współczynnik bezpieczeństwa,  $n \geq 1,55$ /*safety factor  $n \geq 1.55$* ;

$\gamma_n$  – średni ciężar objętościowy skał nadległych/*the average bulk density of rocks*;

$H$  – głębokość zalegania stropu komór/*depth to the chambers top*;

$f$  – szerokość filara/*pillar width*.

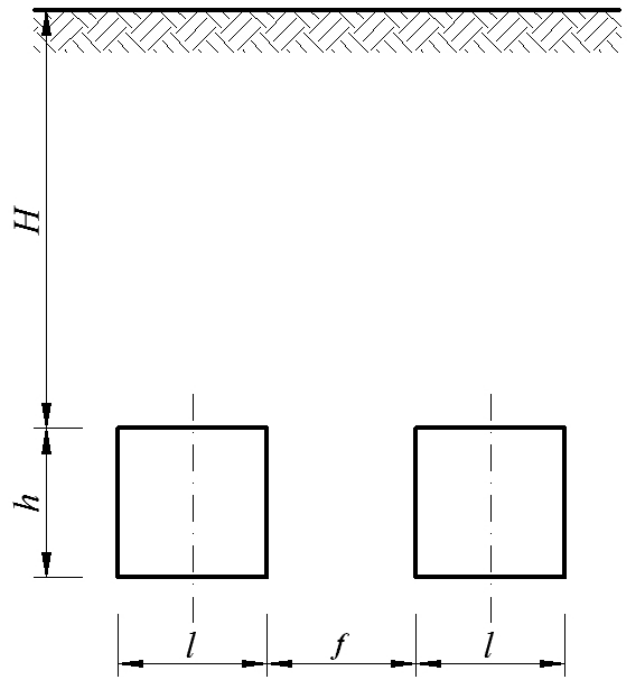
We wzorze (1) została wykorzystana hipoteza Turnera (Köhsling, 1976b), zgodnie z którą filar międzykomorowy przenosi ciężar skał nadkładu zalegającego bezpośrednio nad filarem i przylegającymi do niego komór, przy czym nie uwzględnia się więzi pomiędzy rozpatrywanym nadkładem a pozostałym masywem. Wzajemny układ komór przyległych do filara międzykomorowego pokazano na rysunku (ryc. 1).

Warunek dotyczący wytrzymałości filara można przedstawić następującym zapisem

$$\gamma_n \cdot H \cdot \left(\frac{\frac{l}{2} + f + \frac{l}{2}}{f}\right) = \frac{R_c}{n} \quad (2)$$

gdzie:

$R_c$  – wytrzymałość na ściskanie skał tworzących filar/*compressive strength of rock-forming pillar*.



Ryc. 1. Schematyczny układ komór przylegających do filara  
Fig. 1. Schematic layout of chambers adjacent to the pillar

$H$  – głębokość zalegania stropu komór/*depth of chamber top*,  $h$  – wysokość komory/filara/*height of chamber or pillar*,

$l$  – szerokość komory/*chamber width*,

$f$  – szerokość filara/*pillar width*

Wykorzystując wyniki badań laboratoryjnych, w trakcie których poddawano ścisaniu prostopadłościanny o podstawie kwadratowej z soli kamiennej, przy zmiennym stosunku szerokości podstawy próbki do jej wysokości, Stamatiu podał zależność empiryczną, która określa wytrzymałość na ściskanie  $R_c$  w odniesieniu do wytrzymałości doraźnej na ściskanie  $R_{co}$ , zbadanej na próbkach sześciennych z uwzględnieniem proporcji próbki (Stamatiu, 1963). Związek ten ma postać:

$$R_c = R_{co} \sqrt{\frac{f}{h}} \quad (3)$$

Równanie (2) po uwzględnieniu zapisu (3) przybierze postać

$$\gamma_n \cdot H \cdot \left(\frac{\frac{l}{2} + f + \frac{l}{2}}{f}\right) = \frac{R_{co}}{n} \cdot \sqrt{\frac{f}{h}} \quad (4)$$

a w wyniku dalszych przekształceń uzyska formę przedstawioną w równaniu (1).

W dalszym ciągu „Instrukcja...” zaleca przeprowadzenie obliczeń kontrolnych, polegających na porównaniu naprężeń pionowych panujących w filarze, które zgodnie z hipotezą Turnera przedstawia wzór (5) (z uwzględnieniem obliczonej szerokości filara):

$$\sigma_z = \gamma_n \cdot H \cdot \left( \frac{l}{2} + f + \frac{l}{2} \right) \quad (5)$$

z wytrzymałością na ściskanie skał budujących filar, ujętą w formule (6):

$$R_c = 0,65 \cdot R_{co} \cdot f(\lambda) \quad (6)$$

gdzie:

$f(\lambda)$  – funkcja zmiany wytrzymałości doraźnej na ściskanie w zależności od smukłości, której wartość należy odczytać z wykresu/function changes the compressive ultimate strength depending on the slenderness of the value to be read from the graph.

Wymiary filara uważa się za prawidłowe, jeżeli zachodzi nierówność (7):

$$\sigma_z \leq R_c \quad (7)$$

Wzór (6) jest wynikiem badań prowadzonych przez Köhlinga, który wyznaczył krzywą określającą zależność pomiędzy smukłością próbki a jej wytrzymałością na ściskanie (Köhling, 1976a, 1976b). Podobnie jak Stamatiu, za wytrzymałość „wzorcową” przyjął doraźną wytrzymałość na ściskanie określoną na próbkach sześciennych.

#### UWAGI KRYTYCZNE

Przedstawiona metodyka projektowania filarów międzykomorowych opiera się na rozwiązaniach analityczno-empirycznych. Podane wzory sprawdziły się w dotychczasowej praktyce, czego dowodem są stateczne wyrobiska np. w Kopalni Soli „Kłodawa”. Należy jednak mieć świadomość, że metody te są niedoskonałe i mają swoje wady. Do najważniejszych można zaliczyć:

- przedstawione wzory dotyczą rozwiązań w wymiarze 2D,
- górotwór traktowany jest jako ośrodek izotropowy,
- nie są uwzględnione własności reologiczne górotworu solnego.

Wymienione mankamenty może „wchłonąć” współczynnik bezpieczeństwa ujęty we wzorze (1). Zgodnie z „Instrukcją...” powinien mieć wartość  $n \geq 1,55$ . Jest to zbieżne z zaleceniami ISRM (International Society for Rock Mechanics) które mówią, że współczynnik bezpieczeństwa w zagadnieniach geomechanicznych powinien wynosić  $n = 1,5$ . Stąd też istotne podnoszenie jego wartości musi być poprzedzone gruntowną analizą, czy jest to rzeczywiście konieczne.

Nieco inaczej kwestia współczynnika bezpieczeństwa wygląda w równaniu (6), gdyż tak naprawdę współczynnik ten nie występuje. Wartość 0,65 w tym wzorze ma związek ze spadkiem wytrzymałości na ściskanie filara solnego na skutek jego długotrwałego obciążenia. Podana wartość współczynnika jest wartością średnią, natomiast w literaturze można spotkać jego wartość w przedziale (0,6 ÷ 0,7).

Z kolei pewną niedogodnością i ryzykiem obarczenia błędem przeprowadzanych obliczeń, wynikającym z subiektywności odczytu, jest konieczność korzystania z wykresu  $f(\lambda)$ . Na szczęście problem ten dość szybko został rozwiązany (Köhling, 1980) poprzez podanie matematycznego zapisu opisującego krzywą  $f(\lambda)$ . Wzór ten ma postać (8):

$$f(\lambda) = 0,63 + 2,95223 \cdot e^{(-2,07 \cdot \frac{\lambda}{f})} \quad (8)$$

Jak wynika z przeprowadzonych badań, w przypadku filarów których długość jest co najmniej 4-krotnie większa od wysokości, wytrzymałość na ściskanie wzrasta o ok. 10% w porównaniu do wytrzymałości określonej na próbkach sześciennych (Piekarz, 1968, 1970). Cecha ta nie znalazła odzwierciedlenia w omawianej metodyce.

Kolejne uproszczenie dotyczy sposobu obliczania obciążenia działającego na filar międzykomorowy. Z założenia „Instrukcja...” nie przewiduje eksploatacji wielopoziomowej. Wzór oparty na hipotezie Turnera (5) przyjmuje, że filar obciążony jest nadkładem od powierzchni do stropu komory. Nie przewiduje ewentualnej korekty obciążenia, wynikającej z istnienia komór powyżej rozpatrywanego poziomu. Zwolennicy „Instrukcji...” stwierdzają, że jest to rozwiązanie po tzw. stronie bezpiecznej, ale z drugiej strony może przyczynić się do niepotrzebnego przewymiarowania filarów i mniej efektywnej gospodarki złożem.

Uwagi krytyczne względem „Instrukcji...” zapewne można by jeszcze mnożyć, wszak powyżej przedstawiono zaledwie część jednego z 24 punktów dotyczących projektowania calizn solnych. Zatem – co dalej?

#### PROPOZYCJA NOWEGO ROZWIĄZANIA

Obecna sytuacja w zakresie projektowania calizn ochronnych w górnictwie solnym wymaga nowych regulacji. Zadaniem czysto prawnym jest delegalizacja obecnej „Instrukcji...”. W tym momencie należałoby zastanowić się, czy naprawdę konieczny jest nowy akt prawny, który będzie regulował omawiane kwestie. Jeżeli tak, to może w węższym zakresie? Rolą inżynierów jest tworzenie rzeczy nowych, natomiast każde narzucone rozwiązanie będzie ograniczało rozwój, a tym samym sprowadzi pracę inżyniera do przeprowadzania mniej lub bardziej skomplikowanych rachunków. Przykładem – zdaniem autora – dobrego rozwiązania w tym zakresie jest budownictwo. Nikt nie narzuca inżynierom, w jaki sposób mają projektować konstrukcje – wymogiem jest to, że mają być zaprojektowane zgodnie ze sztuką inżynierską. Nie oznacza to, że w tej branży nie obowiązują żadne normy i przepisy. Jest ich całkiem sporo. Czy podobnie nie może być w górnictwie solnym? Wszak trudno jest zgeneralizować zastane warunki górniczo-geologiczne i rozwiązywać je za pomocą jednego, narzuconego narzędzia.

Niewątpliwie ciekawą alternatywą dla rozwiązań analityczno-empirycznych są metody numeryczne. W chwili obecnej pozwalają one na zamodelowanie ośrodka skalnego z uwzględnieniem jego budowy wewnętrznej, parametrów wytrzymałościowych, cech reologicznych. Wpisanie do takiego modelu projektowanych wyrobisk nie przedstawia większego problemu, natomiast analiza w przestrzeni 3D pozwala na uzyskanie w miarę pełnego obrazu zachowania się górotworu. Oczywiście i te metody nie są doskonałe, wymagają wielu uproszczeń w budowanym modelu, ale i tak mają znaczną przewagę nad obecnie stosowaną metodą projektowania.

#### PODSUMOWANIE

Przedstawiony w pracy przykład wyraźnie pokazuje, że regulacje prawne nie nadążają za postępem w dziedzinie projektowania górniczego. Branża solna jest specyficzną, raz – ze względu na niszowy charakter tego górnictwa, dwa – ze względu na reologiczny charakter górotworu solnego. Być może mamy do czynienia „z grzechem zaniechania”, wszak przez długie lata w podziemnym górnictwie solnym poza likwidacją kopalń nie działo się nic nowego, nie było żadnych nowych inwestycji. Dopiero ostatnie lata spowodowały, że przy okazji analizowania możliwości przedłużenia życia Kopalni Soli w Kłodawie odkurzone zostały niemal zapomniane dokumenty. A jak wynika z ich analizy, zawarte tam zapisy są obecnie nieco archaiczne, co nie oznacza jednak, że złe. Można tą samą pracę wykonać lepiej i dokładniej za pomocą nowych narzędzi, tyle, że prawodawca w chwili zatwierdzania „Instrukcji...” nie mógł przewidzieć, że takie narzędzia powstaną.

Na tej kanwie warto przeanalizować sytuację złoża solnego w Zakładzie Górniczym „Polkowice-Sieroszowice”. Czy „Instrukcja...” obowiązuje w tej kopalni? Zdaniem autora nie, co wynika z samego tytułu „Instrukcji...”. Złoże soli w kopalni „Polkowice-Sieroszowice” nigdy nie podlegało

Ministrowi Przemysłu Chemicznego ani tym bardziej Zjednoczeniu Kopalnictwa Surowców Chemicznych. W związku z tym mamy obecnie swego rodzaju dualizm: Kopalnia Soli w Kłodawie w rygorach „Instrukcji...” oraz Zakład Górniczy „Polkowice-Sieroszowice” w rygorach sztuki inżynierskiej. Czy ma to sens?

#### LITERATURA / REFERENCES

- Instrukcja określająca szczegółowe zasady projektowania filarów bezpieczeństwa i filarów granicznych w podziemnych zakładach górniczych podległych Ministrowi Przemysłu Chemicznego oraz przy wydobywaniu soli otworami wiertniczymi z powierzchni metodą podziemnego ługowania. Zjednoczenie Kopalnictwa Surowców Chemicznych, Kraków, 1979.
- KŁECZEK Z. 1994 – Geomechanika górnicza. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice.
- KÖHSLING J. 1976a – Metodyka wyznaczania filarów górniczych dla podziemnych kopalń surowców chemicznych. Maszynopis niepublikowany, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych „Chemkop”, Kraków.
- KÖHSLING J. 1976b – Zasady wymiarowania filarów międzykomorowych w podziemnych kopalniach soli kamiennej. Przegląd Górniczy, 12: 536-542.
- KÖHSLING J. 1980 – Warunki bezpieczeństwa podziemnych kopalń soli w wysadach solnych. Przegląd Górniczy, 9: 442-445.
- PIEKARZ J. 1968 – Zależność doraźnej wytrzymałości na ściskanie od rozmiarów i kształtów przebadanych prób solnych. OBR GSCh „Chemkop”, maszynopis niepublikowany.
- PIEKARZ J. 1970 – Wpływ rozmiarów i kształtów filarów na ich zdolność nośną w świetle wyników badań laboratoryjnych. Sympozjum „Postęp techniczny w górnictwie solnym”, Kraków.: 79-99.
- STAMATIU M. 1963 - Rascot celikov na solanych rudnikach. Wyd. Gosgorchimizdat, Moskwa (tłumaczenie z języka rumuńskiego – tytuł oryginału: Problema dimensionarii stîlpilor la minele de sare din RPR. Editura Academiei Republicii Populare Romine, Bucarest, 1959).

Artykuł przygotowano w ramach pracy statutowej AGH nr 11.11.100.775.