

Wpływ podporności wstępnej na podporność stojaków sekcji obudowy zmechanizowanej

Doświadczenia zdobyte na przestrzeni lat dowodzą, że o płynności procesu produkcyjnego w ścianach w znacznej mierze decyduje prawidłowe utrzymanie stropu wyrobiska. Prawidłowo dobrana sekcja obudowy zmechanizowanej nie gwarantuje jeszcze prawidłowego utrzymania stropu wyrobiska, zwłaszcza w jego części przyczolowej. Nieprawidłowości w utrzymaniu stropu wyrobiska ścianowego mogą być związane, między innymi z błędami w sterowaniu sekcjami obudowy zmechanizowanej, które sprowadzają się głównie do rozparcia sekcji ze zbyt niskim ciśnieniem wstępnym. Biorąc pod uwagę powyższe w niniejszym artykule przeprowadzono analizę wpływu podporności wstępnej na podporność stojaków sekcji obudowy zmechanizowanej.

Słowa kluczowe: sekcja obudowy zmechanizowanej, podporność wstępna, podporność

1. CZYNNIKI EKSPLOATACYJNE WPLYWAJĄCE NA OBCIĄŻENIE SEKCJI OBUDOWY ZMECHANIZOWANEJ

Czynnikami eksploatacyjnymi istotnie wpływającymi na podporność sekcji obudowy zmechanizowanej są: uzyskana podporność wstępna, zróżnicowanie rozparcia stojaków w sekcji oraz sekcjach sąsiednich oraz obciążenie osłony odzawałowej skałami tworzącymi zawał chaotyczny.

Prawidłowo dobrana sekcja obudowy zmechanizowanej, dla której wysokość ściany jest zgodna z zakresem użytkowania, a podporność robocza i wstępna jest ustalona na podstawie spodziewanego obciążenia ze strony górotworu, nie gwarantuje jeszcze prawidłowego utrzymania stropu wyrobiska, zwłaszcza w jego części przyczolowej. Nieprawidłowości w utrzymaniu stropu wyrobiska ścianowego mogą być związane z [4]:

- konstrukcją sekcji obudowy, w wyniku której może wystąpić niewłaściwy rozkład nacisku stropnicy na strop co może prowadzić do sytuacji, w której aktywne podparcie stropu kończy się w pewnej odległości od końca stropnicy,
- niewłaściwą sztywnością stojaków hydraulicznych oraz zapowietrzaniem przestrzeni podłokowej stojaków,

- występowaniem na stropnicy i/lub pod spągnicą sekcji luźnego rumoszu skalnego, prowadzącego do niekontrolowanej konwergencji wyrobiska,
- błędami w sterowaniu sekcjami obudowy zmechanizowanej, które sprowadzają się głównie do rozparcia sekcji ze zbyt niskim ciśnieniem wstępnym oraz nierównomiernością rozparcia stojaków i sąsiednich sekcji.

Błędy w sterowaniu są bardzo istotne, gdyż wartość podporności wstępnej wpływa na uzyskanie założonej konwergencji wyrobiska, co zapewnia prawidłową współpracę sekcji obudowy z górotworem. Rozparcie sekcji ze zbyt niskim ciśnieniem wstępnym może również wynikać ze zbyt niskiego ciśnienia zasilania.

Podporność wstępna, rozumiana jako siła oddziaływania stropnicy na strop, uzyskana w momencie ukończenia rozpierania sekcji, powinna być określona do danych warunków stropowych i względnie przestrzegana przez operatorów sekcji obudowy. Zbyt duża podporność wstępna powoduje niszczenie skał stropu bezpośredniego, szczególnie w przypadku skał słabych, a zbyt mała prowadzi do wzrostu prędkości osiadania stropu, jego rozluźnienia i zmniejszenia rozpiętości stropu bezpośredniego [2].

2. METODYKA POSTĘPOWANIA BADAWCZEGO

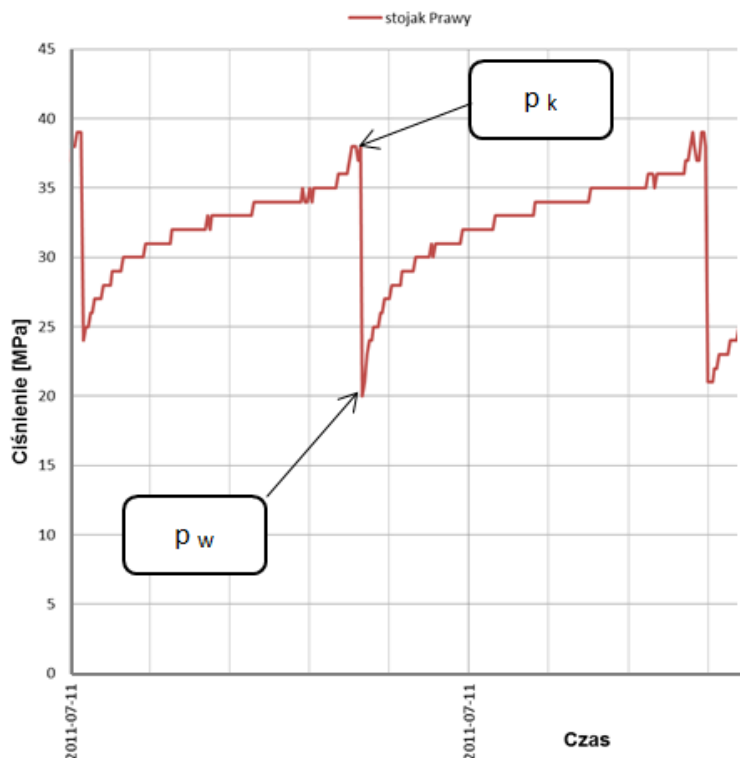
W celu ustalenia wpływu podporności wstępnej na obciążenie sekcji obudowy zmechanizowanej opracowano procedurę badawczą, której celem była między innymi analiza uzyskiwanej, przy sterowaniu ręcznym, podporności wstępnej [3]. Analizę przeprowadzono na podstawie przebiegów czasowych zmiany ciśnienia w części podtłokowej stojaków sekcji obudowy zmechanizowanej.

Badania eksploatacyjne przeprowadzono w ścianie o wysokości $1,65 \div 1,85$ m prowadzonej z zawalem stropu. Ściana wyposażona była w sekcje obudowy zmechanizowanej XXX-10/20-POz i bezprzewodowy

system monitorowania ciśnienia, który rejestrował ciśnienie we wszystkich stojakach.

Na potrzeby analizy, spośród wszystkich sekcji obudowy stosowanych w ścianie, wybrano sekcje w środkowej części ściany, położone w odległości większej od $1/3$ długości ściany od chodnika przyścianowego, celem uniknięcia wpływu wynikającego z sąsiedztwa chodników przyścianowych.

Dzięki ciągłemu monitorowaniu ciśnienia w przestrzeniach roboczych stojaków uzyskano przebiegi czasowe zmiany ciśnienia, które posłużyły do dalszej analizy. Z uzyskanych przebiegów czasowych odczytano dane dotyczące ciśnienia wstępnego p_w i ciśnienia końcowego p_k w każdym z cykli obciążenia rozpatrywanych sekcji obudowy zmechanizowanej (rys. 1).



Rys.1. Wartości ciśnienia brane do analizy [3]

Na podstawie zarejestrowanych wartości ciśnienia dla wszystkich zweryfikowanych przypadków przeprowadzono analizę zależności ciśnienia końcowego stojaków od ciśnienia wstępnego.

2.1. Przygotowanie danych do analizy

Przy doborze sekcji do analizy kierowano się oprócz kryterium położenia sekcji w ścianie także kompletnością danych pomiarowych. Kryterium kompletności dotyczyło uzyskania największej liczby prawidłowych przebiegów czasowych obciążenia trzech sąsiednich sekcji w okresie wybranego miesiąca.

Dla każdej sekcji przeprowadzono analizę zmiany ciśnienia w przestrzeniach roboczych siłowników w danym okresie czasu. Przykładowy przebieg czasowy poddany analizie przedstawiono na rys. 2.

Każdy cykl obciążenia sekcji był rozpatrywany oddzielnie przy rozciągniętej osi czasu, co pozwoliło na szczegółową analizę zarejestrowanych przebiegów umożliwiającą uchwycenie następujących nieprawidłowości w pracy sekcji obudowy:

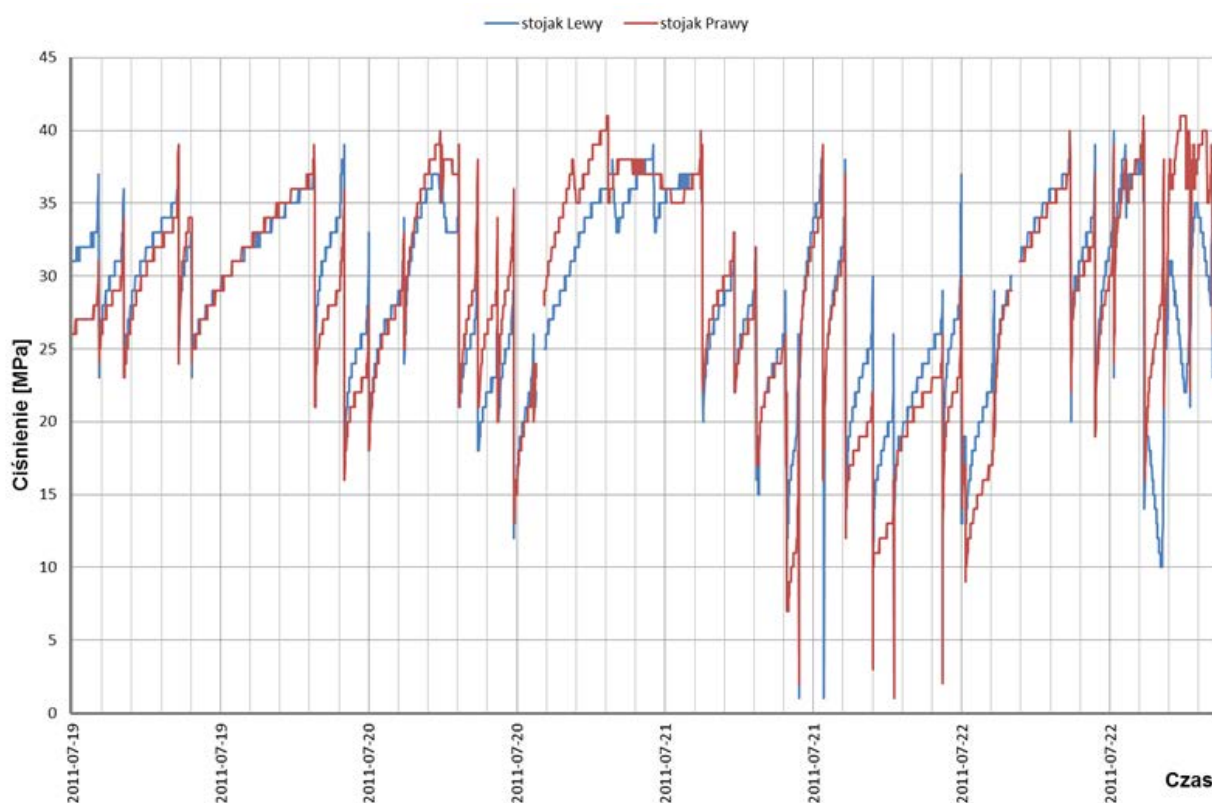
- rozparcie sekcji obudowy zmechanizowanej ze zbyt małym ciśnieniem wstępnym,
- obciążenie końcowe sekcji obudowy zmechanizowanej na poziomie podporności wstępnej (25 MPa).

2.2. Analiza przebiegu ciśnienia w przestrzeni roboczej stojaków w aspekcie weryfikacji danych pomiarowych

Weryfikacja wstępna wyników pomiarów polegała na przeanalizowaniu otrzymanych przebiegów czasowych zmian ciśnienia w przestrzeniach roboczych stojaków i odrzuceniu przebiegów czasowych zmiany ciśnienia, które wskazywały na stany awaryjne stojaków związane na przykład z ich nieszczelnością. Do dalszej analizy zakwalifikowano przebiegi czasowe cykli pracy sekcji, które charakteryzowały się wzrostem ciśnienia w obu stojakach sekcji obudowy zme-

chanizowanej, niezależnie od charakteru narastania ciśnienia w przestrzeniach roboczych obu stojaków (cykle obciążenia sekcji charakteryzujące się równomiernym - rys. 3 lub nierównomiernym rozparciem stojaków - rys. 4). Brano pod uwagę zarówno cykle obciążenia, w trakcie których sekcje rozpierane były prawidłowo (ustalonym dla danej sekcji obudowy ciśnieniem wstępnym), jak i te które rozpoczynały się ciśnieniem wstępnym mniejszym od nominalnego.

Dla każdego zakwalifikowanego do analizy cyklu obciążenia sekcji wyznaczono wartość ciśnienia wstępnego p_w oraz wartość ciśnienia końcowego p_k (rys. 1).



Rys.2. Przykładowy przebieg zmian ciśnienia w przestrzeniach podłokowych stojaków sekcji obudowy zmechanizowanej w kilku kolejnych dniach [3]

2.3. Ustalenie rozkładu czasu trwania cykli obciążenia stojaków

Czas trwania cyklu obciążenia sekcji zależy od przebiegu procesu technologicznego w ścianie. Zróżnicowanie czasu cyklu obciążenia sekcji obudowy widoczne jest we fragmencie przebiegu czasowego zmian ciśnienia w stojakach przedstawionego na rys. 2. Na potrzeby analizy wyznaczono czasy cykli obciążenia t_c sekcji zakwalifikowanych do analizy i sporządzono rozkład częstości ich występowania (rys. 5).

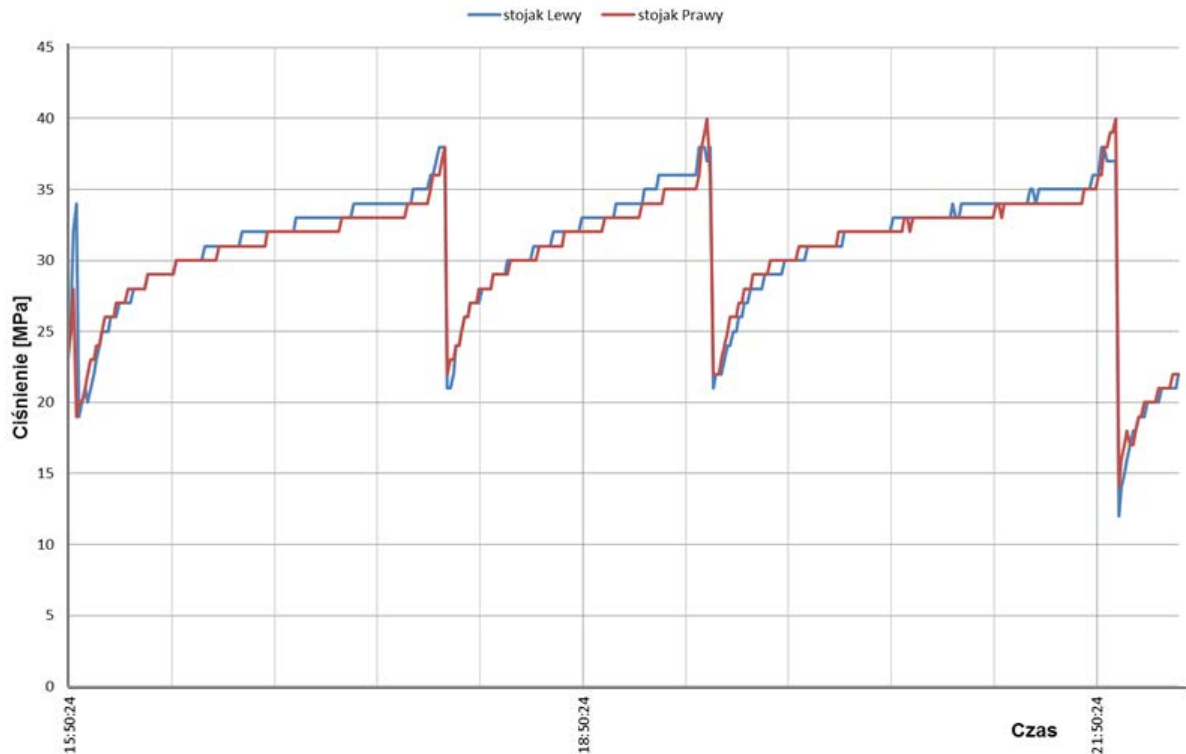
Uzyskane rozkłady są zbliżone do normalnego. Zdecydowana większość cykli mieści się w przedzia-

le $60 \div 180$ min. Cykle obciążenia sekcji mieszczące się w tym przedziale odpowiadają średniej prędkości posuwu kombajnu $1,3 \div 4$ m/min, przy długości ściany równej 235 m, a więc normalnemu przebiegowi procesu technologicznego w ścianie niskiej.

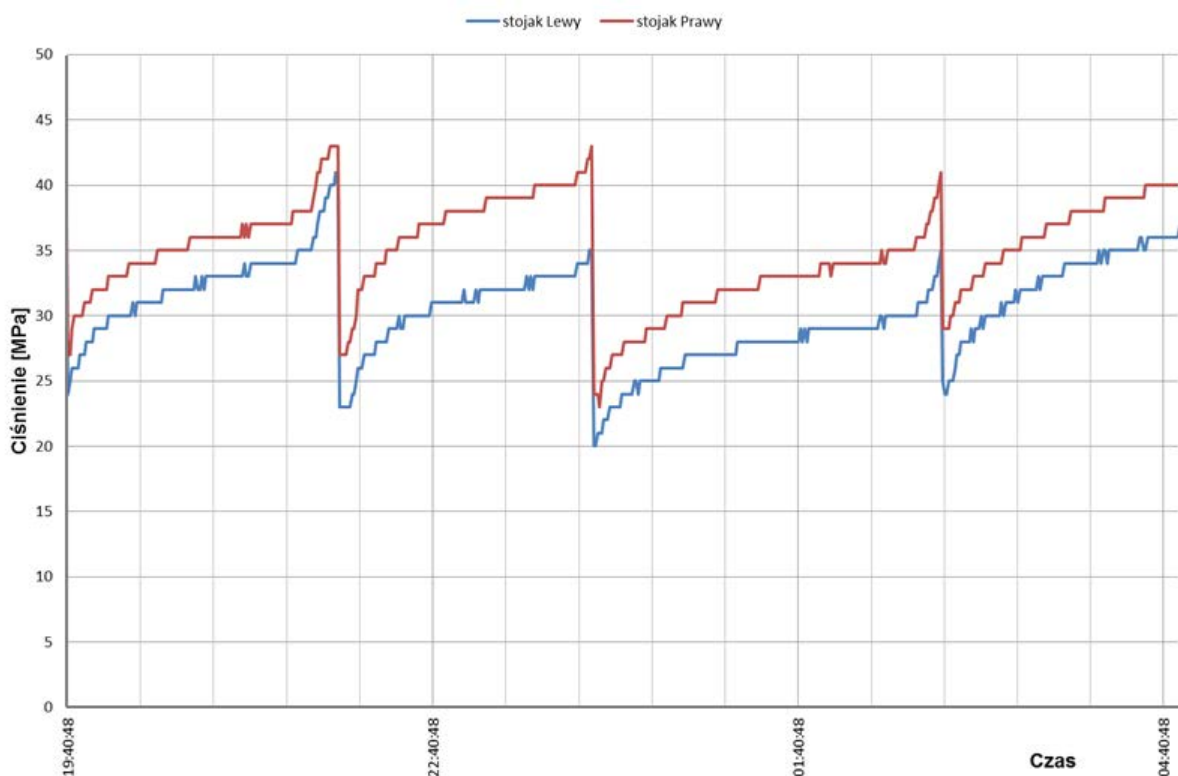
Cykle obciążenia sekcji krótsze od 60 min stanowiły około 4% wszystkich analizowanych cykli. W trakcie ich trwania realizowane były operacje pomocnicze związane głównie z wyrównywaniem ściany w celu uzyskania prostoliniowości. Natomiast cykle o czasie dłuższym od 180 min związane były z dłuższymi postojami wynikającymi z uszkodzeń wyposażenia technicznego lub ze względów organi-

zacyjnych. Stanowiły one około 16% wszystkich analizowanych cykli obciążenia sekcji. Ponieważ podmiotem analizy jest obciążenie sekcji w trakcie niezakłóconej realizacji procesu technologicznego cykle o czasie krótszym od 60 min i dłuższym od 180 min nie były analizowane.

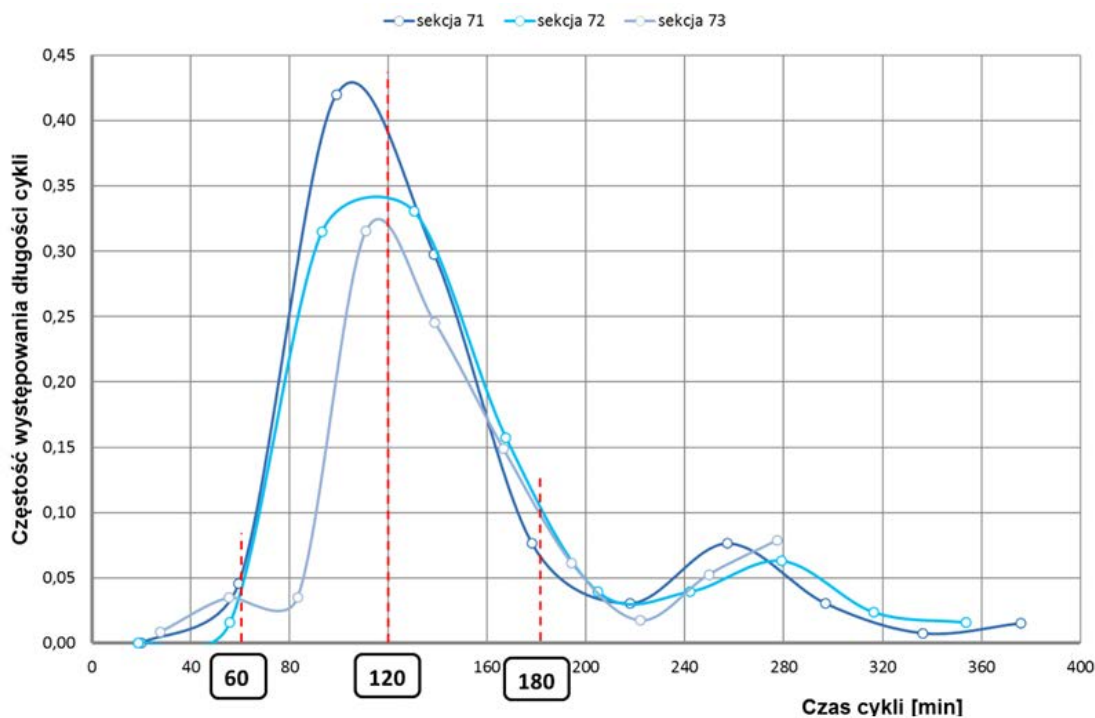
Przebiegi czasowe, dla długości cykli podzielonych na dwa przedziały 60÷120 min i 120÷180 min, posłużyły do analizy zależności podporności od podporności wstępnej stojaków sekcji obudowy zmechanizowanej.



Rys.3. Równomierne narastanie ciśnienia w przestrzeniach roboczych obu stojaków sekcji obudowy zmechanizowanej [3]



Rys.4. Cykle obciążenia sekcji charakteryzujące się nierównomiernym rozpieraniem stojaków [3]



Rys. 5. Rozkład występowania długości cykli t_c dla trzech sąsiednich sekcji obudowy o numerach 71, 72 i 73 [3]

3. ANALIZA WPŁYWU PODPORNOCI WSTĘPNEJ NA PODPORNOSC STOJAKÓW SEKCJI OBUDOWY ZMECHANIZOWANEJ

Do ustalenia wpływu podporności wstępnej na podporność stojaków posłużyły cykle obciążenia sekcji obudowy o numerze 72, których czas trwania mieścił się w przedziale $60 \div 120$ min oraz $120 \div 180$ min. Wartości ciśnienia wstępnego p_w i ciśnienia końcowego p_k stojaków w poszczególnych cyklach odniesiono odpowiednio do ciśnienia zasilania p_{zas} i ciśnienia roboczego p_r . Ułatwiło to dalszą analizę poprzez podział obszaru względnych wartości ciśnienia końcowego p_k/p_{rob} i ciśnienia wstępnego p_w/p_{zas} na cztery części oznaczone odpowiednio I, II, III i IV (rys. 6 i 7) z uwzględnieniem wartości progowych obu parametrów. Na rysunkach zaobserwować można zbliżony rozkład punktów dla cykli obciążenia charakteryzujących się różnymi czasami ich trwania.

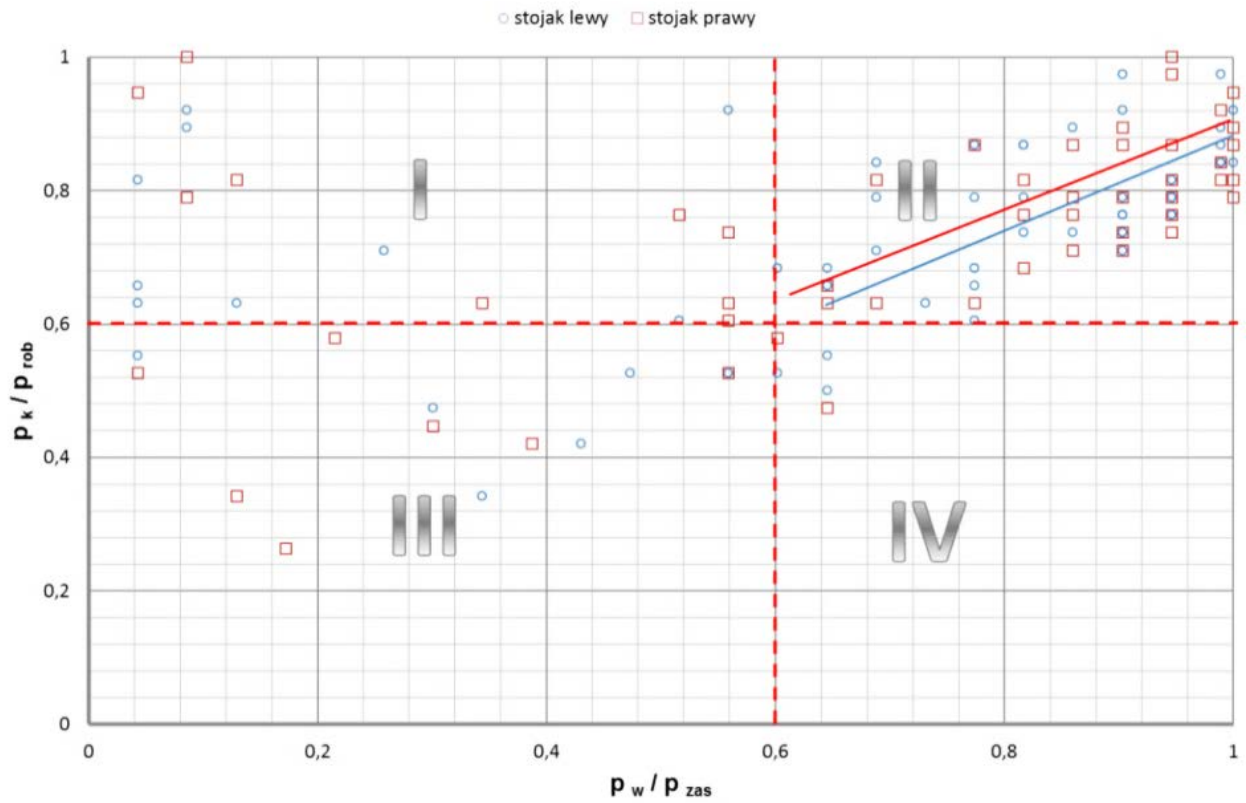
Stwierdzono, że im mniejsza wartość podporności wstępnej, tym występuje większy zakres zmienności podporności roboczej odpowiadający danej wartości podporności wstępnej. Rozproszenie punktów maleje wraz ze wzrostem ciśnienia wstępnego, a po przekroczeniu wartości tego ciśnienia odpowiadającej relacji p_w/p_{zas} równej 0.6, zależność względnego

ciśnienia końcowego od względnego ciśnienia wstępnego opisać można zależnością liniową.

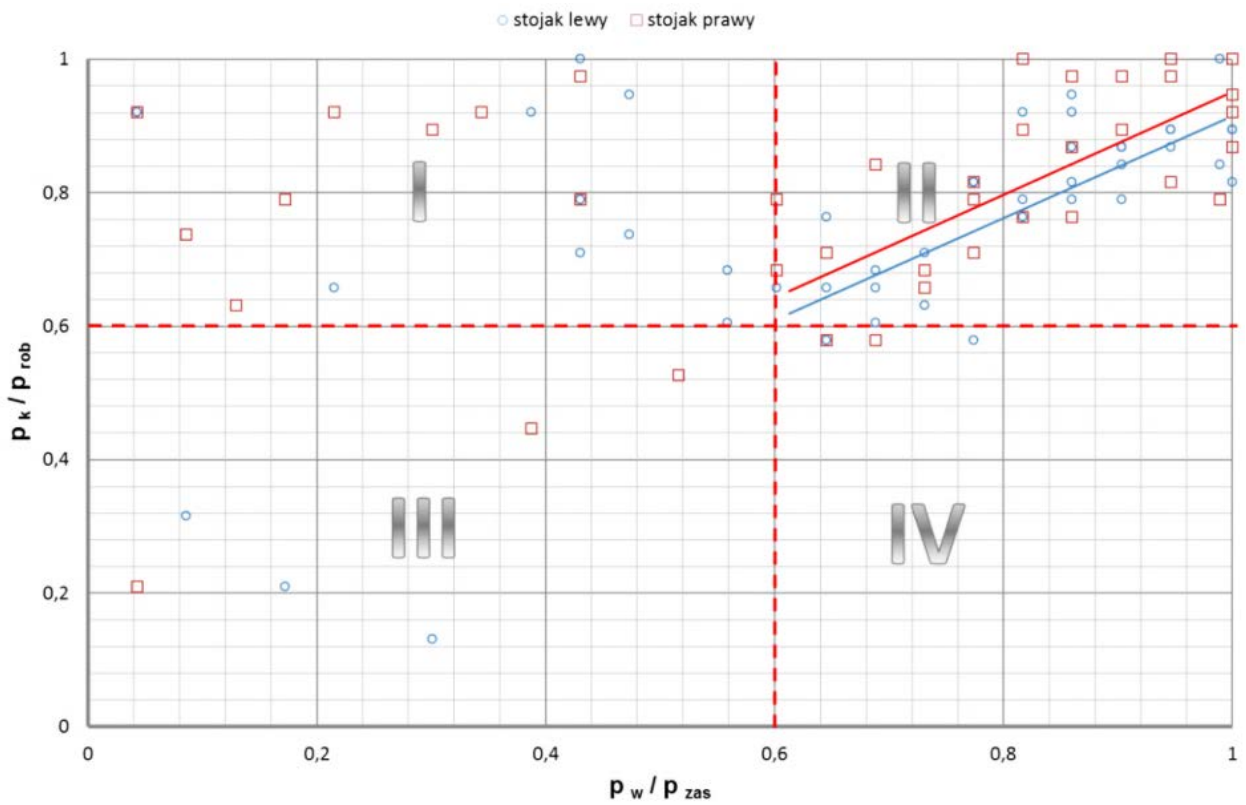
Na podstawie rozproszenia punktów uzyskanych z analizowanych przebiegów czasowych ustalono wartości progowe ciśnienia: $p_w/p_{zas} = 0.6$ i $p_k/p_{rob} = 0.6$, pozwalające na podział obszaru na wcześniej wymienione części. W częściach oznaczonych I i III rozrzut punktów ma charakter losowy, który nie pozwala na ustalenie związku pomiędzy analizowanymi parametrami. W części IV występuje tylko kilka punktów, co świadczy o tym, że tego rodzaju relacja pomiędzy podpornością wstępną i podpornością roboczą występuje sporadycznie.

W przypadku, gdy podporność wstępna jest większa od 60% ciśnienia zasilania, a uzyskana podporność jest większa od 60% podporności roboczej (część II) relację pomiędzy analizowanymi parametrami, dla sekcji o numerze 72 dla wyróżnionych czasów trwania cykli, najlepiej opisują proste regresji o równaniach, przedstawionych w tabeli 1. Dla poszczególnych stojaków i czasów trwania cykli w poszczególnych przedziałach sprawdzono istotność korelacji analizowanej zależności za pomocą testu t-Studenta, na poziomie istotności równym 0.05.

Wykazano, że współczynnik korelacji r jest statystycznie istotny dla wszystkich rozpatrywanych przypadków $|t| \geq t_{0,05,n-2}$, a siła związku korelacyjnego jest silna i zawiera się w przedziale $0.73 \div 0.80$ [1, 5].



Rys. 6. Zależność podporności od podporności wstępnej $p_k/p_{rob} = f(p_w/p_{zas})$ stojaków sekcji obudowy zmechanizowanej o numerze 72 dla $t_c = 60 \div 120min$ [3]



Rys. 7. Zależność podporności od podporności wstępnej $p_k/p_{rob} = f(p_w/p_{zas})$ stojaków sekcji obudowy zmechanizowanej o numerze 72 dla $t_c = 120 \div 180min$ [3]

W kolejnym etapie sprawdzono hipotezę, że proste regresji dla porównywanych populacji (dotyczących poszczególnych stojaków) mają takie same współczynniki regresji, a więc to samo nachylenie. Dla wszystkich porównywanych prostych regresji na poziomie istotności równym 0.05 nie było podstaw do odrzucenia hipotezy o ich równoległości (Tabela 2).

Przedstawiona analiza dowodzi jak ważnym czynnikiem jest prawidłowy dobór wartości nominalnej podporności wstępnej oraz zapewnienie uzyskania wartości tej podporności w ścianie. Na jej podstawie

stwierdzono, że warunkiem prawidłowego utrzymania stropu wyrobiska jest uzyskanie w każdym cyklu pracy sekcji obudowy podporności wstępnej na założonym poziomie ciśnienia zasilania. Wówczas podporność sekcji wzrasta w sposób, który opisuje model obciążenia sekcji obudowy zmechanizowanej. Na podstawie zebranych danych pomiarowych stwierdzono, że występują cykle obciążenia sekcji, w której ciśnienie wstępne wynosiło 5÷10 MPa, co wpływa na pogorszenie stanu utrzymania wyrobiska i może prowadzić do obwałów w przczołowej strefie wyrobiska ścianowego.

Tabela 1.

Proste regresji i ich opis statystyczny dla 72. sekcji

Stojak / czas trwania cyklu	Równanie regresji	Współczynnik korelacji r	Test statystyczny $t = \frac{r \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$	Wartość krytyczna $t_{0,05,n-2}$
lewy / 60÷120	0,7225x + 0,1518	0,74	6,742	2,022
prawy / 60÷120	0,7154x + 0,1734	0,73	6,588	2,022
lewy / 120÷180	0,7688x + 0,1594	0,80	7,360	2,035
prawy / 120÷180	0,7668x + 0,1946	0,75	6,333	2,035

Tabela 2.

Porównanie współczynników prostych regresji wyznaczonych dla stojaków w tych samych sekcjach

Stojak / czas trwania cyklu	Równanie regresji	Test statystyczny $ t_1 $	Wartość krytyczna t_γ
lewy / 60÷120	0,7225x + 0,1518	0,047	1,993
prawy / 60÷120	0,7154x + 0,1734		
lewy / 120÷180	0,7688x + 0,1594	0,012	1,998
prawy / 120÷180	0,7668x + 0,1946		
lewy / 60÷120	0,7225x + 0,1518	0,308	1,995
lewy / 120÷180	0,7688x + 0,1594		
prawy / 60÷120	0,7154x + 0,1734	0,318	1,995
prawy / 120÷180	0,7668x + 0,1946		

4. PODSUMOWANIE

Jednym z warunków prawidłowego utrzymania stropu wyrobiska jest uzyskanie w każdym cyklu pracy sekcji obudowy podporności wstępnej na poziomie założonego ciśnienia wstępnego. Im mniejsza jest wartość, uzyskiwanej przez sekcje obudowy, podporności wstępnej, tym większy jest zakres zmienności podporności sekcji obudowy, odpowiada-

jący danej wartości podporności wstępnej. Wpływa to niekorzystnie na warunki prawidłowego utrzymania stropu wyrobiska, gdyż zróżnicowanie podporności sekcji obudowy zmechanizowanej, powoduje pogorszenie warunków utrzymania stropu wskutek jego zginania wzdłuż ściany.

Rzeczywista wartość podporności wstępnej w dużym stopniu wpływa na szybkość przyrostu ciśnienia w stojakach. Im mniejsze jest ciśnienie wstępne (w zakresie poniżej ciśnienia równego $0.6 \cdot p_{zas}$) tym

szybciej narasta ciśnienie w stojakach, w wyniku osiadania stropowej bryły górotworu. Przy ciśnieniu wstępnym zbliżonym do ciśnienia zasilania występuje znacznie mniejszy rozrzut punktów pomiarowych charakteryzujących podporność końcową sekcji obudowy zmechanizowanej. Z powyższego wynika, że uzyskanie podporności wstępnej w zakresie zbliżonym do wartości ciśnienia zasilania, sprawia, że narastanie ciśnienia w stojakach hydraulicznych jest przewidywalne i prowadzi do dobrego stanu utrzymania stropu wyrobiska.

Literatura

1. Greń J.: *Statystyka matematyczna modele i zadania*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1974.
2. Jaszczuk M.: *Ścianowe systemy mechanizacyjne*. Wydawnictwo Naukowe Śląsk. Katowice 2007.
3. Pawlikowski A.: *Ocena wpływu czynników konstrukcyjnych i eksploatacyjnych na podporność sekcji obudowy zmechanizowanej*. Rozprawa doktorska. Politechnika Śląska. Gliwice 2014.
4. Rajwa S.: *Określenie przyczyn utraty płynności procesu produkcyjnego w ścianach zawałowych spowodowanych nieprawidłowościami w pracy obudów zmechanizowanych*. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko. Katowice 2011.
5. Volk W.: *Statystyka stosowana dla inżynierów*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1973.

ARKADIUSZ PAWLIKOWSKI, dr inż.
Arkadiusz.Pawlikowski@polsl.pl
Wydział Górnictwa i Geologii
Politechnika Śląska
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice