

Mirosław CHUDEK  
Politechnika Śląska, Gliwice  
Grzegorz STACHA  
KWK Murcki

## STATECZNOŚĆ OBUDOWY ODRZWIOWEJ, ZAMKNIĘTEJ, ŻELBETOWO-METALOWEJ WYROBISK KORYTARZOWYCH UDOSTĘPNIAJĄCYCH, PRZECIWDZIAŁAJĄCEJ WYCISKANIU SPAGÓW - W ŚWIETLE BADAŃ STANOWISKOWYCH

**Streszczenie.** Zaprojektowana obudowa, żelbetowo-metalowa wyrobisk korytarzowych, udostępniających przeznaczona jest dla warunków górniczo-geologicznych, w których występuje intensywne wyciskanie skał spagowych. W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań stanowiskowych kształtowania się podporności tej obudowy.

## THE LABORATORY TESTS AND ANALYSIS OF THE STABILITY OF THE FOUR-PIECE SET OF LINING (ONE REINFORCED CONCRETE FOOT PIECE AND STEEL ARCS) INSTALLED IN DEVELOPMENT HEADINGS WITH FLOOR HEAVE

**Summary.** New reinforced concrete and steel closed lining design specially against bottom raising is presented. In the paper selected test stand results of the lining supporting are discussed.

### 1. Wprowadzenie

W praktyce górniczej, w warunkach wykonywania wyrobisk udostępniających, w tym szczególnie na dużych głębokościach, często występuje zjawisko nadmiernego ich zaciskania i wypiętrzania spagu. Stan taki powoduje konieczność projektowania i wykonywania wyrobisk o znacznie większych gabarytach niż wynikałoby to z pełnionej przez nie funkcji. W wielu sytuacjach, pomimo przyjęcia odpowiedniego „zapasu” na zaciskanie przekroju

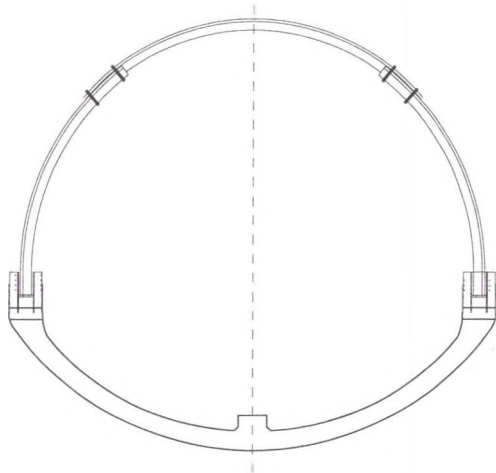
poprzecznego wyrobiska, zachodzi dodatkowa konieczność dokonywania okresowych pobierek spagu oraz wykonywania lokalnych przebudów wyrobiska.

Ograniczanie wypiętrzania spagu należy rozpoczynać na etapie projektowania wyrobiska. W tym celu konieczne jest określenie prognozowanych wielkości wypiętrzania oraz mechanizmów powstawania tego zjawiska, a w następnej kolejności zaprojektowanie oraz zastosowanie odpowiednich środków przeciwdziałających przemieszczaniu się warstw skalnych ze spagu do przestrzeni wyrobiska.

W niniejszym artykule zawarto proponowane rozwiązanie ograniczenia wypiętrzania spagu poprzez zastosowanie obudowy zamkniętej metalowo-żelbetowej.

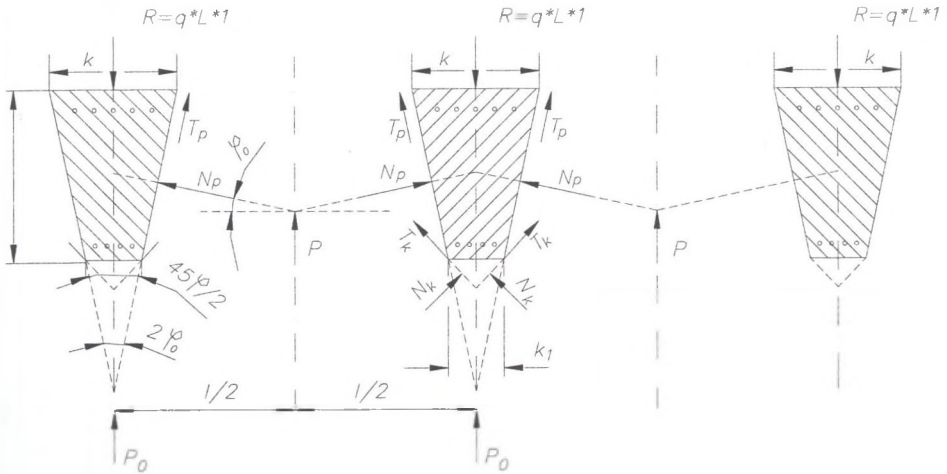
## 2. Konstrukcja obudowy i zasady jej współpracy z górotworem

W strefach przewidywanego wyciskania skał spagowych planowane jest stosowanie obudów o konstrukcji zamkniętej. Jako element zabezpieczający spag proponuje się stosowanie spagownic dwudzielnych, wykonanych jako elementy prefabrykowane żelbetowe. Taka konstrukcja spagownicy zezwala na łatwiejszy jej transport oraz na stosunkowo proste zabudowanie w drażonym wyrobisku. Spagownica żelbetowa o przekroju trapezowym ma pracować na zasadzie wciskania w spag wyrobiska. Dzięki klinowemu położeniu boków występująca siła tarcia dodatkowo hamuje wyciskanie spagu między spagownicami.



Rys. 2.1. Schemat konstrukcji obudowy stalowej podatnej ze spagownicą żelbetową dwudzielną  
Fig. 2.1. Schematic view of the four-piece set of lining (reinforced concrete foot piece in two adjacent parts)

Projektowana spągownica ma kształt klinowy, który pod wpływem wciskania w spąg wyrobiska rozpiera na boki materiał skalny w sposób przedstawiony na rys. 2.2.



Rys. 2.2. Siły działające na spągownicy podczas wgnięcia się ich w spąg wyrobiska  
 Fig. 2.2. Force diagram of foot piece indented in floor layer

Z warunku równowagi rzutu sił na oś pionową wynikają zależności:

$$q_p * L * 1 = 2 * T_p \cos \phi_o + 2 * T_k * \cos \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) = 2 * T_p * \cos \phi_o + P_o \leq R,$$

gdzie:

$q_p$  – parcie spągowe,

$P_o$  – odpór spągu na dolną powierzchnię spągownicy,

$L$  – odległość między odrzwiami obudowy,

$\phi$  – kąt tarcia wewnętrznych zruszonych warstw spągowych,

$\phi_o$  – kąt pochylenia bocznej ścianki profilu spągownicy, który przyjęto, że jest zbliżony do kąta tarcia wewnętrznych spągu  $\phi_o \approx \phi \approx 20^\circ$ ,

$T_p$  – siła ścinania podłoża względem spągownicy

$$T_p = c_p * \sqrt{g^2 + \left( \frac{k - k_1}{2} \right)^2} + N_p * \mu_p$$

$g$  – grubość spągownicy,

$k$  – szerokość spągownicy w węższej podstawie trapezu,

$k_1$  – szerokość spągownicy w szerszej podstawie trapezu,

$c_p$  – kohezja podłoża względem spągownicy, którą w przybliżonych obliczeniach pominięto,

$\mu_p$  – współczynnik tarcia podłoża względem spągownicy,

$N$  – boczny rozpór klina,

$P_o$  – odpór spągu na dolną powierzchnię spągownicy,

$$P_o = 2 * T_p * \cos\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$$

$T_k$  – opór ścinania spągownicy,

$$T_k = c * \frac{2 * k_1}{2 * \sin\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} + \frac{k_1}{\sin\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} * \sigma_1 * \mu_1$$

$\sigma_1$  – naprężenia pionowe przy dolnej powierzchni spągownicy,

$$\sigma \cong A * q_p + R_{op}$$

$$A = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

$\varphi$  – kąt tarcia wewnętrznej rozpatrywanej warstwy skalnej, [°].

Z podanego równania wynika, jak będzie zachowywała się spągownica.

Jeżeli siła  $R$  oddziaływania spągownicy na 1 m.b. szerokości wyrobiska będzie mniejsza od oporu wciskania w spąg, to wówczas będzie ona dźwigana do góry razem z warstwami spągu. Gdy siła  $R$  będzie większa od oporu podłoża spągu wyrobiska, to wystąpi wciskanie spągownicy w spąg wyrobiska.

W sytuacji gdzie w początkowej fazie będzie duży wpływ rozmakania spękanego spągu na osłabienie resztkowej wytrzymałości zruszonego spągu i zmniejszenie kąta tarcia, a następnie stopniowe osuszanie warstw i wzrost resztkowej wytrzymałości, jak i kąta tarcia wewnętrznej, może wystąpić zahamowanie wyciskania spągu.

W przypadku gdy siła tarcia spągownicy o belkę oporową, jak i tarcie łuku ociosowego, o skałę będzie zbliżona do siły  $R$  wciskania w spąg wyrobiska, to wystąpi wgniatanie spągownicy w spąg wyrobiska, jak i przemieszczenie łuków ociosowych ku górze, powodując dalsze zsuwy w złączach odrzwi obudowy.

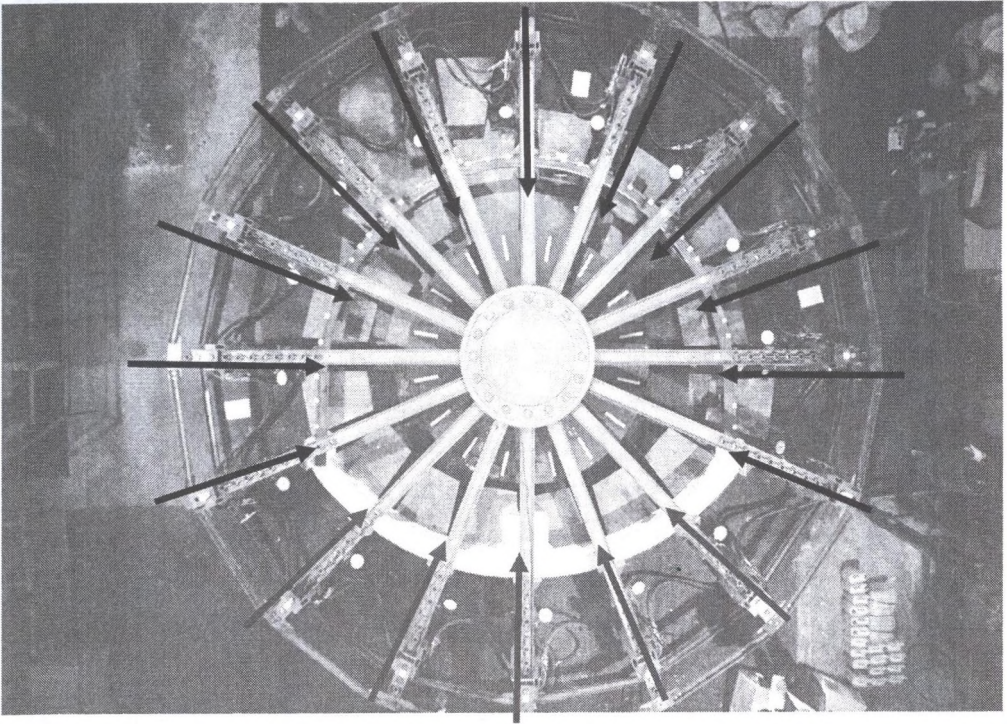
### 3. Przebieg i wyniki badań stanowiskowych

Badania stanowiskowe modelu obudowy w skali 1:1 wykonano w stanowisku do badań obudów chodnikowych w Katedrze Geomechaniki Budownictwa Podziemnego i Zarządzania



Ochroną Powierzchni Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Stanowisko badawcze spełnia wszystkie wymagania odnoszące się do metodyki badań, zawarte w normie [PN-92/G-15000/15], oprócz regulacji kątów nachylenia siłowników.

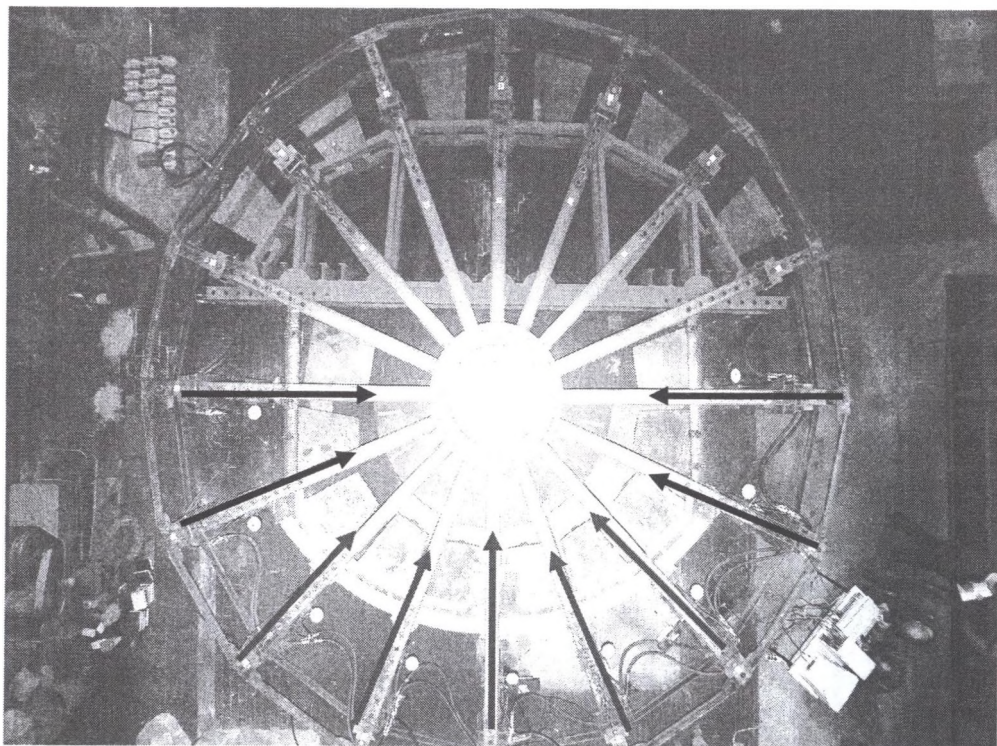
Metodę prowadzenia badań oraz sposób pomiarów przemieszczeń, odkształceń (podporności) odrzwiowej obudowy żelbetowo-metalowej dostosowano do przyjętego schematu obciążania obudowy.

Dla celów prowadzenia badań obudowy żelbetowo-metalowej przeciwdziałającej wyciskaniu spągu wyrobisk przyjęto, że obciążenie czynne będzie działało na spągnicę żelbetową przy zastosowaniu obudowy łukowej jako **szytywnej** w poszczególnych seriach **badania 2** (rys.3.1) - i jako **podatnej** w poszczególnych seriach **badania 1** (rys. 3.2).



Rys. 3.1. Schemat obciążenia w stanowisku badawczym przy badaniach obudowy metalowo-żelbetowej  
Fig. 3.1. Schematic view of loading of the four-piece set of lining (reinforced concrete foot piece and steel arcs) in laboratory tests

gdzie:  
 - obciążenie bierne,  
 - obciążenie czynne.



Rys. 3.2. Schemat obciążenia w stanowisku badawczym przy badaniach podporności spągownicy żelbetowej  
Fig. 3.2. Schematic view of loading of the reinforced concrete foot piece in laboratory capacity tests

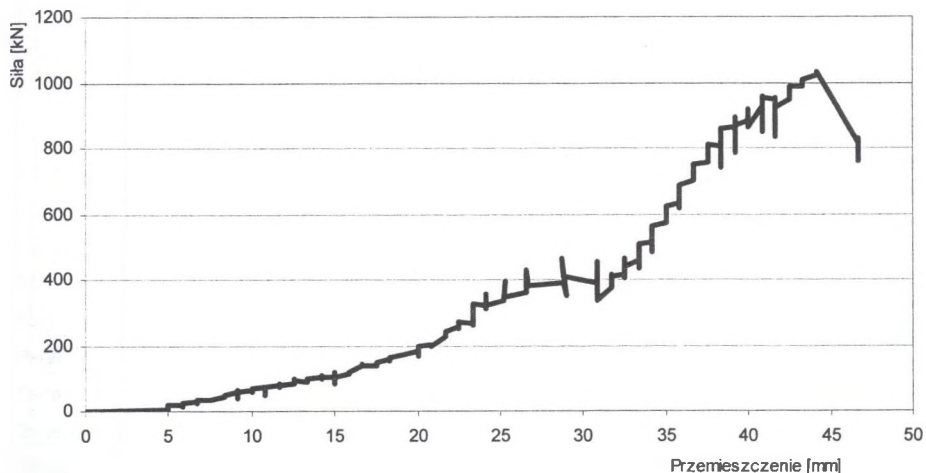
W trakcie badań prowadzono pomiary:

- obciążeń czynnych i biernych działających na obudowę,
- przemieszczeń liniowych punktów zastabilizowanych na obudowie,
- przemieszczeń kątowych punktów zastabilizowanych na obudowie.

Pomiary te wykonano przy pomocy wieloprocesorowego, modułowego systemu komputerowego czasu rzeczywistego WSRD (Wielokanałowy System Rejestracji Danych).

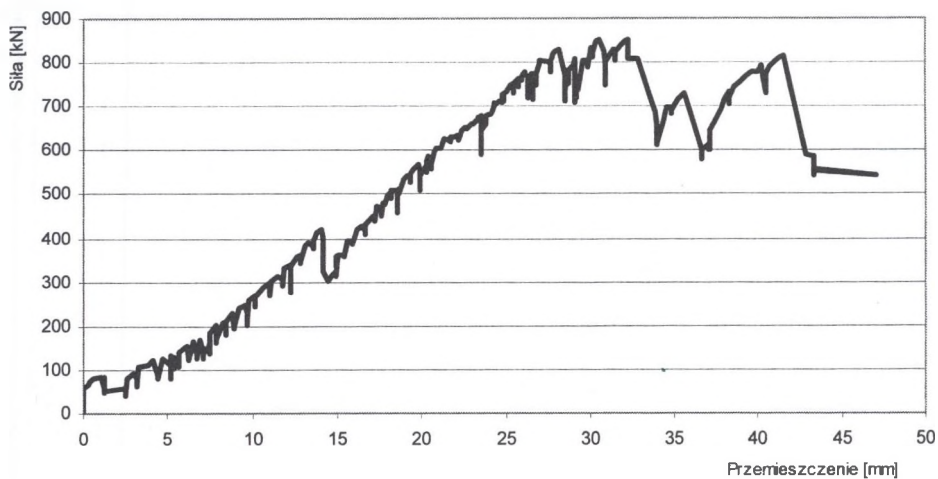
Przykładowe wykresy uzyskanych pomiarów pokazują rysunki 3.3 i 3.4.

Uzupełnieniem pomiarów była pełna dokumentacja fotograficzna, realizowana w trakcie badań, jak i po ich zakończeniu. Następnie wykonane zdjęcia poddano obróbce cyfrowej. Tak przygotowane obrazy cyfrowe zdjęć, w celu uzyskania danych przemieszczeń, zeskalowano i zinterpretowano wg wspólnego układu współrzędnych. Przykładowy wykres przemieszczeń pokazuje rys. 3.5.



Rys. 3.3. Wykres obciążenia i przemieszczeń punktu zastabilizowanego w połowie długości połówki spagownicy dwudzielnej

Fig. 3.3. The load-displacement curve for the point located in the center of one part of the reinforced concrete foot piece

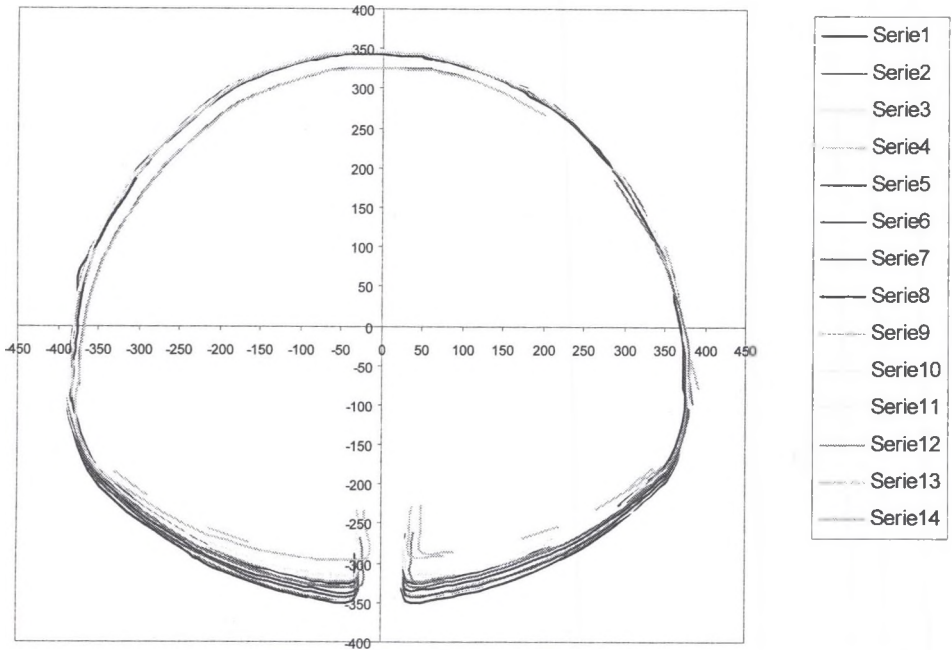


Rys. 3.4. Wykres obciążenia i przemieszczeń w punkcie zastabilizowanym na końcu spagownicy dwudzielnej

Fig. 3.4. The load-displacement curve for the point located in the end of one part of the reinforced concrete foot piece

W wyniku badań stanowiskowych spagownicy żelbetowej, współpracującej z odrzwiami obudowy stalowej typu ŁP, można stwierdzić, że konstrukcja spagownicy jest znacznie bardziej wytrzymała od obudowy stalowej i z powodzeniem, bez wyraźnych oznak zniszczenia, przenosiła obciążenie rzędu 350 kN. Natomiast maksymalne, szczytowe obciążenie jakie przeniosła spagownica w trakcie badań wyniosło 700kN.

Powyższe wartości zostały uzyskane przy równomiernym obciążeniu spagownicy od strony grzbietowej przez 5 siłowników hydraulicznych i dobrym rozparciu końców bocznych o konstrukcję stanowiska badawczego.



Rys. 3.5. Wykres przemieszczeń punktów zastabilizowanych na odrzwiach obudowy żelbetowo-metalowej  
Fig. 3.5. Displacements of the four-piece set of lining (reinforced concrete foot piece and steel arcs)

#### 4. Analiza wyników badań stanowiskowych

Podstawowym zadaniem przeprowadzonych badań stanowiskowych było ustalenie podporności badanej obudowy metalowo-żelbetowej wraz z określeniem jej przydatności do zabezpieczenia prognozowanego wypiętrzania spagu.

W trakcie badań obudowy przyjęto najbardziej niekorzystny schemat obciążenia obudowy, przy obciążeniu czynnym działającym na spagownicę żelbetową.

W efekcie przeprowadzonych badań stwierdzono, że podporność obudowy metalowo – żelbetowej jest nie mniejsza niż 3,5 MPa. Badania stanowiskowe wykazały poprawność obliczonej konstrukcji spagownicy.

Biorąc pod uwagę przebieg badań stanowiskowych stwierdzić można, że przy dokręceniu złącz obudowy chodnikowej wartością odpowiadającą typowi obudowy, tj. 250 Nm nie



dochodziło do żadnych odkształceń spagownicy żelbetowej, z czego wyciągnąć można wniosek, że przy prawidłowym doborze rozstawu obudowy chodnikowej nie dojdzie, przy prognozowanej wielkości parcia spagu, do deformacji kompletu obudowy metalowo-żelbetowej. Dopiero przy dokręceniu strzemion obudowy do wartości 400 Nm, czyli przewyższającej o 37,5% wymaganą nośność złącz, doszło do uszkodzenia elementów spagownicy, co świadczy o dobrej współpracy poszczególnych elementów obudowy.

## 5. Podsumowanie

Wykorzystując ocenę dotychczasowych sposobów przeciwdziałania wypiętrzaniu skał spagowych w wyrobiskach korytarzowych można użyć stwierdzenia, że dotychczas nie ma rozwiązania techniczno-technologicznego eliminującego to zjawisko.

Dlatego też, podjęto próbę opracowania obudowy odrzwiowej metalowo-żelbetowej umożliwiającej minimalizację (eliminację) wyciskania spagów, szczególnie w trudnych warunkach geomechanicznych w odniesieniu do wyrobisk korytarzowych udostępniających.

Przeprowadzona analiza warunków wyciskania skał spagowych w wyrobiskach korytarzowych, zaprojektowana obudowa zapobiegająca temu zjawisku oraz przeprowadzone badania stanowiskowe odrzwiowej obudowy metalowo-żelbetowej pozwoliły na opracowanie poniższych wniosków końcowych:

- ✓ Na podstawie obserwacji dołowych napotkanych w dostępnej literaturze, należy stwierdzić, że zastosowanie obudów zamkniętych zmniejsza wypiętrzanie spagu w stosunku do obudów o odrzwiach otwartych.
- ✓ Spagownica żelbetowa o przekroju trapezowym ma pracować na zasadzie wgniotu (wciskania) w spąg wyrobiska. Dzięki klinowemu położeniu boków występująca siła tarcia hamuje wyciskanie spagu między spagownicami.
- ✓ Do obliczeń projektowanej spagownicy żelbetowej wykorzystano zalecenia podane w normach BN-82/ 0434-07 i BN-79/0434-04 oraz udoskonalone wzory na obliczanie ciśnienia górotworu na obudowę oraz prognozowania zaciskania wyrobisk, dokonując ich przystosowania z wyrobisk pionowych o przekroju kołowym na wyrobiska chodnikowe o kształcie zbliżonym do obudowy ŁP.
- ✓ Dla celów prowadzenia badań obudowy żelbetowo-metalowej przeciwdziałającej wyciskaniu spagu wyrobisk wykonano spagownice żelbetowe w skali 1:1. W trakcie

badania, na stanowisku do badań obudów wyrobisk korytarzowych i szybowych w Katedrze Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Zarządzania Ochroną Powierzchni, przyjęto, że obciążenie czynne będzie działało na spągownicę żelbetową przy zastosowaniu obudowy łukowej jako sztywnej i jako podatnej.

- ✓ W trakcie badań obudowy przyjęto najbardziej niekorzystny schemat jej obciążenia, tj. przy obciążeniu czynnym działającym na spągownicę żelbetową. W efekcie przeprowadzonych badań stwierdzono, że podporność obudowy metalowo – żelbetowej jest nie mniejsza niż 3,5 MPa. Badania stanowiskowe wykazały poprawność obliczonej konstrukcji spągownicy.
- ✓ Z analizy przebiegu badań stanowiskowych wynika, że przy dokręceniu złącz obudowy chodnikowej wartością odpowiadającą typowi obudowy, tj. 250 Nm, nie dochodziło do żadnych odkształceń spągownicy żelbetowej, z czego wyciągnąć można wniosek, że przy prawidłowym doborze rozstawu obudowy chodnikowej nie dojdzie, przy prognozowanej wielkości parcia spągu, do deformacji kompletu obudowy metalowo-żelbetowej. Dopiero przy dokręceniu strzemion obudowy do wartości 400 Nm, czyli przewyższającej o 37,5% wymaganą nośność złącz doszło do uszkodzenia elementów spągownicy, co świadczy o dobrej współpracy poszczególnych elementów obudowy.
- ✓ W wyniku przeprowadzonych badań stanowiskowych można stwierdzić, że w warunkach wyciskania skał spągowych konstrukcja żelbetowa powinna przenieść spodziewane obciążenia, a proponowana konstrukcja obudowy stalowo-żelbetowej jest poprawna i możliwa do zastosowania w warunkach dołowych, w kopalniach węgla kamiennego.

## LITERATURA

1. Chudek M.: Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych i ich połączeń. Wyd. Śląsk. Katowice 1987.
2. Chudek M.: Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni. Wyd. Pol. Śląskiej. Gliwice 2002.
3. Stacha G.: Stateczność obudowy odrzwiowej, żelbetowo metalowej na dużych głębokościach, przeciwdziałających wyciskaniu spągów – w świetle badań stanowiskowych. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice, 2005 r. Niepublikowana.