

BEATA BORSKA  
DAWID SZURGACZ  
JAN GIL

## Rozwój układu doładowania dla zapewnienia podporności zmechanizowanej obudowy ścianowej

*Zmechanizowana obudowa ścianowa stanowi podstawowe zabezpieczenie w ścianie wydobywczej. Jej zasadniczym zadaniem jest utrzymanie stropu znajdującego się nad wyrobiskiem ścianowym. Tym samym obudowa musi mieć zdolność do stawiania oporu górotworowi, który stara się zacisnąć wyrobisko górnicze. Siła, z jaką obudowa działa na strop wyrobiska, nazywana jest podpornością. W artykule opisano problematykę podporności zmechanizowanej obudowy ścianowej. Dokonano przeglądu układów doładowania. Jako cel pracy przyjęto zapewnienie uzyskania wymaganej podporności wstępnej i utrzymania podporności roboczej. W tym zakresie przedstawiono uzyskane wyniki badań nad prototypowym podwójnym blokiem z automatycznym doładowaniem ciśnienia. Artykuł uwzględnia wyniki badań stanowiskowych oraz eksploatacyjnych w warunkach rzeczywistych.*

*Słowa kluczowe: zmechanizowana obudowa ścianowa, stojak hydrauliczny, podporność, badania stanowiskowe, badania w warunkach rzeczywistych*

### 1. WPROWADZENIE

Górnictwo jest istotną gałęzią gospodarki wielu krajów, w tym Polski. Surowce mineralne od wieków pozyskiwane są przez człowieka, a ich wykorzystanie stanowi podstawę rozwoju przemysłu i umożliwia postęp techniczny. Przy obecnym poziomie rozwoju gospodarczego prowadzonej działalności górniczej stawia się coraz wyższe wymagania. Są one przede wszystkim ukierunkowane na ograniczenie niekorzystnego wpływu na środowisko [1] oraz poprawę bezpieczeństwa pracy [2, 3]. Jednocześnie pogarszające się warunki górniczo-geologiczne, związane z wybieraniem coraz trudniej dostępnych złóż, wymagają jeszcze większej wydajności i efektywności prowadzonych robót dla zapewnienia ekonomicznej opłacalności [4]. Wzrost głębokości prowadzonej eksploatacji złóż powoduje też narastanie zagrożeń naturalnych i konieczność ciągłego rozwoju w zakresie ich zwalczania [5, 6].

W górnictwie węgla kamiennego istotne znaczenie ma rozwój zmechanizowanych kompleksów ścianowych [7–9]. Kompleks ścianowy to zespół maszyn stanowiących podstawowe wyposażenie ściany wydobywczej. Służą on do mechanizacji procesu urabiania,

ładowania oraz transportu urobku. W skład zmechanizowanego kompleksu ścianowego wchodzi maszyna urabiająca, przenośnik oraz obudowa zmechanizowana [10]. Maszyny te charakteryzuje wzajemna współzależność konstrukcyjna i ruchowa, pracują one w systemie szeregowym. Oznacza to, że awaria jednej z nich powoduje postój całego kompleksu, a tym samym wstrzymanie prowadzonego wydobycia. Zatem dla utrzymania założonego wydobycia istotna jest niezawodna praca każdego elementu kompleksu ścianowego [11].

Autorzy artykułu podjęli temat poprawy niezawodności zmechanizowanej obudowy ścianowej. Tematyka ta ma szczególne znaczenie z uwagi na pogarszające się warunki pracy obudowy. Prowadzenie wydobycia węgla w coraz niżej położonych pokładach generuje wzrost obciążeń, jakie obudowa musi być w stanie przenieść. Coraz więcej pokładów eksploatowanych jest w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu. Zatem obudowa, oprócz przejmowania obciążeń statycznych, narażona jest na dynamiczne oddziaływanie górotworu [12]. W związku z tym prowadzone są badania stanowiskowe w zakresie dynamicznego obciążenia obudowy zmechanizowanej [13–15]. Wyniki badań stanowiskowych uzupełniane są o badania modelowe oraz badania *in situ* [15–17].

W niniejszej pracy podjęto problem podporności obudowy zmechanizowanej. Ma to znaczenie dla prawidłowego utrzymania stropu wyrobiska, a tym samym zachowania bezpieczeństwa podczas prowadzenia eksploatacji [18]. Zatem celem podjętej przez autorów pracy było zapewnienie uzyskania wymaganej podporności wstępnej i utrzymania podporności roboczej. Cel ten ma być osiągnięty przez wprowadzenie zmiany w układzie hydraulicznym stojaka. Zmiana ta polega na zastąpieniu tradycyjnego bloku stojakowego przez podwójny blok z automatycznym doładowaniem ciśnienia. Dla potwierdzenia słuszności przyjętej koncepcji i sprawdzenia poprawności pracy proponowanego układu przeprowadzone zostały badania stanowiskowe oraz eksploatacyjne. Uzyskane wyniki badań zaprezentowano w niniejszym artykule.

## 2. PODPORNÓŚĆ ZMECHANIZOWANEJ OBUDOWY ŚCIANOWEJ

Przez podporność obudowy zmechanizowanej rozumie się siłę, z jaką obudowa działa na strop wyrobiska. W trakcie pracy obudowy zmechanizowanej można wyróżnić następujące rodzaje podporności [10]:

- podporność wstępną ( $P_w$ ),
- podporność roboczą ( $P_R$ ),
- podporność nominalną ( $P_N$ ).

Podporność sekcji obudowy zmechanizowanej opisują następujące zależności:

$$P_w = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p_{zas,N} \quad (1)$$

$$P_R = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p_{rob,N} \quad (2)$$

$$P_N = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p_{nom,N} \quad (3)$$

gdzie:

- $d$  – średnica robocza stojaka [m],
- $p_{zas}$  – ciśnienie zasilania [Pa],
- $p_{rob}$  – ciśnienie robocze (ciśnienie otwarcia zaworów bezpieczeństwa) [Pa],
- $p_{nom}$  – ciśnienie nominalne [Pa].

Podporność wstępną uzyskuje się w momencie rozparcia obudowy i zależy ona od ciśnienia występującego w magistrali zasilającej ścianę. Po przejściu przez obudowę nacisku skał stropowych sekcja stopniowo zwiększa podporność do wartości roboczej, przy której stojak ujawnia swoją podatność. Zależy ona od ciśnienia otwarcia zaworu bezpieczeństwa w stojakowym

bloku zaworowym. Natomiast podporność nominalna to maksymalna siła, na którą została zaprojektowana sekcja obudowy zmechanizowanej [10].

O podporności sekcji w dużym stopniu decydują parametry stojaków hydraulicznych – ich średnica oraz ciśnienie w przestrzeni podtłokowej. Zatem dla zapewnienia prawidłowej pracy obudowy konieczne jest utrzymanie odpowiedniego ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaków.

## 3. PRZEGLĄD UKŁADÓW DOŁADOWANIA PODPORNÓŚCI ZMECHANIZOWANEJ OBUDOWY ŚCIANOWEJ

Zmechanizowana obudowa ścianowa zasilana jest z sieci hydraulicznej cieczą pod ciśnieniem. Kopalniana sieć hydrauliczna składa się zazwyczaj z centralnej stacji pomp zabudowanej pod ziemią oraz z przewodów hydraulicznych doprowadzających ciecz do ścian wydobywczych. Zwykle jeden rurociąg doprowadza medium pod ciśnieniem do obudowy (rurociąg ciśnieniowy), a drugi odprowadza ciecz z obudowy z powrotem do stacji pomp (rurociąg odpływowy). Wzdłuż wyrobisk ścianowych poprowadzone są przewody magistralne – jeden doprowadzający ciecz do poszczególnych sekcji (magistrala zasilająca) i drugi odprowadzający medium z sekcji (magistrala spływowa). W magistrali zasilającej znajduje się ciecz pod ciśnieniem około 20–30 MPa. Kopalniana sieć hydrauliczna pracuje w obiegu zamkniętym. Medium hydrauliczne przemieszcza się ze stacji pomp do obudowy i z powrotem. Przepływowi cieczy towarzyszą duże opory ruchu i spadki ciśnienia. Ciśnienie cieczy w magistrali zasilającej ulega sporym wahaniom, co wpływa niekorzystnie na osiąganą przez sekcję podporność wstępną.

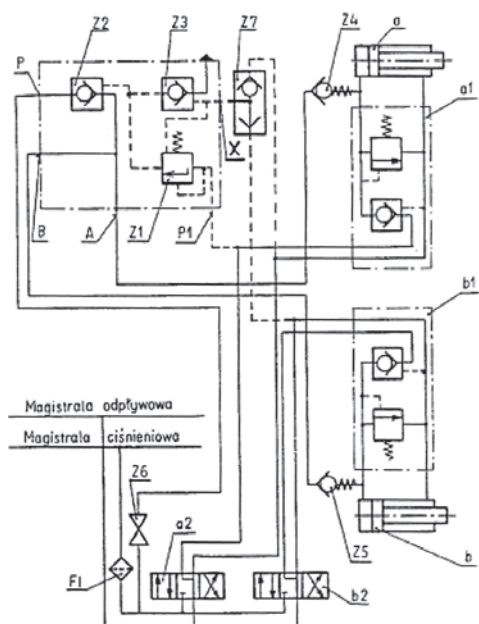
Podporność wstępną zależy bezpośrednio od ciśnienia cieczy, jakie było w magistrali zasilającej w chwili rozpierania danej sekcji [19]. Na podporność wstępną obudowy, oprócz chwilowej wartości ciśnienia w magistrali zasilającej, ma również wpływ czynnik ludzki. Operator może rozprzeć obudowę słabiej lub mocniej. Z powyższych powodów podporność wstępną będzie różna w poszczególnych sekcjach obudowy [19]. Tym samym sekcje będą wywierały różnicowane naciski na strop wyrobiska, powodując powstawanie naprężeń o różnych wartościach nad kolejnymi sekcjami. W konsekwencji może dochodzić do pęknięć i kruszenia stropu, co utrudnia prowadzenie eksploatacji. Ponadto w wyniku spadków ciśnienia w magistrali zasilającej oraz błędów ludzkich podczas rozpierania obudowy sekcje mogą nie osiągnąć wymaganej podporności wstępnej. Zbyt niska podporność może prowadzić do

nadmiernego osiadania skał stropowych i występowania rozwarstwień, co w konsekwencji może skutkować opadami i obwałami skał stropowych [20].

Aby zapobiec tej niekorzystnej sytuacji, poszukuje się rozwiązań umożliwiających uzyskanie wymaganego ciśnienia w przestrzeniach podtłokowych stojaków i minimalizowanie różnic w podporności poszczególnych sekcji. W tym celu opracowane zostały różnego rodzaju urządzenia do doładowania podporności sekcji obudowy zmechanizowanej [21].

### 3.1. Urządzenie firmy Hans Berger Meßtechnik GmbH

Urządzenie firmy Hans Berger Meßtechnik (rys. 1) umożliwia jednoczesne doładowywanie dwóch stojaków.



Rys. 1. Układ podpornościowy stojaka z zastosowaniem urządzenia firmy Hans Berger Meßtechnik GmbH [21]

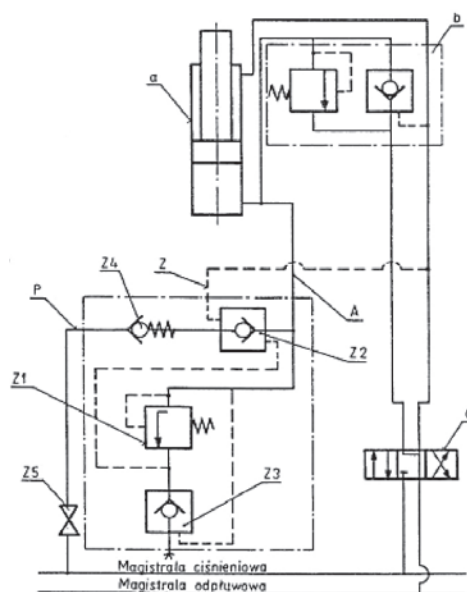
a, b – stojak hydrauliczny, a1, b1 – blok zaworowy, a2, b2 – rozdzielacz hydrauliczny, A, B, P, P1, X – przyłącze, Z1 – zawór progowy, Z2, Z3 – zawór zwrotny sterowany, Z4, Z5 – zawór zwrotny, Z6 – zawór odcinający, Z7 – przełącznik obiegu, F1 – filtr

Przepływ doładowania jest zamykany i otwierany przez zawór Z2. Z przyłącza P wyprowadzone jest bezpośrednie połączenie urządzenia do magistrali zasilającej przez zawór odcinający Z6 oraz filtr F1. Urządzenie do doładowania zaczyna samoczynnie działać, gdy ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka osiągnie wartość nastawioną na zaworze progowym Z1. Gdy ciśnienie w przestrzeniach podtłokowych stojaków zrówna się z ciśnieniem w magistrali zasilającej, urządzenie doładowujące przestaje pracować. W przy-

padku spadku ciśnienia w przestrzeniach podtłokowych układ doładowania zostaje automatycznie włączony.

### 3.2. Urządzenie firmy Richard Voß Grubenausbau GmbH

Urządzenie firmy Richard Voß (rys. 2) umożliwia doładowanie tylko jednego stojaka. W czasie rozpie-rania sekcji ciecz dopływa do przestrzeni podtłokowej stojaka i jednocześnie do przyłącza A urządzenia do doładowania. W momencie, kiedy wartość ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka przekroczy wartość nastawy zaworu progowego, układ doładowania zostaje włączony. Wówczas możliwy jest przepływ cieczy z magistrali zasilającej do przestrzeni podtłokowej stojaka. Tym samym rozpoczyna się doładowanie.



Rys. 2. Układ podpornościowy stojaka z zastosowaniem urządzenia firmy

Richard Voß Grubenausbau GmbH [21]

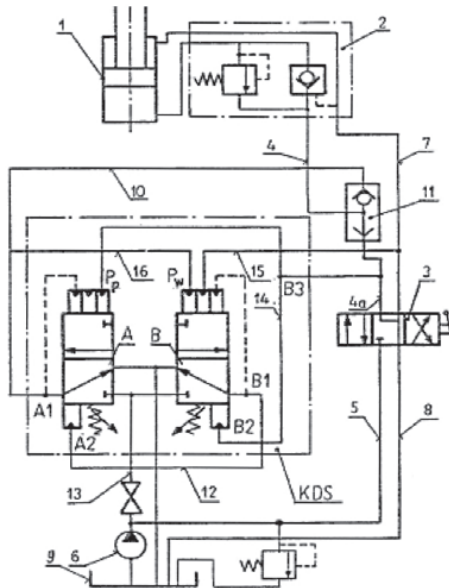
a – stojak hydrauliczny, b – blok zaworowy, c – rozdzielacz hydrauliczny, A, P, Z – przyłącze, Z1 – zawór progowy, Z2, Z3 – zawór zwrotny sterowany, Z4 – zawór zwrotny, Z5 – zawór odcinający

W chwili gdy ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka zrówna się z ciśnieniem w magistrali zasilającej, zawór Z4 zostaje zamknięty, a doładowanie ustaje. Po jakimkolwiek spadku ciśnienia w przestrzeni podtłokowej urządzenie ponownie realizuje doładowanie – aż do wyrównania ciśnień w magistrali zasilającej z ciśnieniem pod tłokiem stojaka.

### 3.3. Urządzenie KDS firmy KOMAG

Urządzenie KDS firmy KOMAG (rys. 3) zbudowane jest z dwóch zaworów rozdzielająco-progowych A i B.

Zawór A nastawiony jest na ciśnienie progowe, czyli ciśnienie, przy którym włącza się doładowanie. Natomiast na zaworze B nastawione jest założone ciśnienie wstępne obudowy.

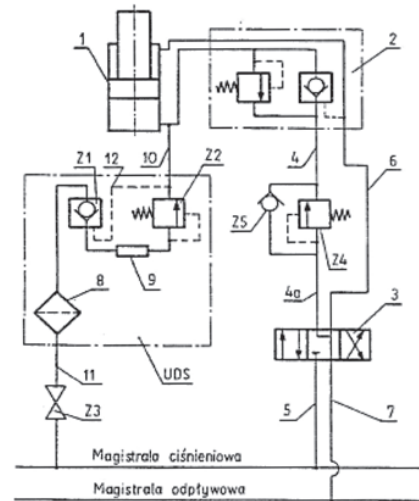


Rys. 3. Układ podpornościowy stojaka z zastosowaniem urządzenia KDS firmy KOMAG [21]  
1 – stojak hydrauliczny, 2 – blok zaworowy, 3 – rozdzielacz hydrauliczny, 4, 4a, 5, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16 – przewód hydrauliczny, 6 – pompa, 9 – zbiornik, 11 – przełącznik obiegu, A, B – zawór rozdzielająco-progowy, A1, A2, B1, B2, B3 – przyłącze

Gdy ciśnienie cieczy w przestrzeni podtłokowej stojaka przekroczy wartość, na którą nastawiony jest zawór A, zostaje on włączony. W tym samym momencie wyłącza się zawór B. Powoduje to uruchomienie doładowania. W momencie gdy ciśnienie pod tłokiem osiągnie wartość założonej podporności wstępnej, zawór A zostaje wyłączony i jednocześnie zawór B włączony. Wówczas doładowanie stojaka ustaje.

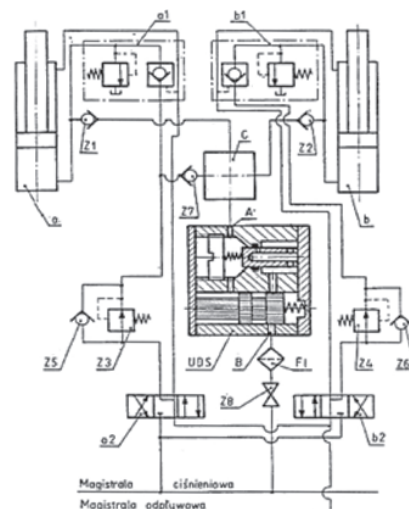
### 3.4. Urządzenie UDS konstrukcji J.B. Gwiazdy

Urządzenie UDS (rys. 4) przeznaczone jest do współpracy z jednym stojakiem i stanowi ono dodatkowy element w układzie hydraulicznym. Podczas rozpierania obudowy dopływająca do stojaka ciecz, przy odpowiednim wzroście ciśnienia w przestrzeni podtłokowej, otwiera zawór Z1, uruchamiając doładowanie. Urządzenie UDS pozwala na doładowanie cieczą o określonym ciśnieniu. Ciśnienie to regulowane jest przez odpowiednie nastawy zaworów progowych Z2 i Z4. Po rozparciu obudowy w przypadku spadku ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka doładowanie zostanie aktywowane.



Rys. 4. Układ podpornościowy stojaka z zastosowaniem urządzenia UDS J.B. Gwiazdy [21]  
1 – stojak hydrauliczny, 2 – blok zaworowy, 3 – rozdzielacz hydrauliczny, 4, 4a, 5, 6, 7, 10, 11, 12 – przewód, 8 – filtr, 9 – dysza, Z1 – zawór zwrotny sterowany, Z2, Z4 – zawór progowy, Z3 – zawór odcinający, Z5 – zawór zwrotny

Zmodernizowana wersja urządzenia UDS (rys. 5) charakteryzuje się możliwością regulacji natężenia dopływu cieczy doładowania. Ponadto urządzenie to doładowuje obydwie stojaki sekcji obudowy zmechanizowanej. Podczas rozpierania sekcji obudowy ciecz płynąca do stojaka jednocześnie dopływa do urządzenia UDS. Gdy ciśnienie cieczy dopływającej do stojaka osiągnie wartość ciśnienia inicjującego działanie urządzenia UDS, otwarty zostaje przepływ cieczy doładowania.



Rys. 5. Układ podpornościowy stojaka z zastosowaniem zmodernizowanego urządzenia UDS konstrukcji J.B. Gwiazdy [21]  
a, b – stojak hydrauliczny, a1, b1 – blok zaworowy, a2, b2 – rozdzielacz hydrauliczny, c – czwórnik, A, B – przyłącze, Z1, Z2, Z5, Z6, Z7 – zawór zwrotny, Z3, Z4 – reduktor ciśnienia, Z8 – zawór odcinający, F1 – filtr



### 3.5. Układ aktywnego podtrzymania ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej firmy Elsta

Układ aktywnego podtrzymania ciśnienia firmy Elsta (rys. 6) charakteryzuje się automatycznym diagnozowaniem stanu ciśnienia w stojakach i możliwością dozowania ciśnienia. Kluczowymi elementami układu aktywnego monitoringu sekcji obudowy zmechanizowanej są czujniki podtrzymywania ciśnienia  $\mu$ RUFUS, które składają się m.in. z urządzeń wyposażenia elektronicznego i elektrycznego, hydraulicznego bloku sterowania elektrozaworem, zaworów hydraulicznych oraz przewodów transmisyjnych. Zabudowany na stojaku elektrozawór kontroluje jego ciśnienie. W razie zadania przez operatora zbyt niskiego ciśnienia na stojak hydrauliczny automatycznie włącza się system wspomagania i koryguje stan podporności sekcji [22].

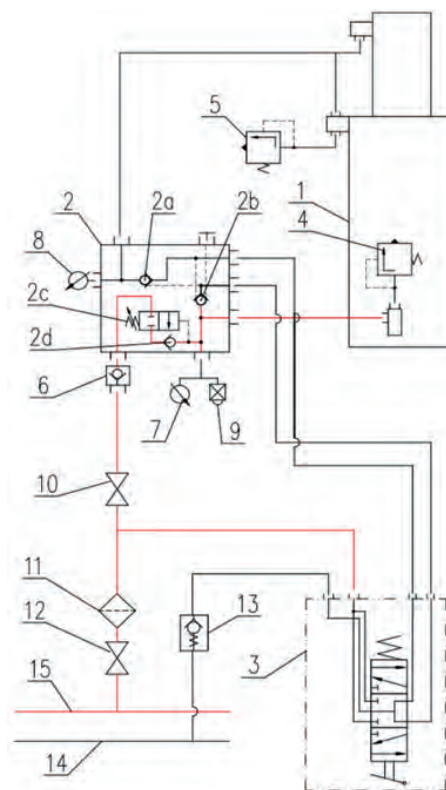


Rys. 6. Układ aktywnego podtrzymania ciśnienia firmy Elsta [22]

### 4. PODWÓJNY BLOK Z AUTOMATYCZNYM DOŁADOWANIEM CIŚNIENIA

W zakresie doładowania podporności obudowy zmechanizowanej autorzy artykułu proponują własny układ (rys. 7), opierający się na prototypowym podwójnym bloku z automatycznym doładowaniem ciśnienia (2). Proponowany blok (2) zbudowany jest z zaworu progowego (2c) z zaworem zwrotnym (2d). Umieszczony zawór progowy (2c) w bloku ma nastawę ciśnienia otwarcia 9 MPa. Oznacza to, że poniżej tej wartości funkcja automatycznego doładowania ciśnienia nie działa. Po przekroczeniu w trakcie rozpięcia stojaków ciśnienia 9 MPa układ doładowania zostaje włączony. Blok podłączony jest do magistrali zasilającej poprzez drugi zawór zwrotny (6). Zastosowanie dodatkowego zaworu zwrotnego (6) ma na celu wyeliminowanie możliwości cofania się cieczy do magistrali zasilającej

w przypadku zanieczyszczenia zaworu zwrotnego (2d) [23]. Układ wraz ze stojakiem zabezpieczone są przed nadmiernym wzrostem ciśnienia roboczego medium przez zawory bezpieczeństwa 4 oraz 5. W przypadku nadmiernego wzrostu ciśnienia pod tłokiem stojaka zawór 4 odprowadzi na zewnątrz układu określoną ilość cieczy. Natomiast zawór 5 ma za zadanie zabezpieczenie przed zniszczeniem przewodów hydraulicznych łączących blok zaworowy z przestrzenią nadtlokową stojaka. Jest to skuteczne zabezpieczenie w przypadku powstania nieszczelności wewnętrznej i związanego z tym wzrostu ciśnienia w przestrzeni nadtlokowej.



Rys. 7. Układ hydrauliczny stojaka z zastosowaniem podwójnego bloku z automatycznym doładowaniem ciśnienia

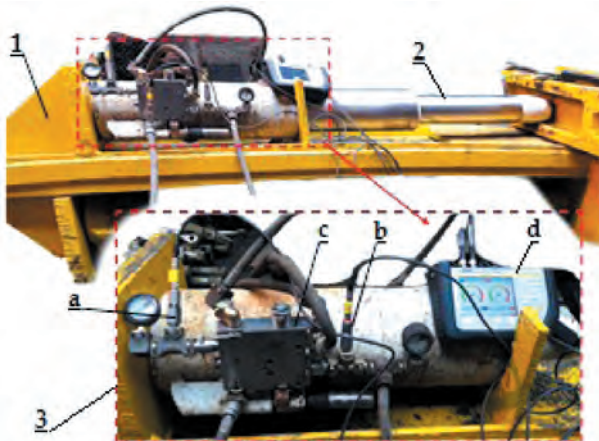
Przy stosowaniu doładowania konieczne jest zabezpieczenie stojaka przed cofaniem się cieczy. Zabezpieczona musi być zarówno przestrzeń nadtlokowa, jak i podtlokowa stojaka. Jest to istotne na wypadek powstania w stojaku nieszczelności wewnętrznej. W proponowanym podwójnym bloku przestrzeń nadtlokowa zabezpieczona jest przez zawór zwrotny 2a, natomiast przestrzeń podtlokową zabezpiecza zawór zwrotny 2b.

Dzięki funkcji doładowania zostają uzupełniane wszystkie ubytki ciśnienia w przestrzeni podtlokowej stojaka [24, 25]. Proponowany układ minimalizuje skutki nieszczelności wewnętrznych stojaka [26]. Ponadto układ zapewnia rozparcie stojaka do wymaganej podporności wstępnej równej maksymalnej

wartości ciśnienia w magistrali zasilającej. Wymagana podporność jest osiągana pomimo wahań ciśnienia w magistrali zasilającej oraz pomimo przerwania operacji rozpierania wykonywanej przez operatora. W celu potwierdzenia słuszności przyjętej koncepcji, tj. zapewnienia podporności wstępnej i roboczej, przeprowadzone zostały badania stanowiskowe oraz badania eksploatacyjne w warunkach rzeczywistych.

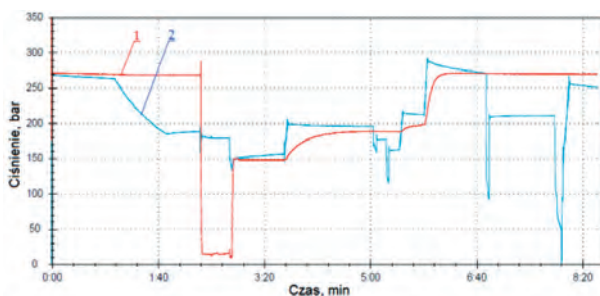
## 5. WYNIKI BADAŃ STANOWISKOWYCH I EKSPLOATACYJNYCH UKŁADU

Badania stanowiskowe polegały na pomiarze ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka oraz w magistrali zasilającej. Pomiar realizowany był przez przenośne urządzenie pomiarowe The Parker Service Master Plus. Częstość próbkowania wynosiła 10 000 pomiarów na sekundę. Na podstawie przeprowadzonych badań wygenerowano przebiegi zmian ciśnienia w czasie. Na rysunku 8 przedstawiono stanowisko badawcze wraz ze stojakiem i badanym blokiem. Przykładowy wykres z uzyskanych pomiarów przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 8. Widok stanowiska badawczego

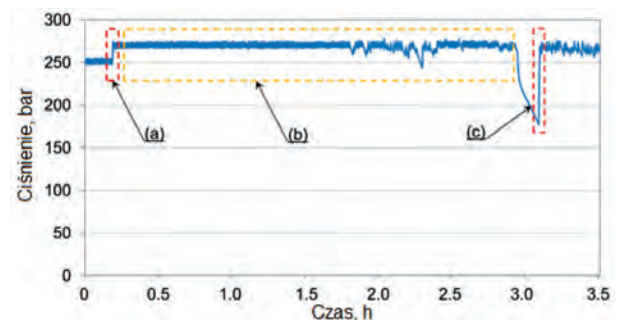
1 – rama stanowiska, 2 – stojak hydrauliczny,  
3 – badany układ, a, b – czujniki do pomiaru ciśnienia,  
c – podwójny blok z automatycznym doładowaniem,  
d – urządzenie pomiarowe



Rys. 9. Przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka (1) oraz w magistrali zasilającej (2)

W chwili rozpoczęcia pomiaru ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka wynosiło 27 MPa (270 barów). Po czasie 1,00 min ciśnienie w magistrali zaczęło spadać. Pomimo to wartość ciśnienia pod tłokiem stojaka utrzymywała się na stałym poziomie 27 MPa (270 barów). Tym samym zachowana była wymagana podporność. W czasie 2,20 min stojak został zrabowany i ciśnienie spadło do wartości bliskiej 0. Następnie w czasie 2,50 min stojak ponownie rozparto. W momencie rozpierania stojaka ciśnienie w magistrali wynosiło 15 MPa (150 barów). Pozwoliło to operatorowi na rozparcie stojaka do uzyskania w jego przestrzeni podtłokowej ciśnienia wynoszącego 15 MPa (150 barów). W czasie 3,40 min ciśnienie w magistrali wzrosło do wartości 200 barów. Wówczas układ automatycznego doładowania uzupełnił ciśnienie pod tłokiem stojaka do wartości około 19 MPa (190 barów). Kolejne wzrosty ciśnienia w magistrali nastąpiły w czasie 5,30 min (do 22 MPa) i 5,50 min (do 29 MPa). Wówczas blok realizował kolejne doładowania. Dzięki automatycznemu doładowaniu ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka wzrosło do wartości 27 MPa (270 barów). Tym samym stojak uzyskał wymaganą wartość podporności. Podporność stojaka została utrzymana pomimo kolejnych spadków ciśnienia w magistrali zasilającej.

Po pozytywnych wynikach prób stanowiskowych przeprowadzono badania układu w warunkach rzeczywistych. Proponowany układ zamontowano w ścianie wydobywczej. Do celów badań wybrano stojak z nieszczelnością wewnętrzną. Pozwoliło to ocenić przydatność bloku dla minimalizowania skutków tej nieszczelności. Podczas badań mierzono ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka. Wykorzystano do tego bezprzewodowy czujnik ciśnienia DOH DROPS. Przykładowy wykres z badań eksploatacyjnych przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej  
a, c – doładowanie ciśnienia,  
b – utrzymanie podporności

Na wykresie (rys. 10) przedstawiono przebieg zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka. W chwili a nastąpiło doładowanie ciśnienia, które wzrosło z wartości 25 MPa (250 barów) do około 27 MPa (270 barów).

Prawdopodobnie nastąpił wówczas wzrost ciśnienia w magistrali zasilającej, co umożliwiło realizację automatycznego doładowania. Przez kolejne godziny (obszar *b*) ciśnienie było utrzymywane na poziomie około 27 MPa (270 barów) pomimo nieszczelności wewnętrznej stojaka. Po trzech godzinach nastąpił spadek ciśnienia. Układ automatycznie zwiększył je do wartości 27 MPa (270 barów) (*c*). Na przedstawionym wykresie nie widać przekładki sekcji, co oznacza, że ściana była wówczas w postoju. Prezentowany fragment pomiarów mógł być zrealizowany na zmianie konserwacyjnej. Nie widać również charakterystycznego przyrostu ciśnienia podczas pracy stojaka, co może świadczyć o nieprawidłowej geometrii sekcji.

## 6. PODSUMOWANIE

Jednym z czynników istotnych dla prawidłowego utrzymania stropu wyrobiska ścianowego jest zapewnienie wymaganej wartości podporności obudowy zmechanizowanej. Za utrzymanie sekcji podporności obudowy zmechanizowanej odpowiada układ hydrauliczny stojaka. Autorzy artykułu proponują zmianę w tym układzie polegającą na wprowadzeniu podwójnego bloku z automatycznym doładowaniem ciśnienia. Proponowany blok przeznaczony jest do stosowania w systemie sterowania typu bezpośredniego przyległego. Ideą proponowanego układu jest zapewnienie obudowie podporności wstępnej oraz roboczej.

Wyniki z przeprowadzonych badań stanowiskowych i eksploatacyjnych potwierdziły słuszność przyjętej koncepcji. Funkcja automatycznego doładowania zapewnia rozparcie stojaka do maksymalnej wartości ciśnienia w magistrali zasilającej. Oznacza to, że proponowany układ umożliwi osiągnięcie wymaganej podporności wstępnej pomimo wahań ciśnienia w magistrali zasilającej. Jednocześnie układ ten eliminuje problem wpływu czynnika ludzkiego podczas rozpierania sekcji na osiąganą wartość podporności. W przypadku przerwania funkcji rozpierania przez operatora przed uzyskaniem wymaganej podporności układ doładowania automatycznie uzupełni ciśnienie pod tłokiem stojaka do wartości wynikającej z ciśnienia w magistrali zasilającej. Badania potwierdziły również, że układ zapewnia utrzymanie podporności roboczej pomimo spadków ciśnienia w magistrali. Ponadto układ minimalizuje skutki nieszczelności wewnętrznych. Wyniki z przeprowadzonych badań potwierdzają poprawność przyjętych założeń oraz dają możliwość wprowadzenia zmiany w układzie hydraulicznym zmechanizowanej obudowy ścianowej. Prezentowany prototypowy blok może być wprowadzony na rynek, co zostało potwierdzone pozytywnym wynikiem badań WE według normy PN EN-1804-3.

## Literatura

- [1] Bortnowski P., Gładysiewicz L., Król R., Ozdoba M.: *Energy Efficiency Analysis of Copper Ore Ball Mill Drive Systems*. Energies 2021, 14, 1786.
- [2] Uth F., Polnik B., Kurpiel W., Baltes R., Kriegsch P., Clause E.: *An innovate person detection system based on thermal imaging cameras dedicate for underground belt conveyors*. Mining Science 2019, 26: 263–276.
- [3] Zimroz P., Trybała P., Wróblewski A., Góralczyk M., Szrek J., Wójcik A., Zimroz R.: *Application of UAV in Search and Rescue Actions in Underground Mine-A Specific Sound Detection in Noisy Acoustic Signal*. Energies 2021, 14, 3725.
- [4] Wodecki J., Góralczyk M., Krot P., Ziętek B., Szrek J., Worsak-Kozak M., Zimroz R., Śliwiński P., Czajkowski A.: *Process Monitoring in Heavy Duty Drilling Rigs-Data Acquisition System and Cycle Identification Algorithms*. Energies 2020, 13, 6748.
- [5] Prostański D.: *Empirical Models of Zones Protecting Against Coal Dust Explosion*. Archives of Mining Sciences 2017, 62(3): 611–619.
- [6] Ziętek B., Banasiewicz A., Zimroz R., Szrek J., Gola S.: *A Portable Environmental Data-Monitoring System for Air Hazard Evaluation in Deep Underground Mines*. Energies 2020, 13, 6331.
- [7] Gil J., Kołodziej M., Szurgacz D., Stoiński K.: *Introduction of standardization of powered roof supports to increase production efficiency of Polska Grupa Górnicza, S.A. Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering 2019*, 56: 33–38.
- [8] Krauze K., Mucha K., Wydro T., Pieczora E.: *Functional and Operational Requirements to Be Fulfilled by Conical Picks Regarding Their Wear Rate and Investment Costs*. Energies 2021, 14, 3696.
- [9] Kotwica K., Stopka G., Kalita M., Bałaga D., Siegmund M.: *Impact of Geometry of Toothed Segments of the Innovative KOMTRACK Longwall Shearer Haulage System on Load and Slip during the Travel of a Track Wheel*. Energies 2021, 14, 2720.
- [10] Krauze K.: *Urabianie skał strugami statycznymi, podstawy doboru i projektowania kompleksów strugowych*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 2012.
- [11] Szurgacz D.: *Zmechanizowana obudowa ścianowa w zmiennych warunkach górniczo-geologicznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2019.
- [12] Stoiński K.: *Zmechanizowane obudowy ścianowe dla warunków zagrożenia wstrząsami górotworu*. Wydawnictwo GIG, Katowice 2018.
- [13] Szurgacz D.: *Analysis of the Pressure Increase in the Hydraulic Cylinder of the Longwall Powered Roof Support during Use*. Applied Sciences 2022, 12, 8806.
- [14] Szurgacz D.: *Dynamic Analysis for the Hydraulic Leg Power of a Powered Roof Support*. Energies 2021, 14, 5715.
- [15] Szurgacz D.: *Analysis of the Causes of Damage to the Stabilisation Actuator of the Cap Piece of the Powered Roof Supports and a Proposal to Reduce the Effects*. Machines 2023, 11, 194.
- [16] Rajwa S., Janoszek T., Prusek S.: *Influence of canopy ratio of powered roof support on longwall working stability – A case study*. International Journal of Mining Science and Technology 2019, 29(4): 591–598.
- [17] Świątek J., Janoszek T., Cichy T., Stoiński K.: *Computational Fluid Dynamics Simulations for Investigation of the Damage Causes in Safety Elements of Powered Roof Supports. A Case Study*. Energies 2021, 14, 1027.
- [18] Rajwa S., Lubosik Z., Płonka M.: *Bezpieczeństwo eksploatacji ścian zawałowych w świetle danych z systemów monitoringu*. Maszyny Górnicze 2019, 4: 24–34.
- [19] Szurgacz D., Więcek P., Borska B.: *Analiza zachowania podporności zmechanizowanej obudowy ścianowej w oparciu o badania rzeczywiste*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 2022, 10(338): 2–7.



- [20] Prusek S.: *Stateczność wyrobisk ścianowych podczas eksploatacji pokładów węgla kamiennego z zawalem skał stropowych*. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górniczego, Katowice 2016.
- [21] Gwiazda J.B.: *Górnictwo obudowa hydrauliczna odporna na tapania*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1997.
- [22] Krasucki K., Kudłacik T., Augustyniak K.: *System monitoringu podporności RUFUS 3G służący do diagnostyki pracy zmechanizowanej obudowy ścianowej*. Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering 2021, 59(2): 20–32.
- [23] Szurgacz D., Borska B., Diederichs R., Zhironkin S.: *Development of a Hydraulic System for the Automatic Expansion of Powered Roof Support*. Energies 2022, 15, 680.
- [24] Szurgacz D., Borska B., Zhironkin S., Diederichs R., Spearing A.J.S.: *Optimization of the Load Capacity System of Powered Roof Support: A Review*. Energies 2022, 15, 6061.
- [25] Szurgacz D., Borska B., Diederichs R.: *Wstępne badania stanowiące nad rozwojem podwójnego bloku z funkcją doładowania dla układu hydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej*. Napędy i Sterowanie 2022, 7/8: 44–46.
- [26] Szurgacz D., Borska B., Diederichs R., Spearing A.J.S., Zhironkin S.: *Minimizing Internal Leaks of a Powered Roof Support's Hydraulic Prop Based on Double Block with Charging*. Energies 2023, 16, 1341.

mgr inż. BEATA BORSKA  
Polska Grupa Górnicza S.A.  
KWK Ruda Ruch Halemba  
ul. Halembaska 160, 41-711 Ruda Śląska  
borskab@gmail.com

dr hab. inż. DAWID SZURGACZ  
Polska Grupa Górnicza S.A.  
KWK ROW Ruch Chwałowice  
ul. Przewozowa 4, 44-206 Rybnik  
dawidszurgacz@vp.pl

dr inż. JAN GIL  
Polska Grupa Górnicza S.A.  
Zakład Remontowo-Produkcyjny  
ul. Granitowa 132, 43-155 Bieruń  
j.gil@pgg.pl