

Politechnika Wrocławska
Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

Rozprawa doktorska

**Stabilizacja siły podporności
zmechanizowanej obudowy ścianowej**

mgr inż. Beata Borska

Promotor:

dr hab. inż. Dawid Szurgacz

Centrum Hydrauliki DOH

Promotor pomocniczy:

dr inż. Jan Gil

Polska Grupa Górnicza S.A., Zakład Remontowo-Produkcyjny

Wrocław 2024

Podziękowania:

Moje najserdeczniejsze podziękowania kieruję do Zarządu Polskiej Grupy Górniczej S.A. oraz Dyrekcji KWK Ruda za stworzenie mi możliwości rozwoju zawodowego.

Z wyrazami podziękowania zwracam się również do Dyrekcji KWK ROW Ruch Chwałowice za umożliwienie mi prowadzenia badań stanowiskowych oraz eksploatacyjnych.

Szczególne podziękowania składam Zarządowi Centrum Hydrauliki DOH za przygotowanie prototypu oraz układu pomiarowego.

Ponadto chciałabym serdecznie podziękować Zakładowi Remontowo-Produkcyjnemu w Bieruniu za udostępnianie dokumentacji technicznej i pomoc w badaniach stanowiskowych.

Wyjątkowe podziękowania kieruję do Pana dr hab. inż. Dawida Szurgacza, Pana dr inż. Jana Gila oraz Śp. Pana prof. dr hab. inż. Kazimierza Stoińskiego za cenne wskazówki, uwagi merytoryczne, cierpliwość, poświęcony czas oraz nieocenioną pomoc w trakcie realizacji pracy doktorskiej.

Dziękuję także wszystkim osobom, którymi codziennie się otaczam, w tym szczególnie Agacie i Mateuszowi, za nieustanne wsparcie i motywację do działania.

Spis treści

Streszczenie	5
Abstract	7
1. Wprowadzenie.....	9
1.1. Struktura pracy	10
2. Ogólna charakterystyka Polskiej Grupy Górniczej S.A.....	12
3. Wpływ zagrożeń naturalnych na eksploatację zmechanizowanej obudowy ścianowej w świetle badań nad możliwością jej rozwoju.....	14
3.1. Analiza zagrożenia tapaniami.....	14
3.2. Wyniki badań ankietowych dotyczących zagrożeń naturalnych	20
3.3. Wyniki badań ankietowych czynnika ludzkiego w celu rozwoju konstrukcji obudowy zmechanizowanej.....	21
3.4. Wnioski.....	24
4. Zmechanizowany kompleks ścianowy.....	25
4.1. Obudowa zmechanizowana – stan, budowa, znaczenie	26
4.2. Siła podporności zmechanizowanej obudowy ścianowej.....	30
4.3. Analiza funkcjonalności układów doładowania podporności zmechanizowanej obudowy ścianowej.....	33
4.3.1. Urządzenie firmy Hans Berger Meßtechnik GmbH.....	33
4.3.2. Urządzenie firmy Richard Voß Grubenausbau GmbH	34
4.3.3. Urządzenie do krótkotrwałego doładowania stojaków typu KDS KOMAG.....	36
4.3.4. Urządzenie typu UDS konstrukcji J.B. Gwiazdy.....	38
4.3.5. Zmodernizowane urządzenie typu UDS konstrukcji J.B. Gwiazdy.....	39
4.4. Układ aktywnego podtrzymania ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej firmy Elsta.....	40
4.5. Podsumowanie.....	43
5. Teza pracy	44
5.1. Zakres pracy	45
5.2. Metodyka badań	46
6. Model matematyczny układu podpornościowego stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej	49
6.1. Modelowanie matematyczne układów dynamicznych.....	49
6.2. Opracowanie modelu matematycznego pracy stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej.....	50
6.2.1. Badania symulacyjne operacji rozpierania stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej	55
6.2.2. Weryfikacja modelu w oparciu o badania stanowiskowe.....	59

6.3. Opracowanie modelu matematycznego dla doładowania ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej.....	61
6.3.1. Weryfikacja modelu doładowania ciśnienia w oparciu o badania empiryczne	63
6.4. Wnioski.....	65
7. Proponowana zmiana w układzie hydraulicznym obudowy zmechanizowanej ukierunkowana na utrzymanie podporności.....	67
8. Badania stanowiskowe proponowanego układu podpornościowego stojaka hydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej.....	70
8.1. Przyjęty sposób postępowania przy ocenie stanowiskowej prototypu bloku z funkcją doładowania ciśnienia	70
8.2. Stanowisko badawcze z układem pomiarowym	72
8.3. Analiza uzyskanych wyników badań	74
8.4. Wnioski.....	80
9. Badania proponowanego prototypu z funkcją doładowania w warunkach in-situ ...	82
9.1. Metoda i zakres badań	82
9.2. Charakterystyka ściany wydobywczej.....	84
9.3. Analiza uzyskanych wyników badań	85
9.4. Wnioski.....	101
10. Badania nad zachowaniem się opracowanego prototypowego bloku w warunkach rzeczywistych w oparciu o dane z monitoringu ciśnienia	103
10.1. Metoda i zakres badań	103
10.2. Analiza uzyskanych wyników badań dołowych dla standardowego układu hydraulicznego - bez funkcji doładowania	103
10.3. Wnioski.....	106
10.4. Analiza uzyskanych wyników badań dla proponowanego układu hydraulicznego z zastosowaniem prototypowego bloku z funkcją doładowania.....	106
10.5. Wnioski.....	108
11. Wnioski końcowe.....	109
12. Podsumowanie	111
13. Kierunki dalszych badań nad możliwością wdrożenia docelowego rozwiązania...	113
Literatura.....	114
Spis rysunków.....	121
Spis tabel.....	125
Wykaz symboli	126

Streszczenie

Obudowa zmechanizowana odpowiada za bezpieczeństwo w ścianie wydobywczej. Chroni ona pracujących tam ludzi oraz pozostałe maszyny przed opadem skał stropowych i odpadającymi z czoła ściany kęsami węgla. Ponadto obudowa zapewnia stateczność wyrobiska i przemieszcza cały kompleks zmechanizowany za postępem frontu ściany. W realizacji tych zadań istotną rolę pełni układ hydrauliczny obudowy zmechanizowanej. Obecnie układ ten wykonuje dwie funkcje. Pierwszą z nich jest sterowanie obudową zmechanizowaną, zaś drugą zabezpieczenie przed niekorzystnymi przeciążeniami, wynikającymi z nacisku stropowych warstw skalnych. W niniejszej rozprawie zaproponowano trzecią funkcję dla układu hydraulicznego – doładowanie ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka. Wprowadzenie funkcji doładowania ma na celu ustabilizowanie siły podporności obudowy zmechanizowanej, a tym samym zapewnienie uzyskania przez sekcje obudowy założonej podporności wstępnej i zachowania wymaganej podporności.

Przez podporność należy rozumieć siłę z jaką sekcja obudowy zmechanizowanej działa na strop wyrobiska. Uzyskana przez sekcje wartość podporności zależy od wielu czynników, w tym między innymi od ciśnienia w magistrali zasilającej czy stanu technicznego stojaków. Skutkuje to znacznym zróżnicowaniem wartości podporności kolejnych sekcji w ścianie. Częstym problemem jest praca sekcji przy podporności poniżej wartości wymaganej. Gdy wartość podporności wstępnej sekcji jest zbyt niska, w stropie pokładu dochodzi do negatywnych zjawisk, które mogą skutkować opadami i obwałami skał stopowych. Przekłada się to bezpośrednio na zagrożenie bezpieczeństwa w ścianie oraz utrudnienia w prowadzeniu eksploatacji i realizacji założonych planów produkcyjnych. Problem jest istotny, zarówno z punktu widzenia bezpieczeństwa, jak i wyników ekonomicznych kopalni, zatem jego rozwiązanie stało się celem realizacji niniejszej rozprawy doktorskiej.

Pracę rozpoczęto od analizy zagrożenia tąpnięciami w polskich kopalniach węgla kamiennego. Zagrożenie to ma istotny wpływ na eksploatację obudowy zmechanizowanej. Z uwagi na jego rosnącą skalę ważne jest przystosowanie obudowy do zmieniających się warunków. Przeprowadzono również badania ankietowe wśród pracowników Polskiej Grupy Górniczej S.A., zatrudnionych w ścianie wydobywczej. Miało to na celu sprawdzenie potrzeb respondentów w zakresie rozwoju obudowy zmechanizowanej. Analiza wyników badań wykazała, że górnicy są otwarci na nowe rozwiązania oraz wyrażają potrzebę optymalizacji aktualnie stosowanych sekcji, w tym również wprowadzenia zmian ukierunkowanych na utrzymanie podporności.

Z przeglądu literatury wynika, że były już podejmowane próby opracowania urządzeń, które miały zapewnić wymaganą podporność obudowy zmechanizowanej. Wszystkie te urządzenia zostały skonstruowane jako dodatkowe elementy w układzie hydraulicznym obudowy zmechanizowanej. Pomimo prób ruchowych, żadne z nich nie znalazło zastosowania w przemyśle, a problem zapewnienia podporności pozostał nierozwiązany. Wyjątkiem jest obudowa zmechanizowana sterowana

elektrohydraulicznie, która może współpracować z układem aktywnego podtrzymania ciśnienia. Niemniej jednak w Polskiej Grupie Górniczej S.A. najczęściej stosowane jest sterowanie przyległe. Wobec powyższego, dla uzyskania prawidłowego rozparcia sekcji do założonej podporności wstępnej i utrzymania wymaganej wartości siły podporności, zaproponowano wprowadzenie do układu hydraulicznego obudowy zmechanizowanej funkcji doładowania ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka. Rozwiązanie zakłada, że doładowanie ma być realizowane przez blok zaworowy, tak by nie wprowadzać dodatkowych elementów do układu hydraulicznego. W porównaniu do istniejących konstrukcji urządzeń do doładowania stanowi to nowatorskie podejście.

Realizację przyjętej koncepcji rozpoczęto od badań symulacyjnych. W pierwszym etapie zamodelowano proces rozpierania stojaka hydraulicznego, co umożliwiło obserwację zmian zachodzących podczas tej operacji. Następnie, w oparciu o badania empiryczne, zamodelowano funkcję doładowania ciśnienia. Oba opracowane modele zostały zweryfikowane z wynikami badań stanowiskowych. Uzyskana zgodność wyników pozwoliła na prowadzenie badań symulacyjnych na tych modelach. Dzięki temu możliwe było określenie parametrów pracy dla przyszłego prototypu.

Na podstawie wykonanych symulacji opracowano prototyp bloku zaworowego z funkcją doładowania ciśnienia. Zgodnie z przyjętymi założeniami, prototypowy blok miał realizować trzy funkcje: zapewnić rozparcie sekcji obudowy zmechanizowanej do wymaganej podporności wstępnej, uzupełniać możliwe ubytki ciśnienia pod tłokiem stojaka – by zachować wymaganą podporność oraz minimalizować skutki ewentualnej nieszczelności wewnętrznej. W celu sprawdzenia poprawności pracy prototypowego bloku, poddano go badaniom stanowiskowym. Jak wykazały badania, zaproponowane rozwiązanie umożliwiło rozparcie stojaka do maksymalnej wartości ciśnienia w magistrali zasilającej oraz utrzymanie tej wartości. Wszystkie zarejestrowane spadki ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka zostały uzupełnione przez prototypowy układ. Pozwoliło to przejść do kolejnego etapu – badań w warunkach rzeczywistych.

Przygotowany prototyp zamontowano na stojaku sekcji obudowy zmechanizowanej, pracującej w ścianie wydobywczej. Prototyp zastąpił standardowy blok zaworowy. Do celów badań wybrano stojak, w którym rozwijała się nieszczelność wewnętrzna. Analiza pomiarów uzyskanych w ścianie potwierdziła, że proponowana funkcja doładowania ciśnienia umożliwia rozparcie sekcji obudowy zmechanizowanej do założonej podporności wstępnej, utrzymanie wymaganej wartości siły podporności oraz minimalizację skutków nieszczelności wewnętrznej. Tym samym udowodniona została teza niniejszej rozprawy doktorskiej. Dodatkowo przeprowadzono jeszcze badania eksploatacyjne, w których porównano pracę obudowy zmechanizowanej przy zastosowaniu standardowego bloku oraz proponowanego prototypu z funkcją doładowania. Jak wykazały badania, zaproponowane rozwiązanie zapewnia stabilizację siły podporności obudowy zmechanizowanej, co było celem realizowanej rozprawy.

Słowa kluczowe: zmechanizowana obudowa ścianowa, stojak hydrauliczny, układ hydrauliczny, badania symulacyjne, badania stanowiskowe, badania w warunkach rzeczywistych

Abstract

The powered support is responsible for safety in the mining longwall. It protects people working there and other machines against falling roof rocks and coal billets falling off the face of the wall. The hydraulic system of the powered support plays an important role in the implementation of these tasks. Currently, this system performs two functions. The first one is the control of the powered roof support, and the second one is protection against unfavorable overloads resulting from the pressure of the roof rock layers. This thesis proposes a third function for the hydraulic system - charging the pressure in the space under the piston of the prop. The introduction of the charging function is intended to stabilize the load-carrying capacity force of the powered support, and thus ensure that the sections obtain the required initial load capacity and maintain working load capacity.

Load-carrying capacity is the force with which the section of the powered support acts on the roof of the excavation. The load-carrying capacity value obtained by the sections depends on many factors, including the pressure in the supply line and the technical condition of the props. This results in significant differences in the load-carrying capacity of subsequent sections in the longwall. A common problem is the operation of the section with load-carrying capacity force below the required value. When the value of the initial load-carrying capacity of a section is too low, negative phenomena occur in the seam roof, which may result in rainfall and collapse of melting rocks. This translates directly into a safety hazard in the longwall and difficulties in operation and implementation of the assumed production plans. The problem is important, both from the point of view of safety and economic results of the mine, so its solution became the aim of this PhD dissertation.

The work began with an analysis of the rock burst hazard in Polish hard coal mines. This hazard has a significant impact on the operation of powered support. Due to its growing scale, it is important to adapt the powered roof support to changing conditions. A survey was also conducted among employees of Polska Grupa Górnicza S.A. employed in the mining longwall. The aim of the research was to check the needs of respondents in the development of powered support. The analysis of the research results showed that miners are open to new solutions and express the need to optimize currently used sections, including introducing changes aimed at maintaining the load-carrying capacity force.

The literature review shows that attempts have already been made to develop devices that were to ensure the required load-carrying capacity of the powered roof support. All these devices were designed as additional elements in the hydraulic system of the powered support. Despite operational tests, none of these devices were used in industry, and the problem of providing load-carrying capacity remained unsolved. The exception is the powered roof support with electro-hydraulic control, which can cooperate with an active pressure maintenance system. Nevertheless, in Polska Grupa Górnicza S.A. adjacent control is most often used. Therefore, to ensure the expansion of

the sections to the required initial load-carrying capacity and maintaining working load-carrying capacity, it was proposed to introduce a pressure charging function into the hydraulic system of the powered support. The solution assumes that the charging is to be carried out by the valve block, so as not to introduce additional elements into the hydraulic system. Compared to existing designs of charging devices, this is an innovative approach.

The implementation of the adopted concept began with simulation research. In the first stage, the process of expanding the hydraulic stand was modeled, which enabled the observation of changes occurring during this operation. Then, based on empirical research, the pressure charging function was modeled. Both developed models were verified with the results of bench tests. The obtained compliance of the results allowed for conducting simulation tests on these models. Thanks to this, it was possible to determine the operating characteristics of the future prototype.

Based on the simulations performed, a prototype of the block with a pressure charging function was developed. According to the adopted assumptions, the prototype block was to perform three functions: provide expansion of the powered roof support's section to the required initial load-carrying capacity, supplement possible pressure losses under the prop piston - to maintain working load-carrying capacity and minimize the effects of possible internal leakage. In order to check the correct operation of the prototype, it was subjected to bench tests. As the tests showed, the proposed solution allowed the prop to expand to the maximum pressure value in the supply line and maintaining this value. All recorded pressure drops in the space under the piston of the prop were supplemented by the prototype system. This allowed us to move on to the next stage - research in real conditions.

The prototype was installed on a prop of a section of a powered support working in a mining longwall. The prototype replaced the standard valve block. For testing purposes, a prop with internal leakage was selected. The analysis of the measurements obtained in the longwall confirmed that the proposed pressure charging function allows the expansion of the powered roof support's section to the required initial load-carrying capacity, maintaining the working load-carrying capacity and minimizing the effects of internal leakage. Thus, the thesis of this PhD dissertation has been proven. Additionally, operational tests were carried out in which the operation of the powered roof support was compared using a standard valve block and the proposed prototype with a charging function. As research has shown, the proposed solution ensures stabilization of the load-carrying capacity force of the powered roof support, which was the aim of the dissertation.

Keywords: powered roof support, hydraulic prop, hydraulic system, simulations, bench tests, research under real conditions

1. Wprowadzenie

Podziemne górnictwo węgla kamiennego jest trudnym rodzajem przemysłu i z każdym dniem rosną wyzwania z nim związane. Dla powodzenia działalności górniczej istotnymi czynnikami są ekonomiczność produkcji i zapewnienie bezpieczeństwa [2, 127, 131]. Ponadto coraz większy nacisk kładzie się na ochronę przyrody i ekologię, a od przedsiębiorstw górniczych oczekuje się ograniczania niekorzystnego wpływu na środowisko [44, 49]. Zatem pozyskiwanie surowców wymaga ciągłego rozwoju i dostosowywania się do nowych warunków i regulacji prawnych. Dla ekonomicznej opłacalności zakładu górniczego konieczna jest efektywna i wydajna eksploatacja [40]. W tym celu dąży się do zmniejszenia awaryjności maszyn [50], udoskonalenia ich diagnostyki [30, 47, 48, 57, 60, 120] oraz oceny jakości [55]. W zakresie poprawy bezpieczeństwa kładzie się nacisk na poszukiwanie nowych rozwiązań technicznych, ograniczających zagrożenia ze strony maszyn oraz pracuje się nad bardziej skutecznym zwalczaniem zagrożeń naturalnych [33, 70, 121, 130]. Ponadto wprowadza się nowe rozwiązania dla usprawnienia procesów produkcyjnych, co ma poprawić zarówno bezpieczeństwo, jak i wydajność wydobywania [63, 64, 79]. Z kolei w aspekcie środowiskowym działania ukierunkowane są na zmniejszenie energochłonności maszyn [12, 26, 28] i lepsze zagospodarowanie produktów ubocznych [45]. W rozwoju tym wykorzystuje się najnowsze narzędzia i technologie [19, 38, 43, 84]. Obok badań stanowiskowych [3, 4, 51, 56, 123] oraz in-situ [20, 58, 74, 119] coraz większą rolę odgrywają badania symulacyjne i analizy numeryczne [5, 18, 41, 80, 116]. Wykorzystywane są analizy statystyczne [30], analizy danych [5, 121], procedury decyzyjne oraz sieci neuronowe [61]. Największe tempo rozwoju zauważalne jest w górnictwie rud miedzi [5, 12, 30, 122, 130]. Niemniej jednak poszukiwanie i wdrażanie innowacyjnych rozwiązań obserwowane jest również w górnictwie węgla kamiennego, szczególnie w obszarze procesu urabiania węgla [50, 78, 129].

Wydobycie węgla kamiennego w polskich kopalniach najczęściej prowadzone jest systemem ścianowym z zawałem skał stropowych [53]. Ściany wydobywcze wyposaża się w zmechanizowane kompleksy ścianowe, które służą do mechanizacji procesu urabiania, ładowania i odstawy urobku [40]. W skład tych kompleksów wchodzi maszyna urabiająca (kombajn lub strug), przenośnik zgrzeblowy (odstawa urobku) oraz zmechanizowana obudowa ścianowa [53, 55]. Zadaniem obudowy jest kierowanie stropem wyrobiska, zapewnienie bezpieczeństwa w eksploatowanej ścianie oraz przemieszczanie całego kompleksu za postępem frontu ściany [102].

Udostępnienie złoża, przygotowanie rozcinki ściany, wyposażenie jej w kompleks zmechanizowany oraz przeprowadzenie likwidacji jest procesem czasochłonnym i kosztownym. Zatem dla uzyskania dodatnich wyników ekonomicznych kopalni ważna jest realizacja założonych planów produkcyjnych i osiągnięcie określonego poziomu wydobywania. W tym celu kompleksom zmechanizowanym stawia się coraz wyższe wymagania. Oczekuje się uzyskania założonej wydajności, przy jednoczesnym

zachowaniu bezpieczeństwa. Rosnące wymagania w zakresie pracy kompleksów zmechanizowanych podyktowane są nie tylko czynnikiem ekonomicznym, ale wynikają również z coraz trudniejszych warunków górniczo-geologicznych. Zmniejszające się zasoby złóż i konieczność sięgania po coraz trudniejsze pokłady węgla, wzrost głębokości eksploatacji, rosnąca skala zagrożeń naturalnych oraz rosnące zaszłości eksploatacyjne determinują nowe wyzwania w obszarze stosowanych maszyn i technologii.

Jednym z czynników utrudniających proces urabiania węgla są opady i obwały skał stropowych. Z jednej strony zagrażają one ciągłości prowadzonej eksploatacji, a z drugiej stanowią niebezpieczeństwo dla załogi pracującej w ścianie. Zatem dla uzyskania wydajnej pracy kompleksu ścianowego i utrzymania odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa istotne będzie zapewnienie stateczności wyrobiska. Wśród przyczyn utraty tej stateczności i występowania w ścianie opadów oraz obwałów skał stropowych można wymienić zbyt niską podporność obudowy zmechanizowanej [6, 27, 72]. Tym samym problem ten stał się przedmiotem realizacji niniejszej rozprawy doktorskiej.

1.1. Struktura pracy

W przedmiotowej rozprawie zaproponowano wprowadzenie usprawnień w układzie podpornościowym stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej w celu stabilizacji siły podporności. Praca składa się z trzynastu rozdziałów. Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie do podjętej tematyki, ze wskazaniem motywacji do realizacji wybranego tematu. W rozdziale drugim scharakteryzowano Polską Grupę Górniczą S.A., gdzie zrealizowana została niniejsza praca doktorska. W rozdziale trzecim dokonano analizy skali zagrożenia tąpnięciami w polskich kopalniach węgla kamiennego oraz omówiono wyniki badań ankietowych przeprowadzonych wśród pracowników Polskiej Grupy Górniczej S.A. w obszarze realizowanego tematu. Rozdział czwarty zawiera opis zmechanizowanego kompleksu ścianowego, ze szczególnym uwzględnieniem obudowy zmechanizowanej. W rozdziale tym dokonano też szerokiego przeglądu literatury naukowo-technicznej w przedmiotowym zakresie. Na tej podstawie zaproponowano wprowadzenie funkcji doładowania ciśnienia do układu podpornościowego stojaka obudowy zmechanizowanej dla zapewnienia stabilizacji siły podporności. Powyższe stanowi tezę niniejszej rozprawy doktorskiej, która została zapisana w rozdziale piątym wraz z celem i zakresem pracy oraz metodyką badań. W rozdziale szóstym opisano pierwszy etap badań, który obejmował opracowanie modelu matematycznego dla określenia charakterystyki pracy stojaka hydraulicznego oraz zamodelowanie doładowania ciśnienia. Na przygotowanych modelach zostały przeprowadzone symulacje, które stały się podstawą do opracowania prototypu bloku z funkcją doładowania ciśnienia. Zaproponowaną zmianę w układzie hydraulicznym stojaka obudowy zmechanizowanej opisano w rozdziale siódmym. Przygotowany prototyp bloku został poddany badaniom stanowiskowym, które pozwoliły ocenić poprawność jego pracy. Przebieg badań

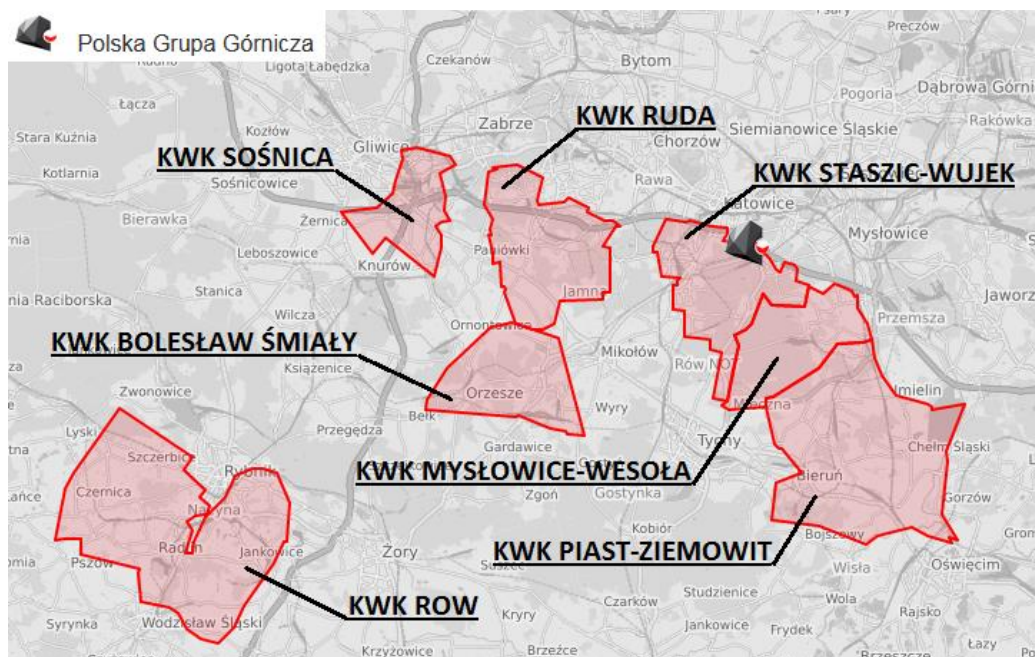
stanowiskowych wraz z analizą wyników omówiono w rozdziale ósmym. Następnie przeprowadzono badania in-situ w celu określenia przydatności funkcji doładowania w warunkach rzeczywistych, co przedstawiono w rozdziale dziewiątym. W rozdziale dziesiątym porównano pracę sekcji obudowy zmechanizowanej przy zastosowaniu standardowego układu hydraulicznego oraz zaproponowanego w niniejszej rozprawie układu z funkcją doładowania ciśnienia. Wnioski z realizacji pracy doktorskiej przedstawiono w rozdziale jedenastym, a podsumowanie pracy stanowi rozdział dwunasty. Ponadto wyznaczono kierunki dalszych badań do wdrożenia docelowego rozwiązania, co zapisano w rozdziale trzynastym.

2. Ogólna charakterystyka Polskiej Grupy Górniczej S.A.

Polska Grupa Górnicza S.A. jest obecnie największym producentem węgla kamiennego w Unii Europejskiej. zatrudnienie w 2023 r. kształtowało się na poziomie około 37 tysięcy osób. Spółka prowadzi eksploatację w 7 kopalniach (rys. 2.1), w 12 ruchach. Są to:

- KWK Bolesław Śmiały,
- KWK Sośnica,
- KWK Piast-Ziemowit (Ruch Piast i Ruch Ziemowit),
- KWK Ruda (Ruch Bielszowice i Ruch Halemba),
- KWK ROW (Ruch Chwałowice, Ruch Jankowice, Ruch Marcel oraz Ruch Rydułtowy),
- KWK Staszic-Wujek,
- KWK Mysłowice-Wesoła.

Ponadto w strukturę Spółki wchodzi 4 zakłady specjalistyczne: Zakład Remontowo-Produkcyjny, Zakład Elektrociepłowni, Zakład Górniczych Robót Inwestycyjnych oraz Zakład Informatyki i Telekomunikacji [35].



Rys. 2.1. Zestawienie kopalń należących do Polskiej Grupy Górniczej S.A. [8]

Obszary górnicze Spółki położone są na terenach 31 gmin województwa śląskiego oraz 3 gmin województwa małopolskiego. Eksploatacja prowadzona jest pod terenami 16 gmin województwa śląskiego. Powierzchnia obszarów górniczych wynosi 468,8 km². Roboty przygotowawcze i eksploatacyjne prowadzone są na 27 poziomach wydobywczych. Średnia głębokość eksploatacji przekroczyła 800 metrów. Obecnie wybierane są pokłady zalegające na głębokościach poniżej 1000 metrów. W dalszej perspektywie planowane jest pogłębianie szybów i udostępnianie niżej zalegających pokładów. W Spółce czynnych jest 71 szybów, w tym 28 szybów wentylacyjnych.

W Polskiej Grupie Górniczej S.A. ponad 60% ścian eksploatowanych jest w warunkach zagrożenia tąpnięciami. Wstrząsy rejestrowane są w większości kopalń Spółki, poza kopalnią KWK Bolesław Śmiały, która charakteryzuje się występowaniem stosunkowo niewielkiej ilości zagrożeń naturalnych [35].

Eksploatacja węgla w Polskiej Grupie Górniczej S.A. prowadzona jest wyłącznie systemem ścianowym na zawal, z wykorzystaniem kombajnu jako maszyny urabiającej. W 2023 r. w Spółce eksploatowane były średnio 32 ściany. Jednocześnie średnio 8 ścian było zbrojonych, a 6 likwidowanych. Ponadto 7 ścian pozostawało otamowanych [35]. Do zabezpieczenia wyrobisk stosowane są obudowy podporowo-osłonowe dwustojakowe [23, 24]. Odstawa urobku ze ściany realizowana jest za pomocą przenośników zgrzeblowych ciężkich (ścianowych oraz podścianowych). Następnie węgiel transportowany jest z chodników przyścianowych do zbiorników pod szybem przy pomocy przenośników taśmowych [25, 32]. W spółce pracuje średnio 667 przenośników taśmowych, a ich łączna długość wynosi około 290 km. Urobiony węgiel, po wyciągnięciu na powierzchnię, kierowany jest do jednego z dwunastu zakładów przeróbki mechanicznej węgla w Polskiej Grupie Górniczej S.A. Transport podziemny odbywa się głównie za pomocą kolejek podwieszanych i spągowych. W spółce pracuje średnio 211 kolejek podwieszanych i 276 lokomotyw dołowych [35].

W Polskiej Grupie Górniczej S.A. w użytkowaniu jest ponad 150 typów i odmian zmechanizowanych obudów ścianowych wyprodukowanych przez 14 producentów. Charakteryzują się one dużą różnorodnością zakresów geometrycznych, w wielu przypadkach bardzo zbliżonych. Podporności robocze stojaków zawierają się w przedziale od 0,7 do ponad 3 MN, a średnice pierwszego stopnia od 0,17 do ponad 0,36 m. W eksploatowanych obudowach w zdecydowanej większości przypadków stosowane jest sterowanie przyległe [23, 24].

3. Wpływ zagrożeń naturalnych na eksploatację zmechanizowanej obudowy ścianowej w świetle badań nad możliwością jej rozwoju

Zmechanizowana obudowa ścianowa eksploatowana jest głównie w warunkach zagrożeń naturalnych [96]. W polskim górnictwie do zagrożeń tych należą: zagrożenie metanowe, wyrzutami gazów i skał, wybuchem pyłu węglowego, klimatyczne, wodne, osuwiskowe, erupcyjne, siarkowodorowe, substancjami promieniotwórczymi oraz tąpnięciami [81]. To ostatnie ma istotny wpływ na pracę zmechanizowanej obudowy ścianowej [90, 95]. Oprócz wymienionych wyżej zagrożeń naturalnych, ujętych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 29 stycznia 2013 r., w kopalniach węgla kamiennego występują także zagrożenia pożarami endogenicznymi, zawałowe oraz oberwaniem się skał ze stropu i/lub ociosów. Kolejną grupę stanowią zagrożenia techniczne związane z użytkowaniem maszyn i urządzeń (mechaniczne, energetyczne, technologiczne oraz pożarami egzogenicznymi) [27].

W polskim górnictwie węgla kamiennego występują praktycznie wszystkie zagrożenia naturalne charakterystyczne dla eksploatacji podziemnej. Z uwagi na to kopalnie węgla kamiennego zaliczane są do środowisk pracy potencjalnie najbardziej niebezpiecznych [27, 126]. Zagrożenia naturalne przede wszystkim mają istotny wpływ na bezpieczeństwo ludzi pracujących w kopalniach oraz na ciągłość procesu produkcyjnego i prowadzonych robót przygotowawczych. Wysoki poziom zagrożeń naturalnych może skutkować ograniczeniem, okresowym zatrzymaniem, a nawet zaniechaniem eksploatacji, wpływając na zmniejszenie wydobywania.

3.1. Analiza zagrożenia tąpnięciami

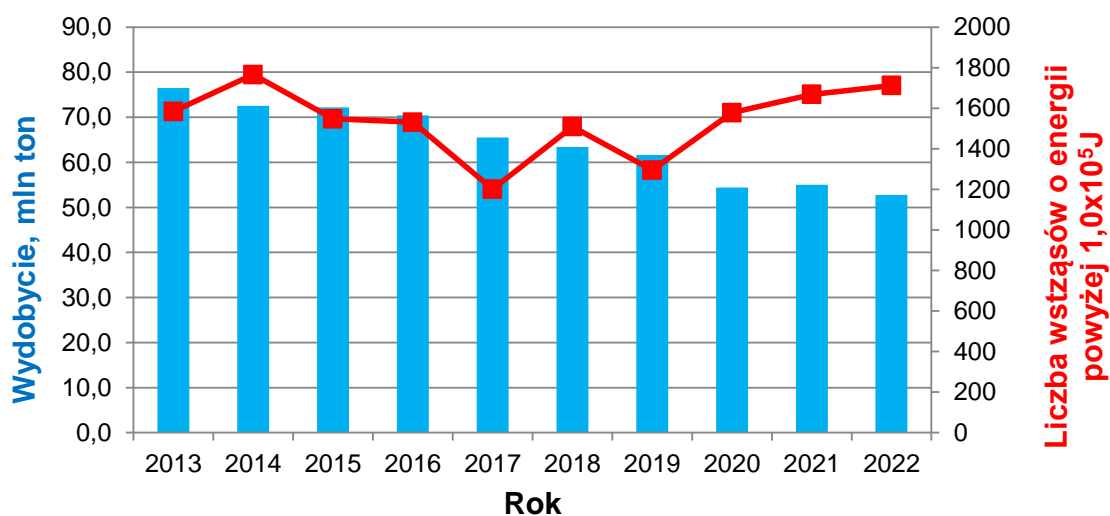
Na eksploatację obudowy zmechanizowanej największy wpływ ma zagrożenie tąpnięciami. W niniejszym rozdziale przeprowadzono analizę skał tego zagrożenia w polskim górnictwie węgla kamiennego, w oparciu o dane statystyczne z raportów [27, 125, 126] oraz na podstawie przedmiotowej literatury [62, 86, 87]. Zagrożenie tąpnięciami rozumiane jest jako możliwość zaistnienia w górotworze skłonnym do tępnięć wstrząsu, odprężenia lub tąpnięcia, w wyniku niekorzystnych warunków górnico-geologicznych. Górotwór skłonny do tępnięć charakteryzuje się zdolnością do kumulowania energii i jej nagłego wyładowania w wyniku zmiany lub zniszczenia jego struktury. Nagłe wyładowanie energii skumulowanej w górotworze określane jest mianem wstrząsu. Jeśli w wyniku wstrząsu wyrobisko ulegnie uszkodzeniu, ale nie dojdzie do utraty jego funkcjonalności, to zjawisko takie nazywamy odprężeniem. W przypadku utraty funkcjonalności wyrobiska, zjawisko nazywane jest tąpnięciem [81].

Obecnie zagrożenie tąpnięciami występuje w większości kopalń węgla kamiennego w Polsce. Stanowi ono istotny problem dla prowadzenia bezpiecznej eksploatacji, a jednocześnie wpływa na uzyskiwanie efektywnych wyników produkcyjnych przez kopalnie [9]. W ostatnich latach zagrożenie to objawiało się licznymi wysokoenergetycznymi wstrząsami oraz kilkoma zdarzeniami tępnięć i odprężeń. Skalę

zagrożenia tąpnięciami w ostatniej dekadzie przedstawiają dane statystyczne dotyczące liczby tąpnięć i wstrząsów wysokoenergetycznych (o energii powyżej $1,0 \times 10^5$ J) na tle wielkości wydobywania, ujęte w tabeli 3.1 oraz zobrazowane na rysunku 3.1. Jak można zauważyć, pomimo malejącego wydobywania, liczba rejestrowanych wstrząsów wysokoenergetycznych nie spada. Warto zaznaczyć, że od roku 2013 do roku 2022 liczba kopalń wydobywających węgiel kamienny zmniejszyła się o 35% (z 31 do 20 kopalń). Oznacza to, że statystycznie w czynnych kopalniach rejestrowanych jest coraz więcej wstrząsów wysokoenergetycznych.

Tabela 3.1. Kształtowanie się ilości wstrząsów i tąpnięć na tle wydobywania w polskich kopalniach węgla kamiennego w latach 2013-2022 [27, 125, 126]

Rok	Wydobycie [mln ton]	Wstrząsy o energii powyżej $1,0 \times 10^5$ J		Liczba tąpnięć
		Liczba wstrząsów	Sumaryczna energia wstrząsów [GJ]	
2013	76,5	1 584	2,10	1
2014	72,5	1 766	2,90	1
2015	72,2	1 548	9,70	2
2016	70,4	1 531	1,88	1
2017	65,5	1 201	2,11	3
2018	63,4	1 509	8,74	2
2019	61,5	1 295	2,21	4
2020	54,4	1 578	6,44	1
2021	55,0	1 668	2,45	2
2022	52,8	1712	2,48	3

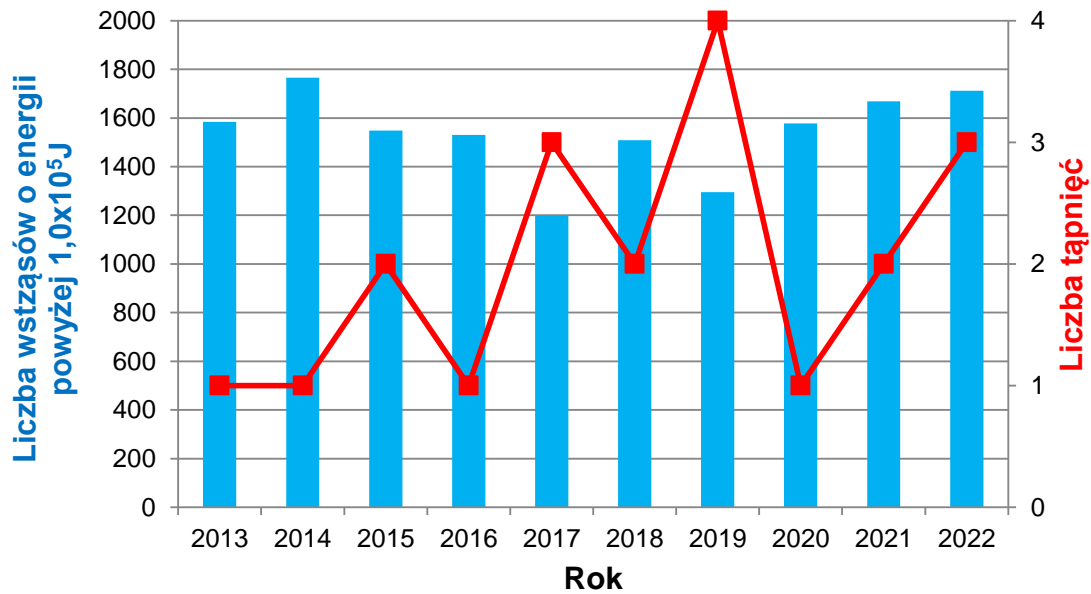


Rys. 3.1. Liczba wstrząsów o energii powyżej $1,0 \times 10^5$ J w polskich kopalniach węgla kamiennego na tle wydobywania w latach 2013-2022 [9, 27, 125, 126]

Jeśli w wyniku wstrząsu dojdzie do utraty funkcjonalności wyrobiska mamy do czynienia z tąpnięciem. W latach 2013-2022 w polskim górnictwie węgla kamiennego miało miejsce 20 tąpnięć. Wszystkie te zdarzenia zestawiono w tabeli 3.2, a na rysunku 3.2 przedstawiono ilość tąpnięć w poszczególnych latach na tle liczby zarejestrowanych wstrząsów wysokoenergetycznych (o energii powyżej $1,0 \times 10^5$ J). Z wykresu (rys. 3.2) wynika, że liczba tąpnięć nie jest ściśle związana z ilością wstrząsów wysokoenergetycznych. Wstrząsy są zjawiskami dynamicznymi, a ich skutków nie da się jednoznacznie scharakteryzować w zależności od ich energii. Jak można zauważyć na podstawie danych zestawionych w tabeli 3.2, występuje spora rozbieżność w wartościach energii wstrząsów skutkujących tąpnięciem. Odnotowane tąpnięcia spowodowane były wstrząsami o energii rzędu od 10^6 do 10^9 J. Należy zaznaczyć tu, że nie wszystkie wstrząsy wysokoenergetyczne skutkują utratą funkcjonalności wyrobiska, ale każdy taki wstrząs ma już wpływ na zabudowane w ścianie maszyny. Podczas wstrząsów, w wyniku dynamicznego oddziaływania górotworu, na maszyny również działa obciążenie dynamiczne [89, 92, 99, 114].

Tabela 3.2. Zdarzenia tąpnięcia w polskich kopalniach węgla kamiennego w latach 2013-2022 [27, 125, 126]

Rok	Kopalnia / Ruch	Energia wstrząsu, J
2013	Piekary	3×10^7
2014	Zofiówka	$8,5 \times 10^7$
2015	Halemba	9×10^6
2015	Śląsk	4×10^9
2016	Bielszowice	3×10^6
2017	Murcki-Staszic	3×10^7
2017	Mysłowice-Wesoła	3×10^8
2017	Rydułtowy	$2,6 \times 10^7$
2018	Mysłowice-Wesoła	6×10^7
2018	Zofiówka	2×10^9
2019	Bielszowice	4×10^7
2019	Murcki-Staszic	9×10^6
2019	Marcel	$2,9 \times 10^7$
2019	Rydułtowy	$9,8 \times 10^7$
2020	Bielszowice	5×10^6
2021	Bielszowice	2×10^7
2021	Murcki-Staszic	2×10^7
2022	Mysłowice-Wesoła	2×10^8
2022	Zofiówka	4×10^6
2022	Marcel	$5,5 \times 10^6$



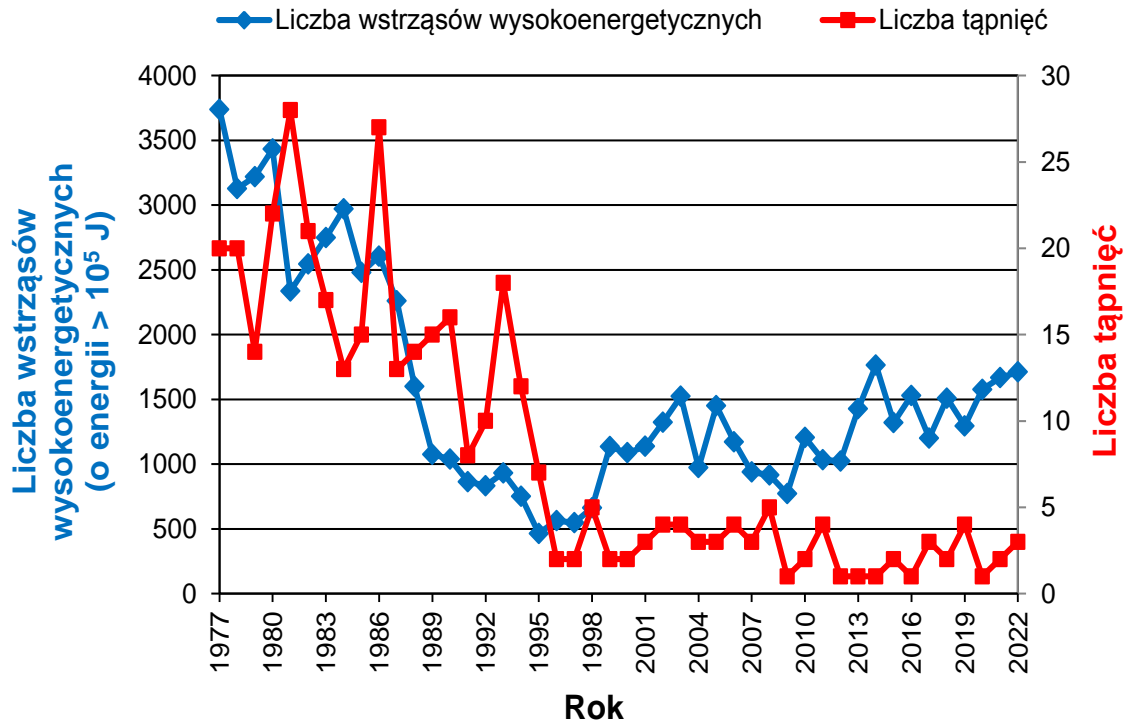
Rys. 3.2. Liczba tąpnięć w polskich kopalniach węgla kamiennego na tle ilości zarejestrowanych wstrząsów wysokoenergetycznych (o energii powyżej $1,0 \times 10^5$ J) w latach 2013-2022 [9, 27, 125, 126]

Liczba tąpnięć w ilości od 1 do 5 rocznie utrzymuje się już od roku 1996. W porównaniu do lat 70 i 80 XX wieku liczba ta znacznie spadła (rys. 3.3). Wynika to z postępu technologicznego oraz rozwoju wiedzy w zakresie prognozy i zwalczania zagrożenia tąpnięciami. Dzięki podejmowanym działaniom i stosowanej profilaktyce udało się znacząco zmniejszyć liczbę tąpnięć. Wśród aktywnych metod profilaktyki tąpniowej stosuje się:

- strzelania wstrząsowe w złożu oraz torpedujące i odprężające w skałach otaczających,
- nawadnianie calizny pokładu i skał otaczających,
- rozwiercanie otworami wielkośrednicowymi calizn złoża i skał otaczających,
- hydroszczelinowanie skał stropowych,
- szczelinowanie skał stropowych za pomocą techniki strzelniczej [8].

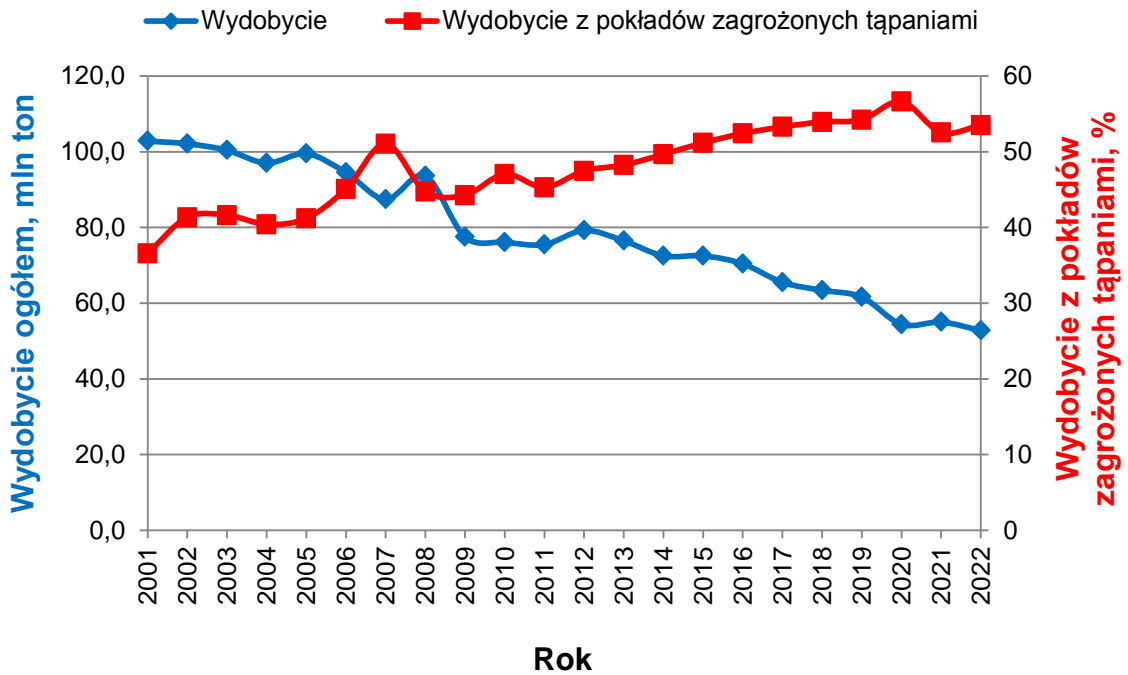
Poza wyżej wymienionymi metodami ważne jest także prawidłowe zaprojektowanie eksploatacji. Obejmuje ono właściwy dobór parametrów eksploatacji (m.in. postępu ściany), poprawną rozcinkę złoża i przede wszystkim dobór odpowiedniej obudowy ścianowej. Ponadto odprężenia pokładów dokonuje się przez eksploatację pokładów sąsiednich – mniej zagrożonych [8].

Prowadzona profilaktyka nie wpływa jednak na ograniczenie ilości wstrząsów. Z danych przedstawionych na rysunku 3.3 wynika, że w latach 1989-1998 nastąpił widoczny spadek liczby wstrząsów wysokoenergetycznych. Spowodowane to było restrukturyzacją polskiego górnictwa węglowego, która miała miejsce w roku 1989. Restrukturyzacja skutkowała znacznym zmniejszeniem wydobywania. Wpłynęło to bezpośrednio na zmniejszenie liczby wstrząsów.



Rys. 3.3. Liczba tąpnięć oraz liczba wstrząsów o energii powyżej $1,0 \times 10^5$ J w polskim górnictwie węgla kamiennego w latach 1977-2022 [8, 27, 125, 126]

Jednak, jak można zaobserwować (rys. 3.3), od roku 1999 liczba wstrząsów wysokoenergetycznych utrzymuje tendencję wzrostową, pomimo malejącego z roku na rok wydobywania. Na obecny stan niekorzystny wpływ wywierają pogarszające się warunki eksploatacji, a przede wszystkim duża średnia głębokość prowadzenia eksploatacji, silnie rozwinięta tektonika złoża, narastające zaszłości eksploatacyjne oraz współwystępowanie innych zagrożeń naturalnych. Eksploatacja węgla prowadzona jest na coraz większych głębokościach. W roku 1989 średnia głębokość eksploatacji wynosiła 524 m, w roku 2010 wzrosła do 700 m, a w 2018 do 800 m. Obecnie prowadzenie eksploatacji na głębokościach przekraczających 1000 m jest coraz powszechniejsze i należy spodziewać się, że eksploatacja będzie schodziła na coraz głębsze poziomy [8]. Obecnie zagrożenie tąpnięciami występuje w większości kopalń węgla kamiennego. Od 2014 roku ponad połowa całkowitego rocznego wydobywania węgla kamiennego pochodzi z pokładów zaliczonych do zagrożonych tąpnięciami (rys. 3.4). Procentowy udział wydobywania węgla z pokładów zagrożonych tąpnięciami stale rośnie [9].



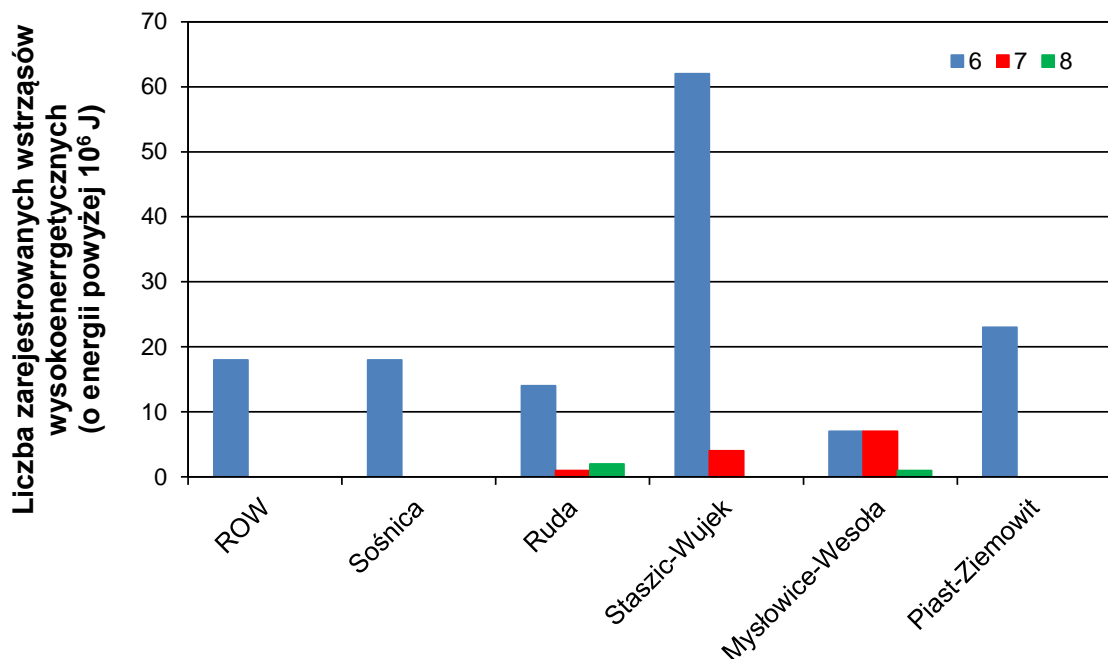
Rys. 3.4. Wydobycie węgla kamiennego w Polsce z pokładów zagrożonych tąpnięciami na tle wydobycia ogółem w latach 2001-2022 [8, 27, 125, 126]

Polska Grupa Górnicza S.A. eksploatuje pokłady leżące w Górnśląskim Zagłębiu Węglowym. Obszar ten charakteryzuje się wysoką aktywnością sejsmiczną. Wynika to z głębokiego zalegania pokładów i występujących w ich otoczeniu mocnych i grubych kompleksów piaskowcowych oraz silnie rozwiniętej tektoniki. W Górnśląskim Zagłębiu Węglowym wyróżniono rejony obszarów górniczych, które wykazują największą aktywność sejsmiczną. W obszarach tych rejestrowane są epicentra wstrząsów górotworu [35, 62, 87].

Dla scharakteryzowania aktywności sejsmicznej w Polskiej Grupie Górnicznej S.A. przeprowadzono analizę wstrząsów wysokoenergetycznych (o energii powyżej 10^6 J). Analiza objęła okres 12 miesięcy (od 20.08.2021r. do 20.08.2022r.). Uzyskane dane zestawiono w tabeli 3.3 oraz na rysunku 3.5. Zagrożenie tąpnięciami występuje w 6 spośród 7 kopalń należących do Spółki. W analizowanym okresie najwięcej wstrząsów wysokoenergetycznych zarejestrowano w kopalni Staszic-Wujek. Wśród wstrząsów wysokoenergetycznych dominują wstrząsy o energii rzędu 10^6 J. Wstrząsy o energiach rzędu 10^7 i 10^8 J zarejestrowano tylko na Ruchu Bielszowice kopalni Ruda oraz w kopalniach Staszic-Wujek i Mysłowice-Wesoła [8].

Tabela 3.3. Ilość wstrząsów o energii powyżej 10^6 J, zarejestrowanych w okresie od 20.08.2021r. do 20.08.2022r. w kopalniach Polskiej Grupy Górniczej S.A. [8]

Kopalnia / Ruch	Liczba wstrząsów o energii powyżej			Suma
	10^6 J	10^7 J	10^8 J	
Rydułtowy	15	0	0	15
Marcel	3	0	0	3
Sośnica	18	0	0	18
Halemba	1	0	0	1
Bielszowice	13	1	2	16
Staszic-Wujek	62	4	0	66
Mysłowice-Wesoła	7	7	1	15
Piast	6	0	0	6
Ziemowit	17	0	0	17
SUMA:	142	12	3	157



Rys. 3.5. Liczba wstrząsów o energii powyżej 10^6 J zarejestrowanych w Polskiej Grupie Górniczej S.A. w okresie od 20.08.2021r. do 20.08.2022r. [8]

3.2. Wyniki badań ankietowych dotyczących zagrożeń naturalnych

W celu sprawdzenia świadomości górników w zakresie zagrożeń naturalnych oraz ich wpływu na eksploatację zmechanizowanej obudowy ścianowej przeprowadzono badania ankietowe. W badaniu wzięło udział 100 pracowników Polskiej Grupy Górniczej S.A., którzy zatrudnieni są w ścianie wydobywczej, gdzie eksploatowana jest zmechanizowana obudowa ścianowa. Wśród ankietowanych

znaleźli się zarówno pracownicy fizyczni, jak i osoby dozoru. Badania prowadzone były w oddziałach górniczych, mechanicznych i elektrycznych [9].

Jak wynika z przeprowadzonych badań zdecydowana większość pracowników zna zagrożenia występujące w kopalniach węgla kamiennego. Osiemdziesiąt dwa procent (82%) badanych interesuje się stanem zagrożeń naturalnych w swoim zakładzie pracy. Nieco mniej, bo siedemdziesiąt dwa procent (72%) ankietowanych deklaruje znajomość stopnia zagrożeń naturalnych dla ściany, w której pracuje. Osiemdziesiąt pięć procent (85%) badanych uważa, że zagrożenia naturalne mają bezpośredni wpływ na pracę maszyn eksploatowanych w ścianie. Zdecydowana większość respondentów, bo aż dziewięćdziesiąt osiem procent (98%), zaznaczyła, że zagrożenie tąpnięciami wpływa na eksploatację zmechanizowanej obudowy ścianowej. Siedemdziesiąt trzy procent (73%) badanych zauważyło nasilenie występujących w kopalniach zagrożeń naturalnych. Spośród nich wszyscy zgodnie zaobserwowali wzrost zagrożenia tąpnięciami. Ponadto większość z nich uważa, że wzrosło również zagrożenie metanowe oraz klimatyczne [9].

Siedemdziesiąt siedem procent (77%) pracowników twierdzi, że warunki eksploatacji ścian pogarszają się z biegiem lat. Pracownicy Ci są zgodni co do tego, że trudniejsze warunki eksploatacji mogą być spowodowane wzrostem zagrożeń naturalnych. Aż osiemdziesiąt dwa procent (82%) ankietowanych zaobserwowało wzrost liczby wstrząsów w ścianie w ostatnim czasie. Ankietowani zgodnie odpowiedzieli, że w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu powinien być skrócony czas pracy. Tego zdania jest osiemdziesiąt osiem procent (88%) pracowników. Tylko czterdzieści sześć procent (46%) badanych uważa, że obecna profilaktyka przeciwtąpniowa dobrze spełnia swoją rolę. Ponad połowa (61%) respondentów czuje się bezpiecznie w swoim miejscu pracy. Jednocześnie zaledwie czterdzieści dwa procent (42%) ankietowanych uważa, że zmechanizowana obudowa ścianowa zapewnia odpowiedni poziom bezpieczeństwa dla pracujących w ścianie ludzi oraz maszyn. Pracownicy dostrzegają konieczność optymalizacji maszyn pracujących w ścianie w celu dostosowania ich do obecnego stanu zagrożeń naturalnych. Tego zdania jest aż dziewięćdziesiąt procent (90%) badanych [9].

3.3. Wyniki badań ankietowych czynnika ludzkiego w celu rozwoju konstrukcji obudowy zmechanizowanej

Pracę nad rozwojem układu podpornościowego stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej rozpoczęto od badań ankietowych. Techniki ankietowe są powszechnie stosowaną metodą w badaniu opinii na określony temat. Badania, będące tematem niniejszego rozdziału, przeprowadzono w kopalniach Polskiej Grupy Górniczej S.A. Badania obejmowały swoim zakresem kilka aspektów. Sprawdzone świadomość górników w zakresie wdrażania nowych technologii w kopalniach oraz znajomość przemysłu 4.0. Dokonano oceny istniejących rozwiązań technologicznych, ze szczególnym uwzględnieniem obudowy zmechanizowanej, a także rozpoznano oczekiwania i potrzeby górników w zakresie jej rozwoju [10].

Z przeprowadzonych badań wynika, że ponad trzydzieści sześć procent (36,5%) respondentów wie czym jest Przemysł 4.0, a dwadzieścia dwa procent (22%) spośród ankietowanych interesuje się nowymi rozwiązaniami z zakresu Przemysłu 4.0. Pojęcie Przemysłu 4.0 znane jest zarówno pracownikom fizycznym, jak i osobom doboru średniego i wyższego, przy czym zdecydowana większość z nich to osoby ze średnim i wyższym wykształceniem. Bez względu na znajomość pojęcia Przemysłu 4.0, prawie wszyscy ankietowani są zgodni co do tego, że rozwój technologii przekłada się na szybsze tempo wzrostu gospodarczego. Zdecydowana większość badanych pracowników uważa, że wdrażanie innowacyjnych rozwiązań wpływa także na sukces przedsiębiorstwa. Ponad połowie respondentom trudno było ocenić czy rozwiązania z Przemysłu 4.0 mogą spowodować obniżenie kosztów produkcji. Zaledwie dwadzieścia dwa procent (22%) badanych uważa, że Przemysł 4.0 może mieć wpływ na obniżenie kosztów produkcji, a niespełna dwa procent (1,5%) nie zgadza się z tym stwierdzeniem. Z kolei na pytanie czy innowacyjne rozwiązania są konieczne, by przedsiębiorstwo było konkurencyjne na rynku międzynarodowym twierdząco odpowiedziało aż dziewięćdziesiąt procent (90%) spośród ankietowanych [10].

Ponad połowa pracowników (52%) chciałaby, aby ich praca została zastąpiona przez inteligentne maszyny. Jednocześnie aż czterdzieści procent (40%) respondentów boi się utraty miejsc pracy spowodowanej automatyzacją i Przemysłem 4.0. Tylko trzydzieści procent (30%) ankietowanych nie ma obaw związanych z redukcją miejsc pracy i taka sama grupa badanych nie ma zdania w tym temacie. Ponad połowa badanych (56%) zauważa w swojej codziennej pracy innowacyjne rozwiązania. Pomimo obaw związanych z utratą miejsc pracy, zdecydowana większość, bo aż dziewięćdziesiąt jeden procent (91%) badanych, deklaruje zaufanie w stosunku do nowych technologii. Ankietowani są zgodni co do tego, że kopalnie potrzebują innowacyjnych rozwiązań. Taką opinię wyraziło aż osiemdziesiąt osiem procent (88%) badanych. Respondenci są również solidarni w kwestii wprowadzania automatyzacji i cyfryzacji w kopalniach. Ponad siedemdziesiąt siedem procent (77,5%) badanych popiera takie działania [10].

Górnicy pracujący w ścianie nie są zadowoleni z aktualnego poziomu wydobywania. Ponad sześćdziesiąt trzy procent (63,5%) badanych uważa, że wydobywanie nie jest na odpowiednim poziomie. Zaledwie dwadzieścia sześć procent (26,5%) respondentów wyraża zadowolenie w tej kwestii. Większość badanych (66,5%) twierdzi, że automatyzacja wpływa na wzrost wydobywania. Ponadto górnicy w większości uważają, że należałoby zwiększyć postęp ściany. Taką opinię wyraziło sześćdziesiąt procent (60%) badanych. Jednocześnie pięćdziesiąt cztery procent (54%) respondentów uważa, że możliwe jest zwiększenie liczby cykli pracy kombajnu na dobę. Górnicy widzą również potrzebę intensyfikacji produkcji i koncentracji wydobywania, działania te popiera ponad sześćdziesiąt sześć procent (66,5%) badanych [10].

Ponad połowa górników (60,5%) ocenia swoje miejsce pracy jako bezpieczne. Ponad dwadzieścia pięć procent (25,5%) badanych pracowników nie ma poczucia bezpieczeństwa w codziennej pracy. Ankietowani zgodnie twierdzą, że nowe

technologie poprawiają bezpieczeństwo pracy. Aż osiemdziesiąt osiem procent (88%) górników wyraziło takie zdanie. Pomimo, iż ponad połowa górników czuje się bezpiecznie w swoim miejscu pracy, to aż ponad dziewięćdziesiąt cztery procent (94,5%) badanych widzi potrzebę poszukiwania nowych rozwiązań w zakresie poprawy bezpieczeństwa [10].

Prawie połowa (49%) górników uważa, że obecny rozwój obudowy zmechanizowanej jest na odpowiednim poziomie. Czterdzieści procent (40%) badanych nie wyraża zadowolenia z aktualnie stosowanej obudowy, a jedenaście procent (11%) ankietowanych nie ma zdania w tym temacie. Podobne odpowiedzi uzyskano na pytanie czy sekcje obudowy dobrze spełniają swoje wymagania – ponad czterdzieści jeden procent (41,5%) respondentów odpowiedziało twierdząco, ponad trzydzieści sześć procent (36,5%) przecząco, a dwadzieścia dwa procent (22%) nie wyraziło jednoznacznej opinii. Zdecydowana większość pracowników (86%) wie czym jest podporność obudowy. Jednocześnie w kwestii uzyskania przez sekcje wymaganej podporności i prawidłowego podparcia stropu wyrobiska zdania są podzielone. Czterdzieści procent (40%) badanych uważa, że sekcje obudowy pracują przy wymaganej podporności, a dwanaście procent (12%) twierdzi przecząco. Z kolei ponad czterdzieści pięć procent (45,5%) ankietowanych odpowiedziało, że strop wyrobiska jest prawidłowo podparty, a trzydzieści siedem procent (37%) uważa przeciwnie. Górnicy byli bardziej zgodni w kwestii niezawodności obudowy zmechanizowanej. Załedwie dziesięć procent (10%) badanych uważa, że obecnie stosowane systemy sterowania obudową są niezawodne. Aż ponad osiemdziesiąt dwa procent (82,5%) respondentów nie wyraża zadowolenia w tej kwestii. Sześćdziesiąt procent (60%) górników dostrzega problemy w dostawianiu sekcji obudowy. Ponadto ponad połowa ankietowanych (65,5%) twierdzi, że często pojawiają się awarie układu hydraulicznego. Górnicy większością głosów (73,5%) odpowiedzieli, że obudowa zmechanizowana wymaga usprawnień i innowacyjnych rozwiązań. Aż ponad osiemdziesiąt jeden procent (81,5%) badanych uważa, że niezawodna praca obudowy może wpłynąć na wzrost wydobywania [10].

W zakresie rozwoju obudowy zmechanizowanej górnicy są zgodni co do tego, że trzeba dążyć do zmniejszenia jej awaryjności. Taką opinię wyraziło ponad osiemdziesiąt procent (80,5%) badanych. Większość badanych pracowników (77,5%) uważa, że należy monitorować parametry pracy obudowy. Ponadto osiemdziesiąt dziewięć procent (89%) respondentów widzi potrzebę kontrolowania czy sekcje zostały rozparte do wymaganej podporności wstępnej. W kwestii automatycznego przestawiania sekcji zdania górników są podzielone. Czterdzieści procent (40%) badanych widzi w swoim miejscu pracy możliwość automatycznego dostawiania, a trzydzieści trzy procent (33%) ankietowanych uważa, że wprowadzenie tego rozwiązania nie jest możliwe, pozostałe dwadzieścia siedem procent (27%) nie ma zdania w tym temacie. Jednocześnie górnicy oczekują wdrażania nowych rozwiązań. Pięćdziesiąt sześć procent (56%) badanych uważa, że należy usprawnić obecne systemy sterowania sekcją. Ponad sześćdziesiąt siedem procent (67,5%) respondentów oczekuje

wsparcia w procesie rozpięwania sekcji i uzyskania wymaganej podporności. Zdaniem ankietowanych czas przestawiania sekcji wpływa na wielkość wydobywania. Tego zdania jest ponad siedemdziesiąt pięć procent (75,5%) badanych. Jednocześnie niespełna czterdzieści osiem procent (47,5%) uważa, że można przyspieszyć operację przestawiania sekcji, a trzydzieści procent (30%) zaprzecza temu. Czterdzieści cztery procent (44%) badanych twierdzi, że należy poszukiwać nowych rozwiązań, które miałyby na celu skrócenie czasu operacji dostawiania sekcji [10].

3.4. Wnioski

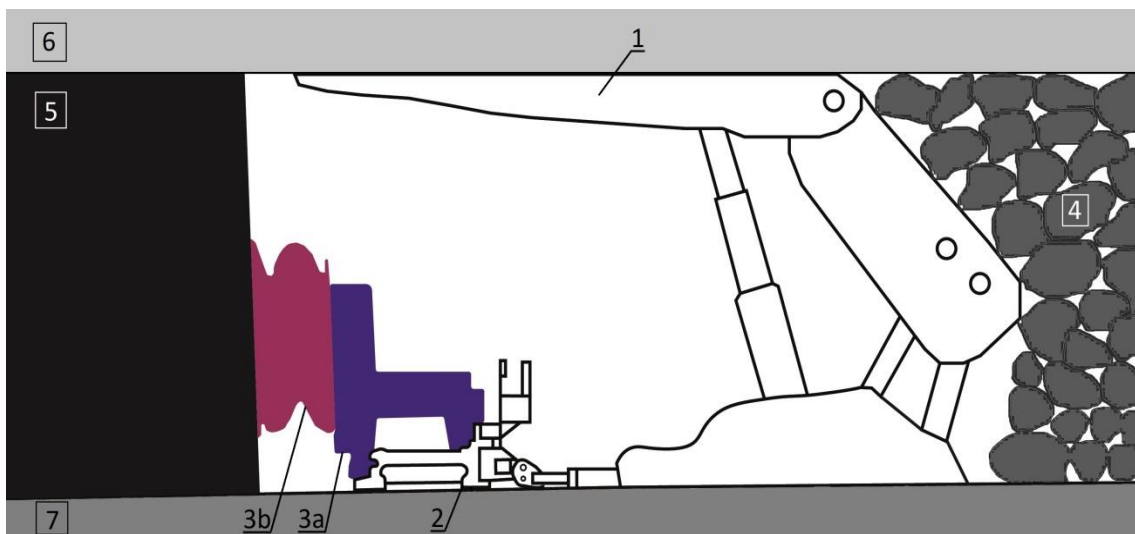
Spadek wielkości wydobywania nie przekłada się na zmniejszenie skali zagrożeń naturalnych. Wręcz przeciwnie, na przestrzeni ostatnich lat obserwuje się nasilenie zagrożenia tąpnięciami. W kopalniach rejestrowanych jest coraz więcej wstrząsów, o znacznych energiach. Wzrost liczby wstrząsów został również zaobserwowany przez górników pracujących w ścianie, co wykazały przeprowadzone badania ankietowe. Związane jest to przede wszystkim z prowadzeniem eksploatacji na coraz większych głębokościach, dużą koncentracją wydobywania oraz zaszłościami eksploatacyjnymi. Wzrost zagrożenia tąpnięciami determinuje konieczność doskonalenia prowadzonej profilaktyki, poszukiwania nowych rozwiązań, ale też dostosowywania maszyn i urządzeń do coraz trudniejszych warunków pracy.

Zmieniające się warunki eksploatacji obudowy zmechanizowanej, w tym przede wszystkim rosnąca liczba wstrząsów wysokoenergetycznych, determinują konieczność ciągłego jej rozwoju i optymalizacji. Zdanie to podzielają również górnicy pracujący w ścianie wydobywczej. Ponad połowa z nich uważa, że obecnie stosowana obudowa nie zapewnia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa. Górnicy oczekują poprawy w tym zakresie. Większość z nich dostrzega problem częstych awarii, w tym również awarii układu hydraulicznego. Tym samym pracownicy kopalń oczekują innowacyjnych rozwiązań, które pozwolą poprawić niezawodność pracy obudowy zmechanizowanej. Górnicy widzą także potrzebę monitorowania parametrów pracy obudowy ścianowej. Dostrzegają oni konieczność kontrolowania uzyskania przez sekcje obudowy wymaganej podporności. Zdaniem ankietowanych górników niezawodna praca obudowy zmechanizowanej może wpłynąć na wzrost wydobywania.

Pomimo iż pojęcie przemysłu 4.0 nie jest górnikom powszechnie znane, to uważają oni, że innowacje determinują wzrost gospodarczy oraz wpływają na konkurencyjność i sukces przedsiębiorstwa. Jednocześnie deklarują zaufanie w stosunku do nowych technologii. Pracownicy Polskiej Grupy Górniczej S.A. zauważają potrzebę intensyfikacji produkcji i wzrostu wydobywania oraz oczekują wdrażania innowacyjnych rozwiązań w Spółce. Pomimo, iż ponad połowa ankietowanych czuje się bezpiecznie w swoim miejscu pracy, to ich zdaniem należy dążyć do poprawy bezpieczeństwa.

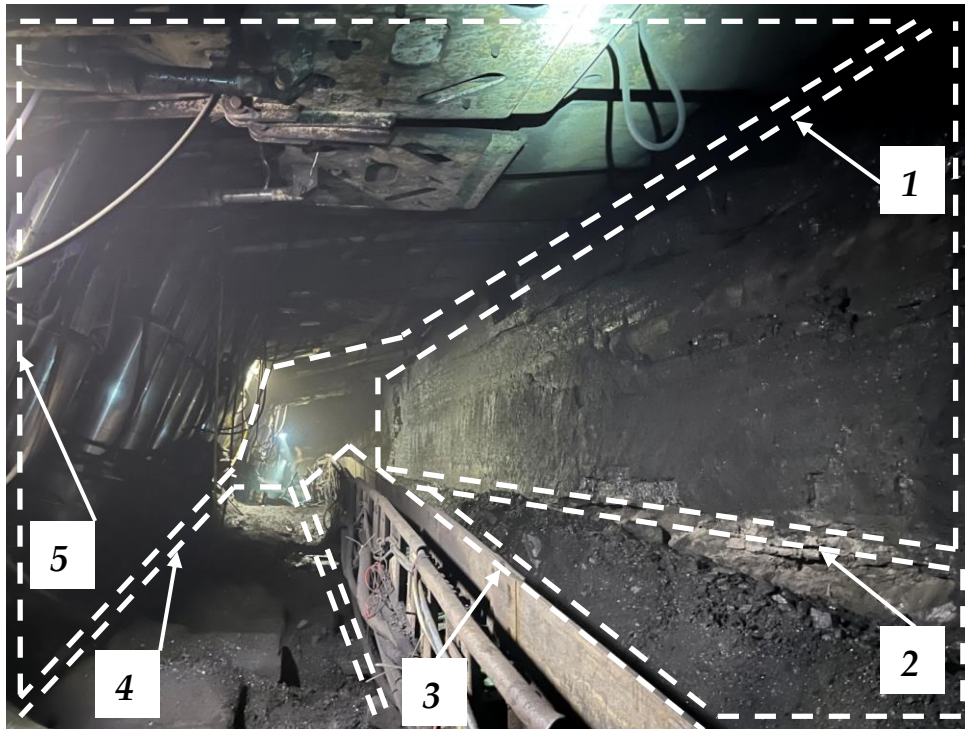
4. Zmechanizowany kompleks ścianowy

Wydobycie węgla kamiennego odbywa się metodą odkrywkową oraz głębinową [40, 118]. W Polsce węgiel kamienny wydobywany jest metodą głębinową z wykorzystaniem zmechanizowanych kompleksów ścianowych (rys. 4.1). Kompleksy te tworzą zespoły maszyn, które służą do mechanizacji procesu urabiania, ładowania oraz transportu urobku. Maszyny wchodzące w skład kompleksu ścianowego charakteryzuje wzajemna współzależność konstrukcyjna i ruchowa [54]. Podstawową funkcją kompleksu ścianowego jest uzyskanie założonej wydajności, przy jednoczesnym zachowaniu bezpieczeństwa [39, 40].



Rys. 4.1. Widok zmechanizowanego kompleksu ścianowego [108], gdzie: 1 – zmechanizowana obudowa ścianowa, 2 – przenośnik zgrzeblowy ścianowy, 3a – kombajn ścianowy, 3b – organ urabiający kombajnu, 4 – zawal, 5 – ocios węglowy, 6 – strop wyrobiska, 7 – spąg wyrobiska

W skład zmechanizowanego kompleksu ścianowego wchodzi maszyna urabiająca, przenośnik zgrzeblowy oraz zmechanizowana obudowa ścianowa (rys. 4.2). Do urabiania najczęściej wykorzystywany jest kombajn, w przypadku niskich pokładów zastosowanie znajdują strugi. W Polskiej Grupie Górniczej S.A. eksploatację prowadzi się wyłącznie z wykorzystaniem kombajnu. Przenośnik zgrzeblowy transportuje urobiony węgiel ze ściany do wyrobiska przyścianowego, na dalsze środki odstawy. Z kolei zadaniem obudowy zmechanizowanej jest utrzymanie stateczności wyrobiska oraz zabezpieczenie załogi pracującej w ścianie i pozostałych maszyn przed opadem skał stropowych oraz przed odpadającymi z czoła ściany kęsami węgla. Ponadto obudowa odpowiada za przemieszczanie całego kompleksu ścianowego za postępem frontu ściany i stanowi ona oparcie dla pozostałych maszyn kompleksu [37, 85, 103].



Rys. 4.2. Widok ściany wydobywczej [114], gdzie zaznaczono obszary:
 1 – ocios węglowy, 2 – ścieżka przejazdu kombajnu, 3 – przenośnik zgrzeblowy ścianowy,
 4 – ścieżka przejścia załogi, 5 – zmechanizowana obudowa ścianowa

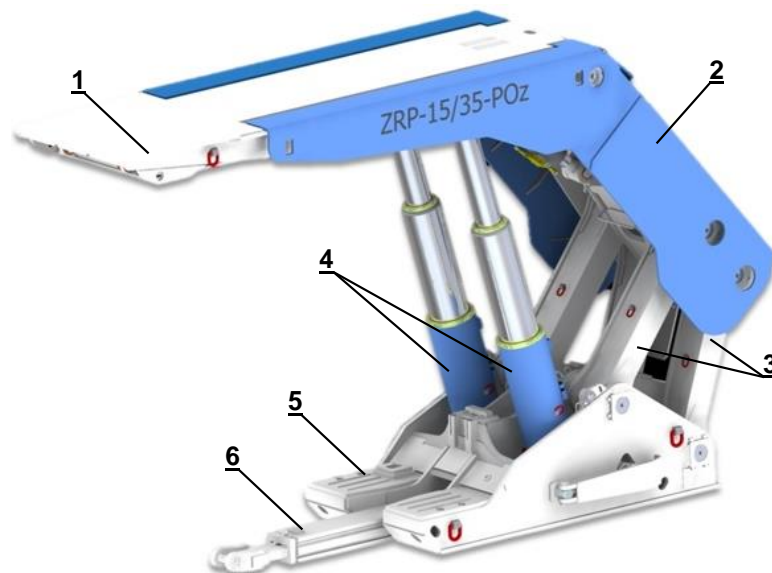
4.1. Obudowa zmechanizowana – stan, budowa, znaczenie

Obudowa zmechanizowana stanowi podstawowe zabezpieczenie w ścianie wydobywczej. Zestaw obudowy zmechanizowanej składa się z kilkudziesięciu do około 150 sekcji – w zależności od długości ściany oraz zastosowanej podziałki sekcji. Obudowa jest najbardziej kosztownym elementem całego kompleksu. Jednocześnie od pracy obudowy zależy będzie efektywność prowadzonej eksploatacji oraz bezpieczeństwo w ścianie wydobywczej [14, 36, 102].

Obudowa zmechanizowana została wprowadzona na rynek w Niemczech na przełomie 1942 i 1943 roku [37, 93]. Od tego czasu powstało kilkanaście typów sekcji obudowy zmechanizowanej, które nadal są optymalizowane i udoskonalane, celem przystosowania ich do obecnych warunków pracy [13, 21, 83, 98, 113]. Rozwój obudowy zmechanizowanej ukierunkowany jest przede wszystkim na przystosowanie jej do eksploatacji w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu [17, 22, 42, 46]. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Energii [82], „w ścianach prowadzonych w rejonach występowania wstrząsów górotworu – przystosowuje się poprzez upodatnienie do przyjmowania obciążeń dynamicznych”. Upodatnienie definiowane jest jako właściwość obudowy zmechanizowanej do przyjmowania obciążeń dynamicznych, pochodnych wstrząsu górotworu, bez przekroczenia dopuszczalnych przeciążeń stojaka hydraulicznego [93, 102, 110]. Wiodącą metodą upodatnienia jest stosowana w Głównym Instytucie Górnictwa metoda do oceny obudowy ścianowej [77, 91]. Metodą uzupełniającą jest ocena mocy, która zakłada, że zmechanizowana obudowa ścianowa musi mieć większą moc od mocy oddziaływania górotworu w chwili

wstrząsu [101, 102]. Opracowane metody upodatnienia są potwierdzane i uzupełniane przez badania stanowiskowe [97], szczególnie badania stojaka obciążanego udarem swobodnie spadającej masy [88, 94, 100, 104, 117, 128]. Ponadto prowadzone są badania symulacyjne w zakresie przepływów w układzie hydraulicznym [18].

Współcześnie najczęściej stosowanym typem sekcji obudowy zmechanizowanej są sekcje podporowo-osłonowe dwustojakowe z lemniskatowym mechanizmem prowadzenia stropnicy [24]. W sekcjach tych stropnica połączona jest przegubowo ze spągnicą za pomocą osłony odzawałowej oraz przednich i tylnych łączników, zwanych lemniskatami. Konstrukcja tego typu sprawia, że koniec stropnicy przemieszcza się po krzywej lemniskatowej, prawie prostopadle do spągu, dzięki czemu strop jest zabezpieczony aż do ociosu [37]. Sekcję tego typu, produkowaną przez Zakład Remontowo-Produkcyjny Polskiej Grupy Górniczej S.A., przedstawiono na rysunku 4.3.



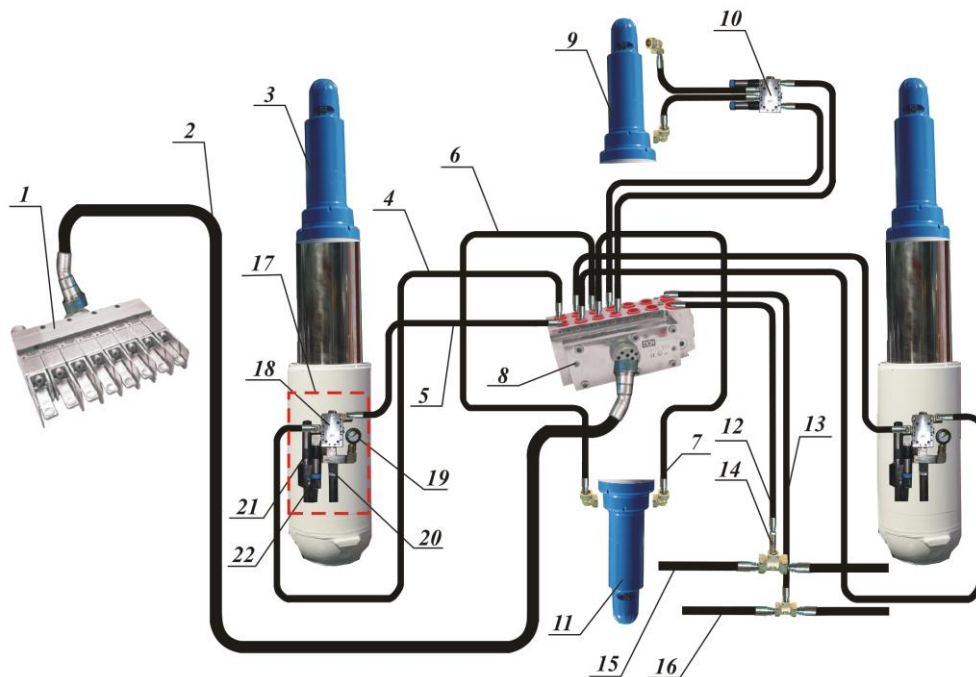
Rys. 4.3. Zmechanizowana obudowa ścianowa [109], gdzie: 1 – stropnica, 2 – osłona odzawałowa, 3 – lemniskaty, 4 – stojaki hydrauliczne, 5 – spągnica, 6 – układ przesuwu

Sekcja obudowy zmechanizowanej składa się z elementów podstawowych i wyposażenia dodatkowego. Grupę elementów podstawowych stanowią te, które przenoszą obciążenia ze strony górotworu. Zaliczamy do nich stropnicę, spągnicę oraz osłonę odzawałową. Stropnica przenosi siłę wywołaną naciskiem skał stropowych. Spągnica przenosi obciążenia wywołane naciskiem spągu. Natomiast osłona odzawałowa przeznaczona jest do przejmowania i przenoszenia (w całości lub częściowo) siły podporności oraz siły równoległej do stropu pokładu, pomiędzy stropnicą a spągnicą. Ponadto osłania ona przestrzeń od strony zrobów, przez co przejmuje również obciążenia od rumowiska skalnego tworzącego zawał. Osłona odzawałowa połączona jest ze stropnicą i spągnicą bezpośrednio lub przez układ łączników, zwanych lemniskatami [66, 85].

Wymienione wyżej elementy podstawowe wraz z lemniskatami i układem przesuwu, połączone mechanicznie sworzniami, tworzą konstrukcję stalową sekcji

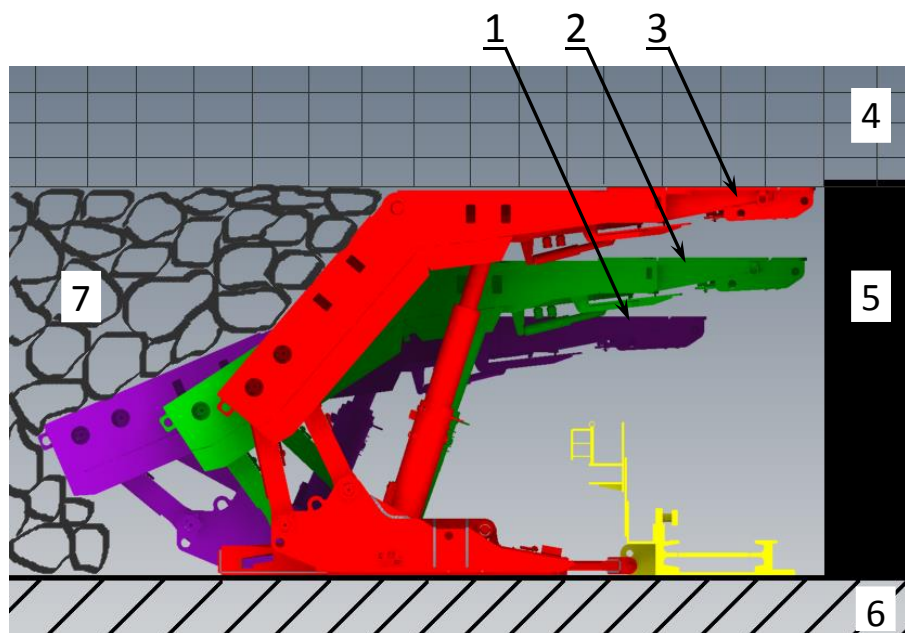
obudowy zmechanizowanej. Poza konstrukcją, w budowie sekcji można wyróżnić hydraulikę siłową oraz układ sterowania. Najważniejszymi elementami hydrauliki siłowej są stojaki oraz podpory stropnicy. Siłowniki te odpowiadają za uzyskanie podporności. Pozostałe siłowniki określane są mianem pomocniczych. Do tej grupy należą: przesuwnik, siłowniki stropnicy wychylnej i wysuwnej, siłowniki osłony czoła ściany oraz pola przejścia, siłownik podnoszenia spągnic i siłowniki korekcyjne. Siłowniki pomocnicze nie przenoszą obciążeń wywołanych naciskiem skał stropowych, ale są niezbędne do funkcjonowania sekcji obudowy zmechanizowanej [67].

Do sterowania siłownikami, a tym samym realizacji wszystkich funkcji sekcji obudowy zmechanizowanej, służą hydrauliczne elementy sterujące, które razem z owężowaniem tworzą układy sterowania (rys. 4.4). Do elementów sterujących zaliczamy cztery grupy zaworów. Zawory typu A ograniczają wewnętrzne ciśnienie hydrauliczne cieczy w elementach wykonawczych (zawory ograniczające ciśnienie). Zawory typu B odcinają dopływ cieczy bezpośrednio do elementów wykonawczych (zawory zwrotne). Zawory typu C po otwarciu umożliwiają dopływ cieczy do elementów wykonawczych lub do innych zaworów w celu ich przesterowania, zaś w neutralnym położeniu odcinają dopływ cieczy (rozdzielacze). Ostatnią grupę stanowią zawory typu D – są to wszystkie pozostałe zawory, które nie mogą być zakwalifikowane do typów od A do C [68].



Rys. 4.4. Schemat systemu sterowania sekcją wraz z układem zabezpieczającym [102], gdzie:
 1 – sterownik, 2 – multiwąż, 3 – stojak hydrauliczny, 4 – wąż zasilający stojak, 5 – wąż spływowy,
 6 – wąż zasilający siłownik z układu przesuwnego, 7 – wąż spływowy z układu przesuwnego,
 8 – blok wykonawczy, 9 – siłownik podpory stropnicy, 10 – blok zaworowy sterujący siłownikiem
 podpory stropnicy, 11 – siłownik układu przesuwnego, 12 – wąż spływowy z bloku wykonawczego,
 13 – wąż zasilający blok wykonawczy, 14 – zawór zwrotny, 15 – magistrala spływowa,
 16 – magistrala zasilająca, 17 – układ sterowania stojakiem, 18 – blok zaworowy,
 19 – ciśnieniomierz, 20 – przyłącze wyprowadzające ciecz z przestrzeni podtłokowej,
 21 – zawór bezpieczeństwa, 22 – zawór przelewowy w bloku zaworowym

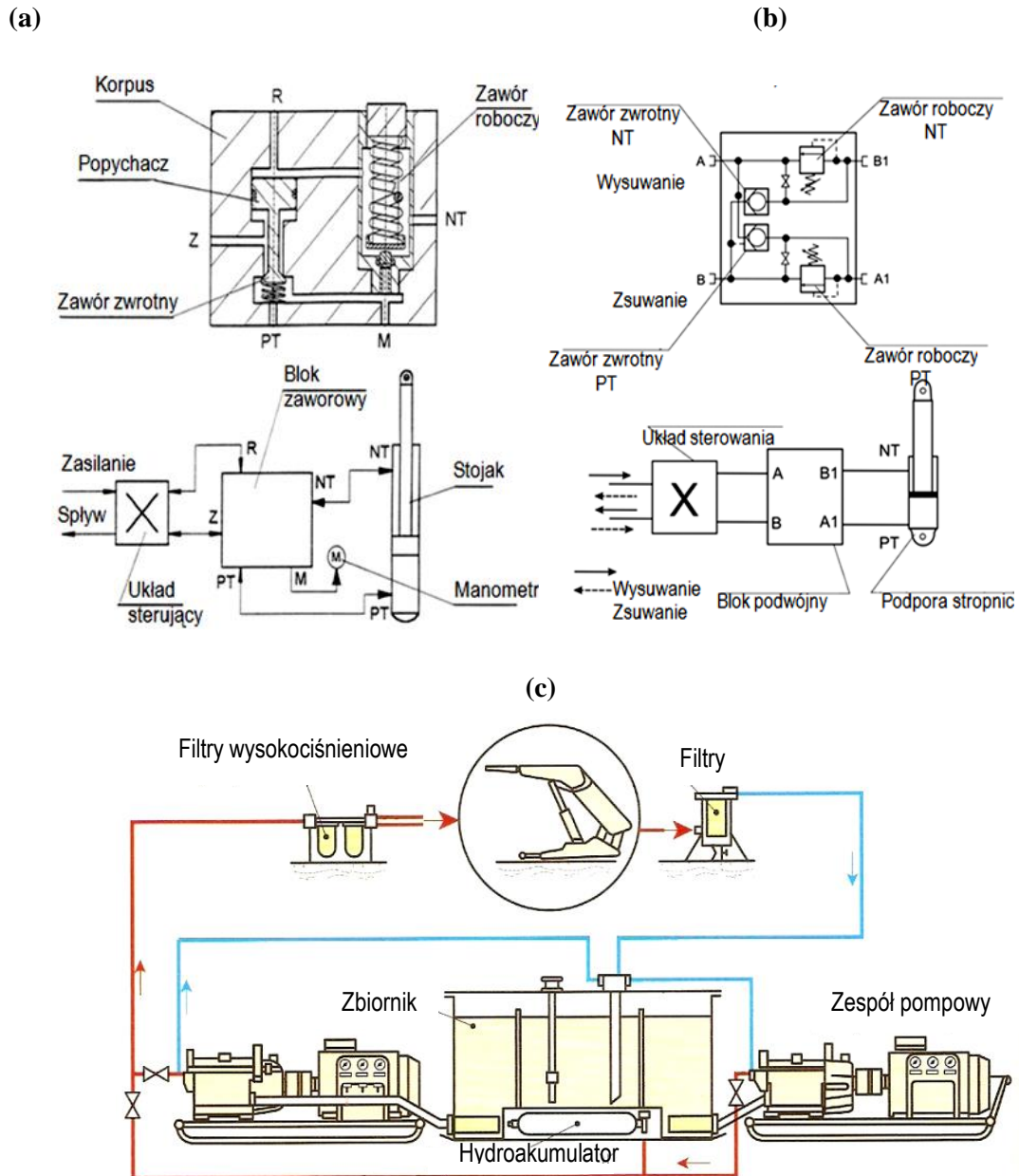
Praca sekcji obudowy zmechanizowanej polega na powtarzalnych cyklach. W każdym takim cyklu wyróżniamy następujące etapy: rabowanie sekcji, dostawianie, rozpieranie i zabezpieczanie stropu (rys. 4.5). Rabowanie sekcji obudowy polega na obniżeniu jej wysokości, tak by stropnica utraciła kontakt ze stropem wyrobiska. Dzięki temu możliwe jest przesunięcie sekcji w stronę ociosu węglowego (dostawianie). Po przestawieniu sekcji w nowe położenie następuje jej rozparcie pomiędzy stropem a spągiem wyrobiska ścianowego - tak by ponownie uzyskać kontakt stropnicy ze stropem. Po rozparciu sekcja przejmuje nacisk skał stropowych, zabezpieczając strop wyrobiska. W ścianach z zastosowaniem techniki kombajnowej opisany cykl pracy realizowany jest po każdym przejeździe kombajnu, a sekcje przestawiane są o odcinek równy zabiorowi kombajnu.



Rys. 4.5. Cykl pracy sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej [106], gdzie:
1 – rabowanie sekcji, 2 – przestawianie sekcji, 3 – rozpieranie sekcji
w nowym położeniu, 4 – strop, 5 – calizna węglowa, 6 – spąg, 7 – zawal

Zmechanizowana obudowa ścianowa zasilana jest z sieci hydraulicznej cieczą pod ciśnieniem (rys. 4.6). 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 gumowe 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 o wartości około 25÷30 MPa. Z kolei ciśnienie w magistrali spływowej wynosi kilka MPa. Ciecz w magistrali spływowej przemieszcza się pod wpływem ciśnienia cieczy wypływającej z poszczególnych siłowników obudowy. 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.



Rys. 4.6. Konstrukcja układu funkcji sterujących wykonywanych przez zmechanizowaną obudowę ścianową [124], gdzie: (a) stojak hydrauliczny, (b) podpora stropnicy, (c) agregat zasilający

4.2. Siła podporności zmechanizowanej obudowy ścianowej

Zgodnie z definicją zapisaną w normie [66], przez podporność sekcji obudowy należy rozumieć reakcję sekcji prostopadłą do stropu, która jest funkcją wysokości sekcji obudowy i która występuje przy podporności roboczej. W trakcie pracy obudowy zmechanizowanej można wyróżnić następujące rodzaje siły podporności:

- podporność wstępną,
- podporność nominalną,

- podporność roboczą.

Podporność wstępną uzyskuje się w momencie rozparcia sekcji obudowy i zależy ona przede wszystkim od ciśnienia zasilania występującego w danej chwili w magistrali zasilającej ścianę. Po przejściu przez obudowę nacisku skał stropowych, sekcja stopniowo zwiększa siłę podporności 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. Jej wartość, obliczona z pominięciem tarcia, wynika z geometrii obudowy [66].

Podporność sekcji obudowy zmechanizowanej zależy od siły podporności stojaków hydraulicznych, podpory stropnicy, jak również geometrii sekcji, przy czym największy wpływ będzie mieć podporność stojaków. Siłę podporności stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej można opisać następującymi zależnościami:

- siła podporności wstępnej:

$$F_w = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p_{wst}, N \quad (4.1)$$

- siła podporności roboczej:

$$F_r = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p_{rob}, N \quad (4.2)$$

- siła podporności nominalnej:

$$F_n = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p_{nom}, N \quad (4.3)$$

gdzie:

d – średnica robocza stojaka, m,

p_{wst} – ciśnienie wstępne – ciśnienie w stojaku hydraulicznym występujące po zakończeniu procesu rozpierania (ciśnienie wytworzone przez hydrauliczny układ zasilający), Pa,

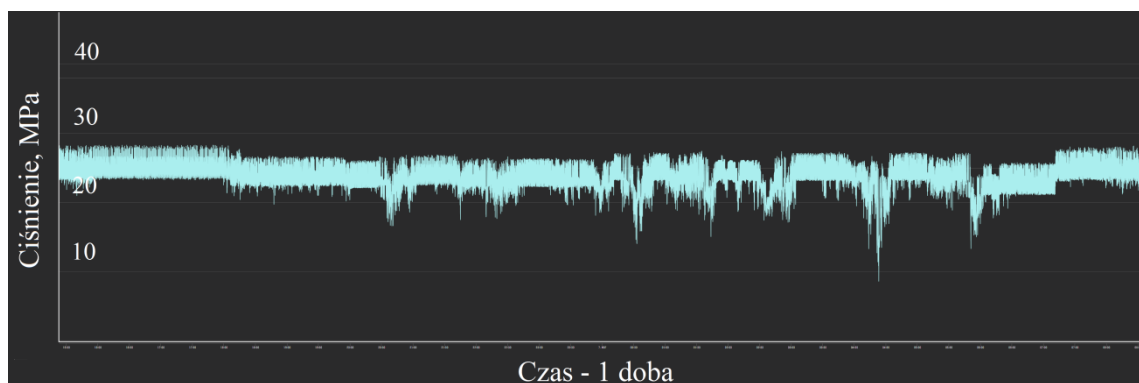
p_{rob} – ciśnienie robocze – ciśnienie występujące w stojaku w chwili otwarcia zaworu ograniczającego ciśnienie (ciśnienie powstające pod wpływem działania siły zewnętrznej – nacisku górotworu), Pa,

p_{nom} – ciśnienie nominalne, Pa.

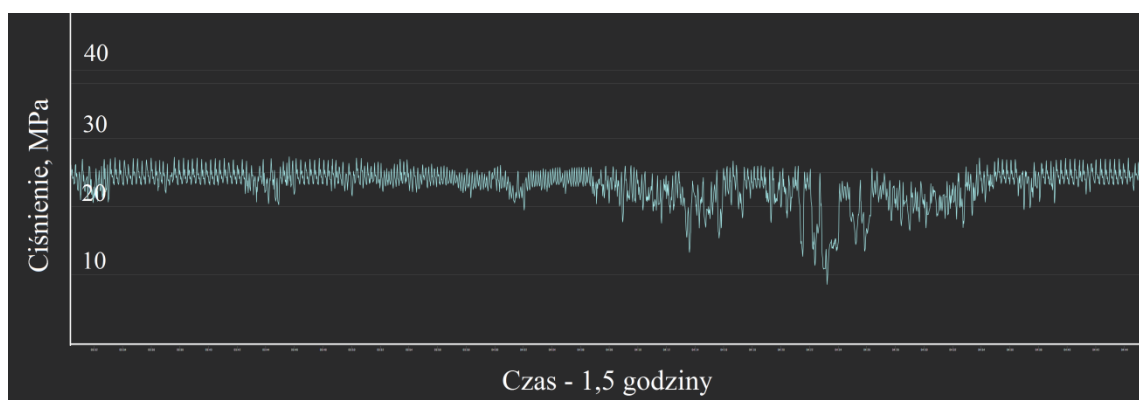
Parametry podpornościowe sekcji obudowy zmechanizowanej mają istotne znaczenie dla utrzymania wyrobiska ścianowego. Zbyt niska siła podporności, w stosunku do działającego obciążenia ze strony górotworu, może skutkować znacznym pogorszeniem się warunków stropowych. Dla utrzymania stateczności wyrobiska ważna jest siła podporności wstępnej. W przypadku gdy jej wartość nie będzie na odpowiednim poziomie, w ścianie może dochodzić do nadmiernego osiadania skał stropowych, a w konsekwencji znacznego ich rozwarstwienia. Zwiększony nacisk stropu na caliznę pokładu może skutkować odspajaniem się węgla i powiększaniem

obszaru odsłoniętego stropu. Te negatywne zjawiska prowadzą do występowania opadów i obwałów skał stropowych [71, 93]. Literatura naukowo-techniczna [27, 72] podaje, że zbyt niska siła podporności wstępnej obudowy zmechanizowanej jest jednym z podstawowych czynników technicznych powodujących obwały w ścianie. Zatem przyjmuje się, że wartość siły podporności wstępnej powinna być wysoka i zbliżona do wartości siły podporności roboczej [71].

O podporności wstępnej sekcji, poza parametrami konstrukcyjnymi, decyduje wartość ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka. Z kolei na ciśnienie pod tłokiem stojaka decydujący wpływ ma wartość ciśnienia w magistrali zasilającej w chwili zakończenia operacji rozpierania sekcji. Należy zaznaczyć tu, że ciśnienie cieczy w magistrali zasilającej ulega sporym wahaniom, co wpływa niekorzystnie na osiąganą przez sekcje podporność. Na rysunku 4.7 przedstawiono przykładowy przebieg ciśnienia w magistrali zasilającej, zarejestrowany w jednej z kopalń w czasie jednej doby. Przybliżenie z tego wykresu, obejmujące okres 1,5 godziny, pokazano na rysunku 4.8. Jak można zauważyć, dla przykładowej, losowo wybranej próby, wartość ciśnienia zasilania waha się w granicach od 10 do 28 MPa.



Rys. 4.7. Przykładowy przebieg ciśnienia w magistrali zasilającej, zarejestrowany w czasie 1 doby



Rys. 4.8. Przykładowy przebieg ciśnienia w magistrali zasilającej, zarejestrowany w czasie 1,5 godziny

Drugim ważnym czynnikiem, który ma istotny wpływ na siłę podporności wstępnej, jest jakość wykonania czynności rozpierania przez operatora. Operator może rozeprzeć obudowę słabiej lub mocniej [73, 93]. Wyjątkiem są ściany prowadzone

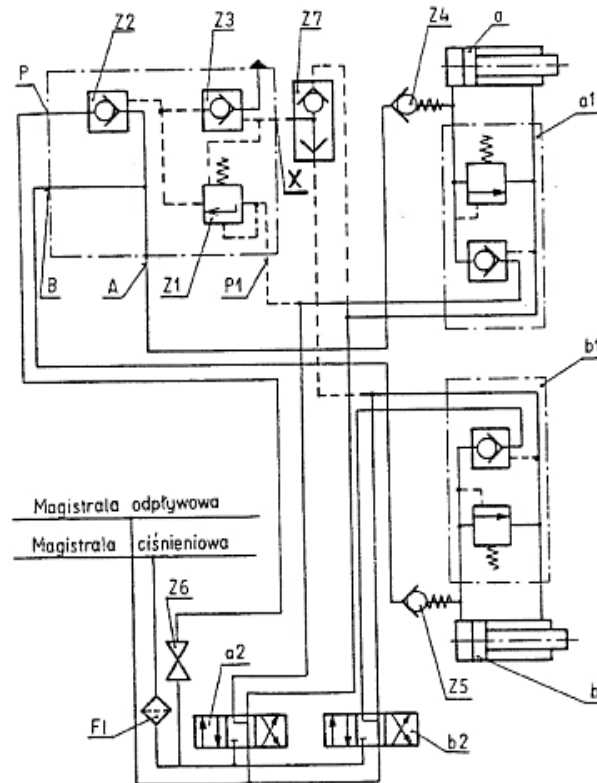
w systemie automatycznym, gdzie wyeliminowano czynnik ludzki w procesie dostawiania i rozpierania sekcji. Niemniej jednak większość ścian w Polskiej Grupie Górniczej S.A. nadal prowadzona jest z wykorzystaniem ręcznego sterowania, z udziałem operatorów. Dla ułatwienia pracy operatora i kontroli ciśnienia pod tłokiem stojaka opracowane zostały systemy monitoringu ciśnienia [76].

4.3. Analiza funkcjonalności układów doładowania podporności zmechanizowanej obudowy ścianowej

Wahania ciśnienia w magistrali zasilającej, czynnik ludzki, ale też stan techniczny stojaków skutkują zróżnicowaniem wartości podporności w poszczególnych sekcjach obudowy w ścianie, co z kolei wpływa na nierównomierne podparcie stropu wzdłuż długości ściany. Aby zapobiec tej niekorzystnej sytuacji konstruktorzy i firmy poszukiwały rozwiązań umożliwiających wyrównywanie ciśnienia w przestrzeniach podtłokowych stojaków i minimalizowanie różnic w podporności poszczególnych sekcji. W tym celu opracowane zostały różnego rodzaju urządzenia do doładowania podporności obudów zmechanizowanych. Wszystkie dotychczas opracowane urządzenia zostały wkomponowane w układ hydrauliczny obudowy zmechanizowanej. Urządzenia te były bezpośrednio połączone z magistralą zasilającą. Uruchomienie tych urządzeń odbywało się poprzez zadziałanie zaworu progowego. Po włączeniu urządzenia dochodziło do połączenia przestrzeni podtłokowej stojaka z magistralą zasilającą. Po każdym wzroście ciśnienia w magistrali ciecz przepływała do przestrzeni podtłokowej stojaka – aż do momentu wyrównania ciśnień. Po zrabowaniu obudowy układ doładowania był wyłączany. Dotychczas zostało opracowanych kilka urządzeń do doładowania układów podpornościowych [31]. Urządzenia te opisano w kolejnych podrozdziałach.

4.3.1. Urządzenie firmy Hans Berger Meßtechnik GmbH

Urządzenie firmy Hans Berger Meßtechnik umożliwia jednoczesne doładowywanie obu stojaków sekcji. Urządzenie wkomponowane jest w układ hydrauliczny obudowy, co zostało przedstawione na rysunku 4.9. Urządzenie zbudowane jest z trzech zaworów: zaworu progowego *Z1* oraz dwóch zaworów zwrotnych *Z2* i *Z3*. Zawór *Z2* otwiera i zamyka przepływ doładowania. Z kolei zawór *Z3* wyłącza doładowanie. Urządzenie posiada pięć przyłączy: *A*, *B*, *P*, *P1* oraz *X*. Przyłącza *A* i *B* urządzenia zostały połączone z przestrzeniami podtłokowymi stojaków *a* i *b* obudowy, poprzez zawory zwrotne *Z4* oraz *Z5*. Z przyłącza *P* wyprowadzone jest bezpośrednie podłączenie urządzenia do magistrali zasilającej, poprzez zawór odcinający *Z6* oraz filtr *Fl*. Przyłącze *P1* połączone jest z przewodem hydraulicznym łączącym rozdzielacz *a2* z przestrzenią podtłokową stojaka *a*. I przyłącze *X* urządzenia połączono z przełącznikiem obiegu *Z7*. Dwa pozostałe przyłącza przełącznika *Z7* połączone są z przewodami łączącymi przestrzenie nadtłokowe stojaków *a* oraz *b* z rozdzielaczami *a2* i *b2* [31].



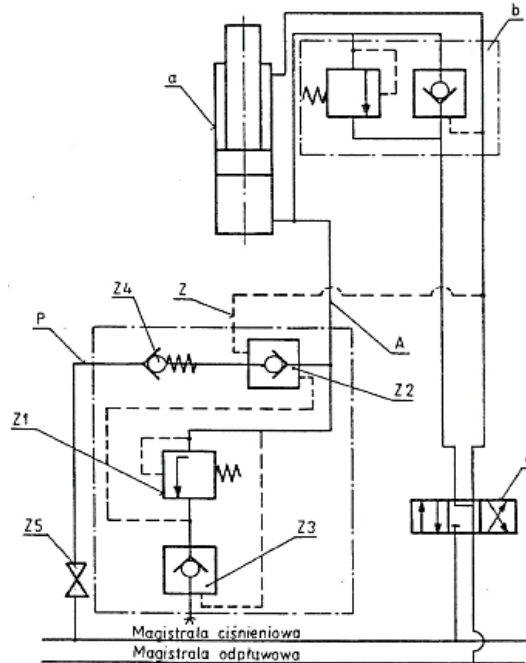
Rys. 4.9. Urządzenie firmy Hans Berger Meßtechnik GmbH [31], gdzie:
a, b – stojak hydrauliczny; *a1, b1* – blok zaworowy; *a2, b2* – rozdzielacz hydrauliczny;
A, B, P, P1, X – przyłącze; *Z1* – zawór progowy; *Z2, Z3* – zawór zwrotny sterowany;
Z4, Z5 – zawór zwrotny; *Z6* – zawór odcinający; *Z7* – przełącznik obiegu; *Fl* – filtr

Urządzenie do doładowania zaczyna samoczynnie działać, gdy ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka *a* osiągnie wartość nastawioną na zaworze progowym *Z1*. Wartość tego ciśnienia progowego wynosi 8 MPa. Ciecz przepływając przez zawór *Z1* otwiera zawór *Z2*. Po otwarciu zaworu *Z2* ciecz płynie pod ciśnieniem z magistrali zasilającej, przez filtr *Fl*, zawór odcinający *Z6* i przyłącze *P* do przyłączy *A* i *B* urządzenia i dalej do przestrzeni podtłokowych stojaków *a* i *b*. Gdy ciśnienie w przestrzeniach podtłokowych stojaków zrówna się z ciśnieniem w magistrali zasilającej, urządzenie doładowujące przestaje pracować. W przypadku spadku ciśnienia w przestrzeniach podtłokowych układ doładowania zostaje automatycznie włączony. Doładowanie może być wyłączone przez zamknięcie zaworu odcinającego *Z6*. Ponadto układ doładowania przestaje działać po zrabowaniu jednego ze stojaków. Wówczas zawory *Z1* i *Z2* pozostają zamknięte. Ciecz dopływająca do urządzenia wypływa na zewnątrz przez zawór *Z3* [31].

4.3.2. Urządzenie firmy Richard Voß Grubenausbau GmbH

Urządzenie firmy Richard Voß Grubenausbau GmbH (rys. 4.10) umożliwia doładowanie tylko jednego stojaka. Zatem w przypadku sekcji dwustojakowej należy zbudować dwa takie urządzenia – dla każdego stojaka oddzielnie. Urządzenie zbudowane jest w postaci bloku, w którym umieszczono zawór progowy *Z1*,

dwa zawory zwrotne sterowane Z2 i Z3 oraz zawór zwrotny Z4. Zawór zwrotny Z2 odpowiada za otwieranie i zamykanie przepływu cieczy doładowania. Zawór progowy Z1 ustawiony jest na ciśnienie 10 MPa. Oznacza to, że przekroczeniu wartości 10 MPa układ doładowania zaczyna działać [31].



Rys. 4.10. Urządzenie firmy Richard Voß Grubenausbau GmbH [31], gdzie:
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

Urządzenie wyposażone jest w trzy przyłącza: *A, Z* oraz *P*. Przyłącze *A* połączone jest z przestrzenią podtłokową stojaka. Przestrzeń podtłokowa stojaka połączona jest również z blokiem zaworowym *b*, sterowanym rozdzielaczem hydraulicznym *c*. Przestrzeń nadtłokowa stojaka także jest połączona z urządzeniem do doładowania – poprzez przyłącze *Z*. Natomiast przyłącze *P* urządzenia służy do połączenia z magistralą zasilającą, poprzez zawór odcinający *Z5* [31].

W czasie rozpierania 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 10 MPa (nastawa zaworu progowego), układ doładowania zostaje włączony. Wówczas zawór progowy *Z1* zostaje otwarty, a ciecz przepływa do zaworu zwrotnego *Z2*, powodując także jego otwarcie. Dzięki temu możliwy jest przepływ cieczy z magistrali zasilającej, przez zawór odcinający *Z5* oraz zawory zwrotne *Z4* i *Z2*, do przestrzeni podtłokowej stojaka. Tym samym rozpoczyna się doładowanie ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka. 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 [31].

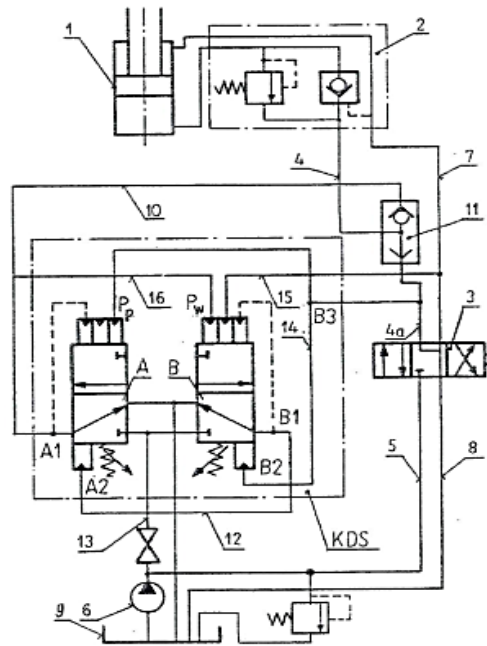
W przypadku wycieku cieczy z przestrzeni podtłokowej stojaka, co może być spowodowane np. nieszczelnością wewnętrzną stojaka, ciągle doładowywanie będzie powodowało spore ubytki medium z sieci hydraulicznej. Jeśli natężenie przecieku będzie większe od natężenia doładowania i dojdzie do znacznego spadku ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka, wówczas ciecz znajdująca się pomiędzy zaworami *Z1* i *Z3* wypłynie na zewnątrz urządzenia, a zawór *Z2* zostanie zamknięty, wyłączając doładowanie [31].

Podczas rabowania stojaka ciecz dopływa do przestrzeni nadtłokowej stojaka oraz do przyłącza *Z* urządzenia doładowania. Jednocześnie przyłączy *A* urządzenia zostaje połączone z magistralą spływową, powodując wypływ cieczy z urządzenia. Zawór *Z3* otwiera się i pozostała ciecz wypływa na zewnątrz urządzenia, zamykając zawór *Z2*. Tym samym doładowanie zostaje wyłączone. Problem może pojawić w przypadku dynamicznego wzrostu ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka, co może być spowodowane np. zahaczeniem stropnicy o strop wyrobiska. Taki nagły wzrost ciśnienia może dać impuls do włączenia doładowania, powodując rozparcie sekcji podczas jej przesuwania. Stanowi to poważną wadę urządzenia do doładowania [31].

Urządzenie firmy Richard Voß Grubenausbau GmbH zostało zamontowane w polskich kopalniach KWK Morcinek i KWK Borynia, jednak próby jego zastosowania nie powiodły się [31]. Podstawową wadą urządzenia jest brak zabezpieczenia układu w przypadku powstania nieszczelności wewnętrznej stojaka.

4.3.3. Urządzenie do krótkotrwałego doładowania stojaków typu KDS KOMAG

Urządzenie KDS firmy KOMAG (rys. 4.11) przeznaczone jest do rozparcia wszystkich sekcji obudowy w wyrobisku ścianowym z jednakową podpornością wstępną. Wartość podporności wstępnej może być regulowana. Urządzenie KDS wbudowane jest do układu podpornościowego obudowy, którego głównymi elementami są: stojak hydrauliczny *1*, blok zaworowy *2* oraz rozdzielacz hydrauliczny *3*. Urządzenie KDS zbudowane jest z dwóch zaworów rozdzielająco progowych *A* i *B*. Zawór *A* nastawiony jest na ciśnienie progowe, czyli takie przy którym włącza się doładowanie. Natomiast na zaworze *B* nastawione jest założone ciśnienie wstępne obudowy [31].



Rys. 4.11. Urządzenie typu KDS firmy KOMAG [31], gdzie:
 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

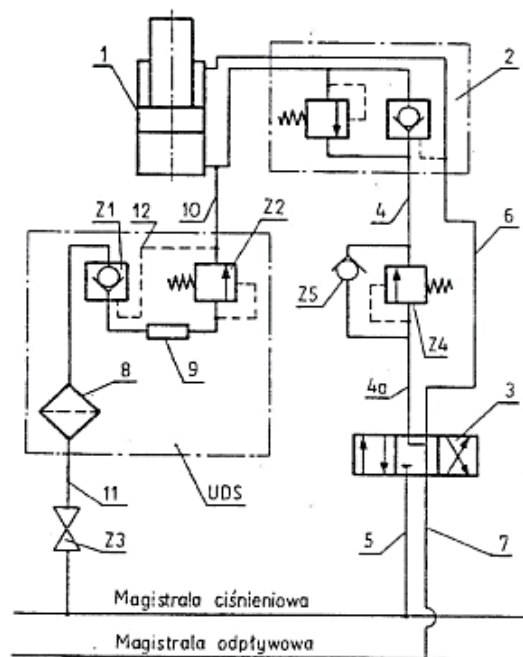
Podczas rozpierania obudowy ciecz pod ciśnieniem płynie do przestrzeni podtłokowej stojaka. Jednocześnie ciecz dopływa do urządzenia KDS. Gdy ciśnienie cieczy w przestrzeni podtłokowej stojaka przekroczy wartość, na którą nastawiony jest zawór A, zostaje on włączony. W tym samym momencie wyłącza się zawór B. Powoduje to uruchomienie doładowania. Wówczas przy wyłączonym rozdzielaczu ciecz dopływa do przestrzeni podtłokowej stojaka. W chwili gdy ciśnienie pod tłokiem osiągnie wartość założonej podporności wstępnej, zawór A zostaje wyłączony i jednocześnie zawór B włączony. Wówczas doładowanie stojaka ustaje. W urządzeniu KDS przyjęto następujące wartości nastaw – dla zaworu progowego: 8 MPa i dla zaworu B: 20 MPa [31].

Urządzenie KDS będzie działało według schematu opisanego wyżej tylko wtedy, gdy operator wyłączy rozdzielacz 3 dokładnie w chwili, gdy ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka osiągnie wartość nastawy zaworu progowego tj. 8 MPa. Wymaga to zabudowania wskaźników ciśnienia i dużej dokładności operatora. W przypadku wyłączenia rozdzielacza przez uzyskaniem wartości ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka równej 8 MPa, doładowanie nie zadziała. Z kolei w przypadku gdy rozdzielacz zostanie wyłączony, gdy ciśnienie pod tłokiem przekroczy 8 MPa, może nastąpić sytuacja, że układ doładowuje ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka do maksymalnej wartości ciśnienia w magistrali zasilającej. Rozwiązanie to wymaga precyzyjnego działania operatora. Przy braku tej precyzji, urządzenie KDS nie zapewni wszystkim sekcjom jednakowej podporności wstępnej, co było założeniem konstruktorów [31]. Zaletą urządzenia jest możliwość doboru i nastawy podporności

wstępnej, jednak wymagane w tym zakresie spełnienie warunku precyzyjności operatora byłoby bardzo trudne, wręcz niemożliwe do osiągnięcia.

4.3.4. Urządzenie typu UDS konstrukcji J.B. Gwiazdy

Urządzenie UDS (rys. 4.12) zaprojektowane było do doładowania podporności obudowy zmechanizowanej do wartości równej założonej podporności wstępnej. Urządzenie przeznaczone jest do współpracy z jednym siłownikiem hydraulicznym. Na stojaku 1 zabudowany jest blok zaworowy 2, który połączony jest z rozdzielaczem hydraulicznym 3. Rozdzielacz połączony jest z magistralą zasilającą i magistralą spływową. Pomiedzy rozdzielaczem a blokiem zaworowym wstawiono zawór progowy Z4 i równolegle do niego zawór zwrotny Z5. Urządzenie UDS jest dodatkowym elementem w układzie hydraulicznym, połączonym z przestrzenią podtłokową stojaka. Składa się ono z filtra 8, zaworu zwrotnego sterowanego Z1, dyszy 9 i zaworu progowego Z2. Urządzenie to podłączone jest do magistrali zasilającej poprzez zawór odcinający Z3. Zawór progowy Z2 z urządzenia UDS oraz zawór progowy Z4 nastawione są na tę samą wartość [31].



Rys. 4.12. Urządzenie typu UDS konstrukcji J. B. Gwiazdy [31], gdzie:
 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

Podczas rozpierania obudowy ciecz płynie z magistrali zasilającej przez rozdzielacz 3, zawór progowy Z4 i blok 2 do przestrzeni podtłokowej stojaka. Dzięki połączeniu hydraulicznemu 12, 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.

Urządzenie UDS jest szczególnie przydatne kiedy w magistrali zasilającej występuje ciśnienie wyższe niż wymagane do uzyskania założonej podporności wstępnej. Zawory progowe *Z2* i *Z4* nie pozwolą na wprowadzenie do przestrzeni podtłokowej stojaka ciśnienia wyższego niż założone ciśnienie wstępne. Po rozparciu obudowy, w przypadku spadku ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka do wartości mniejszej od założonego ciśnienia wstępnego, nastąpi otwarcie zaworu progowego *Z2*. Tym samym zostanie aktywowane doładowanie ciśnienia przestrzeni podtłokowej stojaka [31].

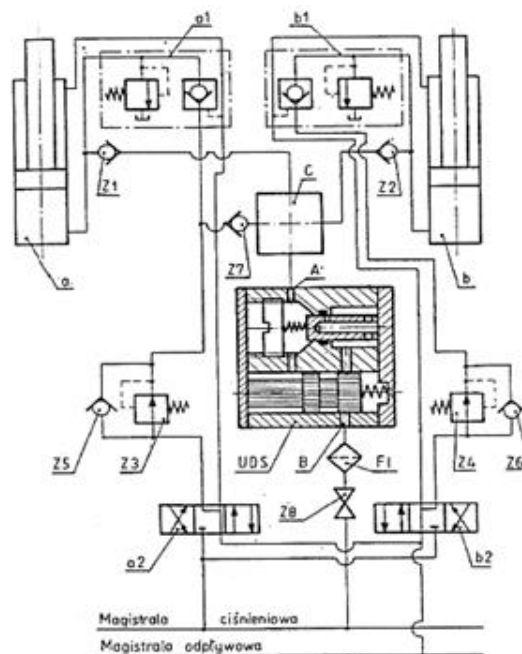
Podczas rabowania obudowy ciecz wypływa z przestrzeni podtłokowej stojaka i płynie przez zawór zwrotny *Z5* i rozdzielacz *3* do magistrali spływowej. Dzięki temu, że dopływ cieczy doładowania dławiony jest przez dyszę *9*, w przewodach *10* i *12* następuje gwałtowny spadek ciśnienia. Powoduje to zamknięcie zaworu zwrotnego *Z1* i wyłączenie doładowania. Zastosowanie dyszy *9*, ograniczającej natężenie przepływu cieczy podczas doładowania, wyeliminowało problem możliwych uderzeń hydraulicznych działających na strop wyrobiska. Urządzenie UDS pracowało w obudowie TAGOR-17/37LV-Op2 w kopalni KWK „Zofiówka”, jednak nie znalazło szerszego zastosowania w kopalniach [31]. Wadą rozwiązania jest wprowadzanie dodatkowych elementów i rozbudowywanie układu hydraulicznego stojaka.

4.3.5. Zmodernizowane urządzenie typu UDS konstrukcji J.B. Gwiazdy

Zmodernizowana wersja urządzenia UDS (rys 4.13) charakteryzuje się mniejszymi gabarytami oraz możliwością regulacji natężenia dopływu cieczy doładowania. Ponadto urządzenie doładowuje oba stojaki sekcji obudowy zmechanizowanej jednocześnie. Urządzenie UDS połączone jest poprzez czwórnik *c* oraz zwory zwrotne *Z1* i *Z2* z przestrzeniami podtłokowymi stojaków *a* i *b*. Na stojakach zamontowane są bloki zaworowe *a1* i *b1*. Bloki te połączone są z rozdzielaczami *a2* i *b2*. Pomiędzy rozdzielaczami a blokami zaworowym wmontowane są reduktory ciśnienia *Z3* oraz *Z4* i równoległe do nich zawory zwrotne *Z5* i *Z6*. Jeden z przewodów łączących przestrzeń podtłokową stojaka z rozdzielaczem połączony jest z czwornikiem *c* przez zawór zwrotny *Z7*. Przyłącze B urządzenia UDS połączone jest przez filtr *F1* i zawór odcinający *Z8* z magistralą zasilającą. Zawory redukcyjne *Z3* i *Z4* ustawione są na ciśnienie cieczy wyższe od ciśnienia inicjującego uruchomienie urządzenia UDS [31].

Podczas rozpierania obudowy ciecz z magistrali zasilającej płynie przez rozdzielacze *a2* i *b2*, zawory redukcyjne *Z3* i *Z4* oraz bloki zaworowe *a1* i *b1* do przestrzeni podtłokowych stojaków *a* i *b*. Jednocześnie ciecz płynąca do stojaka *a* dopływa również przez zawór zwrotny *Z7* i czwórnik *c* do urządzenia UDS. Gdy ciśnienie cieczy dopływającej do stojaka osiągnie wartość ciśnienia inicjującego działanie urządzenia UDS otwarty zostaje przepływ cieczy doładowania. Podczas doładowania ciecz płynie do przestrzeni podtłokowych stojaków poprzez zawory zwrotne *Z1* i *Z2*. W przypadku spadku ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka do wartości mniejszej od założonego ciśnienia wstępnego, ciśnienie cieczy jest

natychmiast uzupełniane przez doładowanie. Podczas rabowania ciecz wypływa z przestrzeni podtłokowych stojaków i płynie przez zawory zwrotne $Z5$ i $Z6$ oraz rozdzielacze $a2$ i $b2$ do magistrali spływowej. W przestrzeniach podtłokowych stojaków i jednocześnie w przyłączy A urządzenia UDS następuje spadek ciśnienia, a doładowanie zostaje wyłączone [31]. Wadą rozwiązania, tak jak w poprzednim przypadku, jest wprowadzanie dodatkowych elementów i rozbudowywanie układu hydraulicznego stojaka. Ponadto nie ma możliwości wyłączenia doładowania tylko na jednym stojaku, zamknięcie zaworu odcinającego $Z8$ wyłącza doładowanie na obu stojakach jednocześnie.



Rys. 4.13. Zmodernizowane urządzenie typu UDS konstrukcji J. B. Gwiazdy [31], gdzie:
 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

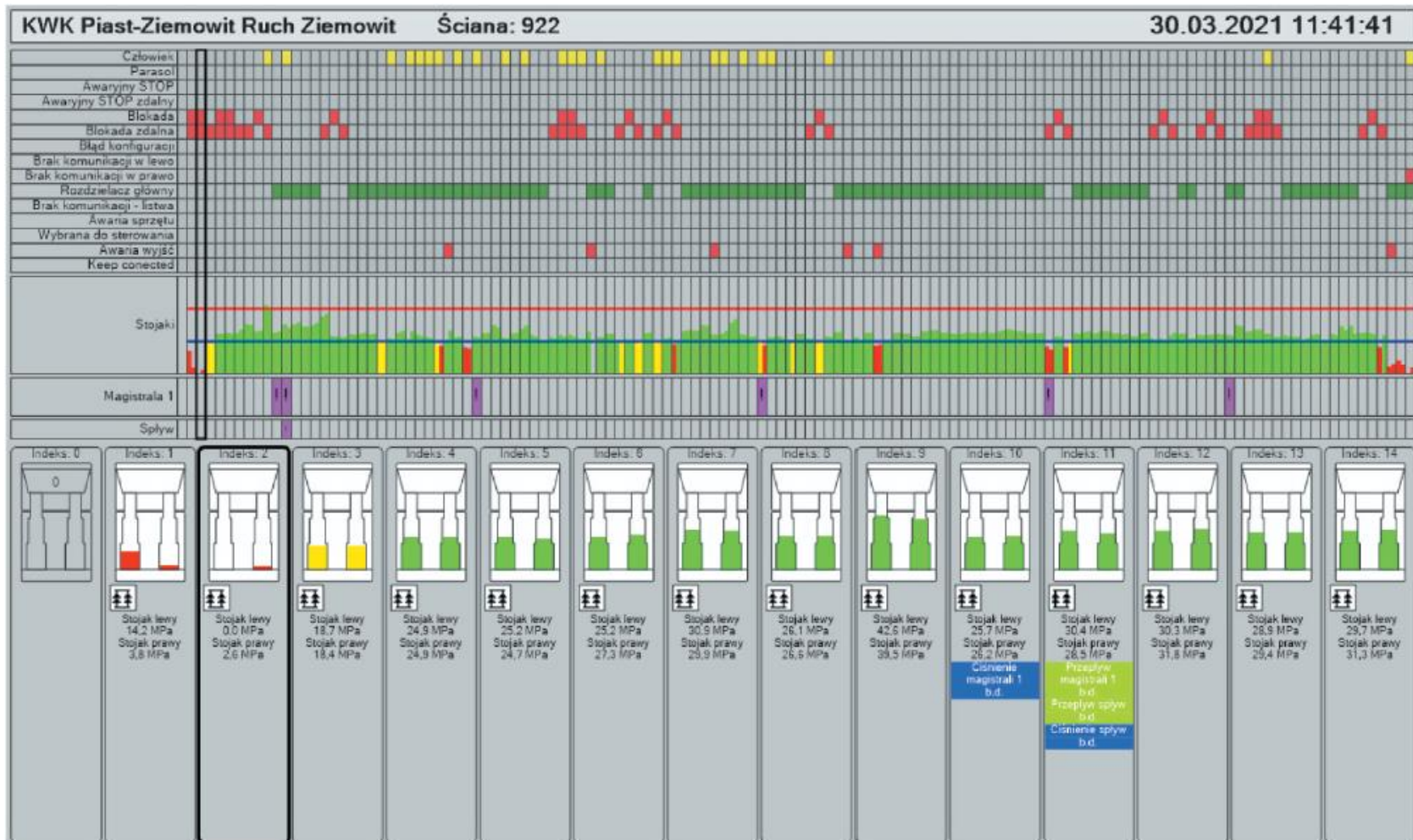
4.4. Układ aktywnego podtrzymania ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej firmy Elsta

System monitoringu podpórności RUFUS 3G jest systemem wspomagającym pracę obudowy zmechanizowanej w zakresie prawidłowego podparcia stropu wyrobiska ścianowego. Dostarcza on informacje o uzyskaniu przez sekcje wymaganej podpórności. Ma to istotne znaczenie dla zapewnienia stateczności wyrobiska, a tym samym zachowania odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa w ścianie. Kontrola pracy obudowy może być prowadzona bezpośrednio przez pracowników pracujących w ścianie oraz z powierzchni przez dyspozytorów [52]. Jak podaje literatura [52], zastosowanie systemu i utrzymanie wymaganej podpórności wpływa znacząco na zmniejszenie liczby obwałów skał stropowych, co pozwala uniknąć postojów w biegu ściany.

System składa się z czujników ciśnienia zabudowanych na stojakach. Dane pomiarowe z czujników umożliwiają tworzenie wizualizacji przebiegów ciśnienia w stojakach i rozkładów ciśnienia w ścianie. System informuje o zbyt niskim lub zbyt wysokim ciśnieniu medium w stojakach hydraulicznych. Dodatkowo, dzięki zastosowaniu sygnalizacji świetlnej czujników, możliwa jest kontrola rozparcia sekcji bezpośrednio w samej ścianie. Czujnik świecący na zielono oznacza prawidłowe rozparcie sekcji i uzyskanie wymaganej podporności. Żółty kolor czujnika daje informacje o zbyt niskim ciśnieniu w stojaku, a tym samym nieprawidłowym rozparciu sekcji. Zbyt wysokie ciśnienie sygnalizowane jest kolorem czerwonym. Na podstawie uzyskanych przebiegów ciśnienia możliwa jest także diagnostyka stojaków hydraulicznych zmechanizowanej obudowy ścianowej. System pozwala wykryć m.in. rozwijającą się nieuszczelnność wewnętrzną na stojaku, co często w początkowej fazie usterki jest niewidoczne dla pracownika pracującego na dole kopalni [52].

Wyróżnia się dwa zasadnicze typy funkcjonowania systemów monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej: aktywny oraz pasywny. Pasywny system umożliwia kontrolę stanu podporności obudowy w ścianie. System dostarcza informacje o rozkładzie ciśnienia w ścianie, ale nie eliminuje nieprawidłowości. Użytkownik na podstawie dostarczonych mu informacji musi sam zadbać o prawidłowy stan ciśnienia w stojakach hydraulicznych. W przypadku zbyt niskiego ciśnienia w stojaku sekcji obudowy zmechanizowanej system nie doładuje go automatycznie [52].

Inaczej jest w przypadku aktywnego systemu podporności sekcji obudowy zmechanizowanej. System ten charakteryzuje się automatycznym diagnozowaniem stanu ciśnienia w stojakach i możliwością dozowania ciśnienia. Kluczowymi elementami układu aktywnego monitoringu sekcji obudowy zmechanizowanej są czujniki podtrzymywania ciśnienia μ 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. Aktywny system podporności sekcji obudowy zmechanizowanej pozwala na automatyczne dobudowywanie sekcji, dobór podporności wstępnej, a także kontrolę oddziaływania stropu na obudowę ścianową, co zobrazowano na rysunku 4.14 [52].



Rys. 4.14. Układ aktywnego podtrzymania ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej [52]

4.5. Podsumowanie

W niniejszym rozdziale opisano rolę i znaczenie obudowy zmechanizowanej w kompleksie ścianowym. Omówiono podstawowy cykl pracy sekcji obudowy zmechanizowanej oraz zdefiniowano siłę podporności. Ponadto w rozdziale tym przeanalizowano pięć rozwiązań układów doładowania dla sterowania przyległego oraz układ aktywnego doładowania podporności w systemie elektrosterowania.

Przedstawiony przegląd literatury naukowo-technicznej pozwolił na szerokie spojrzenie w obszarze problematyki zawartej w rozprawie doktorskiej. Opisane w literaturze, przytoczone tu przykłady, potwierdzają doświadczenia i obserwacje z pracy zawodowej autora w zakresie problemów w eksploatacji zmechanizowanej obudowy ścianowej. Szczególną uwagę zwrócono na problem zapewnienia wymaganej siły podporności obudowy zmechanizowanej dla utrzymania stateczności wyrobiska ścianowego, a tym samym bezpiecznego prowadzenia eksploatacji. Jak widać problem ten zainspirował wielu konstruktorów, jednak żadne opracowane rozwiązanie nie jest stosowane w kopalniach. Wprowadzanie nowych urządzeń do górnictwa podziemnego wymaga niejednokrotnie, by cechowały się one dużą niezawodnością oraz prostotą działania. Niniejszy rozdział stanowi fundamentalne znaczenie dla postawienia tezy rozprawy oraz określenia celów badań i przyjęcia metodyki postępowania.

5. Teza pracy

Jednym z problemów w eksploatacji zmechanizowanej obudowy ścianowej jest uzyskanie przez nią wymaganej siły podporności. Czynnikiem decydującym o wartości podporności wstępnej sekcji obudowy zmechanizowanej, poza parametrami konstrukcyjnymi, jest chwilowa wartość ciśnienia w magistrali zasilającej. Ponadto na podporność obudowy zmechanizowanej znaczny wpływ mają: stan techniczny stojaków, warunki stropowe w ścianie wydobywczej oraz czynnik ludzki i jakość wykonania czynności przez operatora podczas rozpierania sekcji. Tak duża ilość zmiennych wpływa na duże zróżnicowanie wartości siły podporności sekcji obudowy zmechanizowanej wzdłuż długości ściany oraz zwiększa prawdopodobieństwo nieosiągnięcia wymaganej siły podporności.

Prawidłowa siła podporności obudowy zmechanizowanej ma istotne znaczenie dla zapewnienia stateczności wyrobiska ścianowego. Zbyt niska siła podporności w stosunku do działającego obciążenia ze strony górotworu może skutkować znacznym pogorszeniem się warunków stropowych. Kluczowe znaczenie ma siła podporności wstępnej. Niedostateczna jej wartość będzie prowadzić do nadmiernego osiadania skał stropowych i występowania rozwarstwień. Skutkiem tego jest zwiększony nacisk stropu na caliznę pokładu, co może powodować odspajanie się węgla i powiększanie obszaru odsłoniętego stropu. Zjawiska te mogą skutkować występowaniem opadów i obwałów skał stropowych [71], co wpływa niekorzystnie zarówno na bezpieczeństwo w ścianie, jak i ciągłość prowadzonej eksploatacji. Zatem problematyka uzyskania założonej wartości podporności wstępnej oraz utrzymania wymaganej siły podporności, a tym samym zapewnienia równomiernego podparcia stropu wzdłuż długości ściany stała się podstawą realizowanej rozprawy doktorskiej.

W wyniku przeprowadzonego przeglądu literatury oraz doświadczeń własnych sformułowano następującą tezę pracy:

Wprowadzenie do układu hydraulicznego stojaka obudowy zmechanizowanej funkcji doładowania ciśnienia w jego przestrzeni podtłokowej wpłynie na poprawę parametrów podpornościowych sekcji obudowy dla utrzymania stateczności wyrobisk ścianowych.

Tym samym proponuje się rozszerzenie funkcjonalności układu hydraulicznego obudowy zmechanizowanej, który do tej pory pełnił dwie funkcje. Pierwszą z nich jest sterowanie sekcją obudowy zmechanizowanej, a drugą zabezpieczenie jej przed przeciążeniami pochodzącymi od górotworu. Trzecią, zaproponowaną w niniejszej rozprawie funkcją jest doładowanie ciśnienia w układzie podpornościowym stojaka hydraulicznego. Należy zaznaczyć, że sugerowane rozwiązanie dedykowane jest dla obudowy zmechanizowanej pracującej w systemie sterowania przyległego. Opracowanie rozwiązania zakłada, że proponowana zmiana nie może wprowadzać dodatkowych elementów do układu hydraulicznego stojaka, a jednocześnie rozwiązanie

musi cechować się prostotą wykonania oraz użytkowania, co jest istotne przy wdrażaniu nowych rozwiązań w górnictwie.

W tym kontekście przyjęto cel użytkarny, szczegółowy oraz naukowy niniejszej rozprawy doktorskiej.

Jako cel użytkarny przyjęto:

Zapewnienie uzyskania i utrzymania wymaganej wartości siły podporności stojaka w drodze roszszerzenia funkcjonalności jego układu hydraulicznego dla poprawy parametrów podpornościowych sekcji obudowy zmechanizowanej oraz zapewnienia równomiernego podparcia stropu wzdłuż długości ściany.

Jako cel szczegółowy przyjęto:

Wprowadzenie zmian w układzie hydraulicznym stojaka zmechanizowanej obudowy ścianowej ukierunkowanych na uzyskanie i utrzymanie wymaganej wartości ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka, niezależnie od spadków ciśnienia w magistrali zasilającej oraz możliwych nieszczelności wewnętrznych.

Jako cel naukowy przyjęto:

Określenie prawidłowości zjawisk występujących w układzie hydraulicznym stojaka obudowy zmechanizowanej w celu stabilizacji siły podporności.

5.1. Zakres pracy

Istnieje możliwość opracowania funkcji doładowania ciśnienia w układzie podpornościowym stojaka hydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej. Realizowane to może być na drodze zmiany w układzie hydraulicznym, który odpowiada za utrzymanie podporności stojaka. W tym zakresie proponuje się opracowanie modelu matematycznego dla analizy pracy stojaka wraz z uwzględnieniem funkcji doładowania. Potwierdzeniem przyjętych założeń modelowych będą badania symulacyjne. Zostaną one poddane analizie i weryfikacji z uzyskanymi wynikami badań na specjalnie przygotowanym stanowisku w laboratorium. Po weryfikacji założeń modelowych, badań symulacyjnych oraz stanowiskowych, przeprowadzone będą badania w warunkach rzeczywistych. Mają one ocenić przydatność funkcji doładowania w układzie podpornościowym stojaka hydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej.

Zakres zadań obejmował będzie następujące etapy:

- 1) Określenie założeń i opracowanie modelu matematycznego oraz wykonanie badań symulacyjnych.
- 2) Przeprowadzenie prób stanowiskowych na specjalnie przygotowanym stanowisku do badań funkcji doładowania w układzie podpornościowym stojaka hydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej.
- 3) Przeprowadzenie badań w warunkach rzeczywistych funkcji doładowania ciśnienia w stojaku hydraulicznym zmechanizowanej obudowy ścianowej.

- 4) Analiza uzyskanych wyników badań symulacyjnych, stanowiskowych oraz badań w warunkach rzeczywistych dla potwierdzenia przyjętych założeń funkcji doładowania.

5.2. Metodyka badań

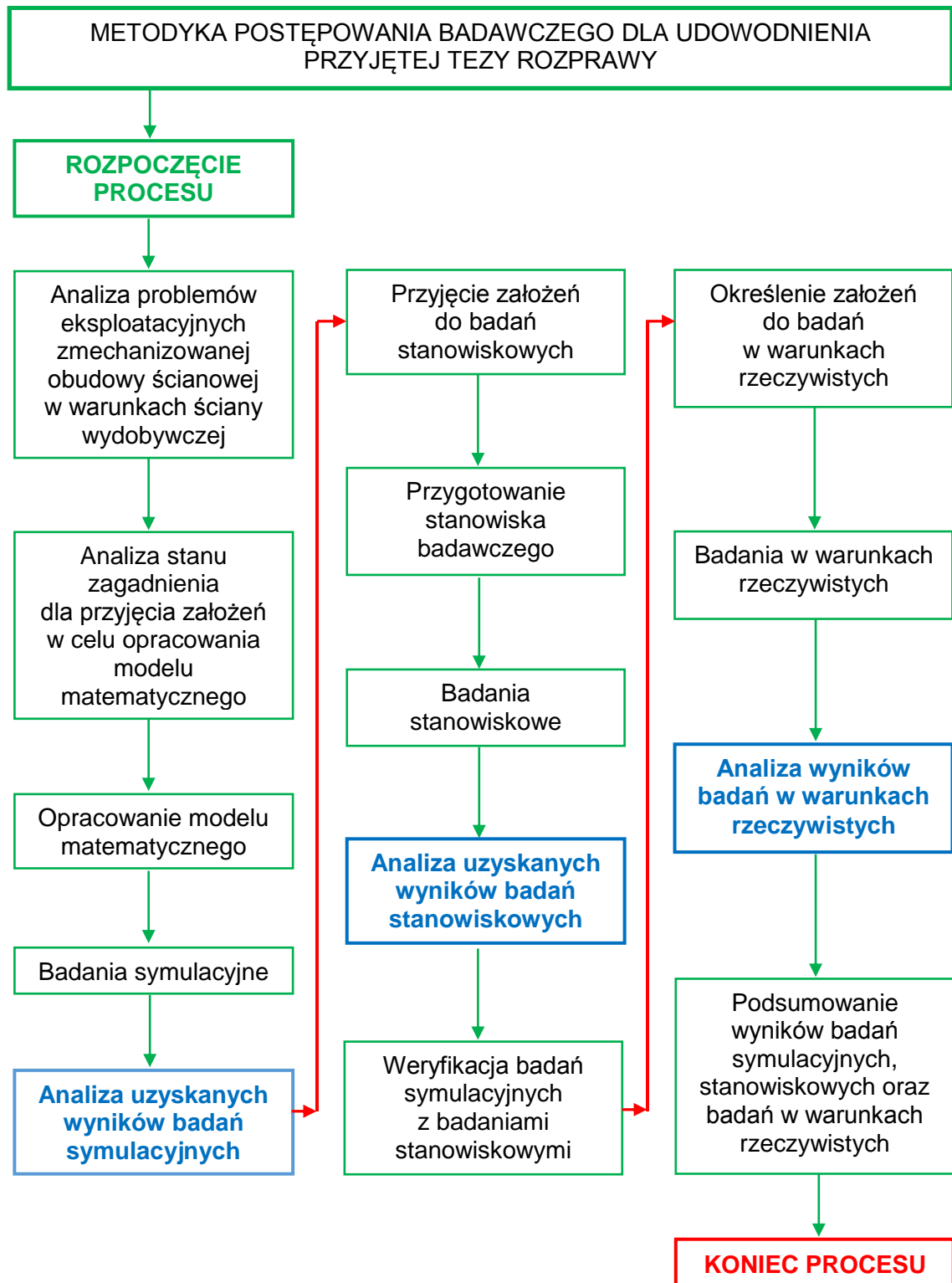
W celu rozwiązania opisanego wyżej problemu badawczego, którym jest zapewnienie wymaganej siły podporności obudowy zmechanizowanej, opracowano metodykę postępowania. Przyjęta metodyka stanowi jednocześnie schemat czynności realizowania niniejszej rozprawy doktorskiej. Schemat ten przedstawiono na rysunku 5.1. Ustalona procedura postępowania ma doprowadzić do rozwiązania przedmiotowego problemu, a tym samym udowodnienia postawionej tezy.

Realizacja rozprawy doktorskiej rozpoczyna się analizą problemów eksploatacyjnych zmechanizowanej obudowy ścianowej w warunkach ściany wydobywczej. Pozwoli to wyodrębnić rzeczywiste problemy techniczne w użytkowaniu sekcji obudowy zmechanizowanej. Dla jak najlepszego zrozumienia problemu analiza wymagała będzie szerszego spojrzenia. Poza problemami użytkowania sekcji obudowy zmechanizowanej w ścianie, obejmie ona wpływ rosnącej skali zagrożenia tąpnięciami. Ponadto uwzględnione zostaną uwagi i potrzeby górników pracujących w ścianie wydobywczej, którzy są głównymi użytkownikami obudowy zmechanizowanej. Analiza ukierunkowana będzie na wprowadzenie zmian w układzie podpornościowym stojaka obudowy zmechanizowanej. Zaproponowana zmiana ma zapewnić obudowie wymaganą siłę podporności. Powyższe ma celu poprawę stanu bezpieczeństwa w kopalniach Polskiej Grupy Górniczej S.A. oraz podwyższenie efektywności procesu eksploatacji.

Po przeprowadzonej analizie pracy obudowy zmechanizowanej w ścianie wydobywczej zostanie opracowany model matematyczny. Zamodelowana będzie praca stojaka hydraulicznego, którego parametry w znacznym stopniu decydują o sile podporności obudowy. Dla opracowania modelu konieczne będzie przyjęcie niezbędnych uproszczeń, założeń oraz zależności. Na tej podstawie zostaną zapisane równania, które dają poszukiwany model matematyczny. Model, po weryfikacji, będzie mógł być wykorzystany do prowadzenia badań symulacyjnych operacji rozpierania sekcji obudowy zmechanizowanej. W drugim etapie zostanie zamodelowana proponowana funkcja doładowania ciśnienia. Pozwoli to na wprowadzenie usprawnień w układzie podpornościowym stojaka obudowy zmechanizowanej. W oparciu o analizę uzyskanych wyników badań możliwe będzie określenie parametrów pracy dla opracowania prototypowego bloku z funkcją doładowania.

Opracowany i przygotowany prototyp zostanie poddany badaniom stanowiskowym dla potwierdzenia przyjętych założeń. Będzie to wymagało opracowania planu badań oraz przyjęcia niezbędnych założeń. Na tej podstawie zostanie przygotowane stanowisko badawcze. Przeprowadzone próby stanowiskowe umożliwią weryfikację proponowanej funkcji doładowania. Uzyskane wyniki badań

stanowiskowych oraz symulacyjnych pozwolą ocenić czy opracowane rozwiązanie może być przedmiotem dalszych badań – w warunkach rzeczywistych.



Rys. 5.1. Schemat czynności realizowania pracy doktorskiej

Po przeprowadzeniu badań symulacyjnych i stanowiskowych, kolejnym etapem będą badania in-situ. Przed przystąpieniem do badań konieczne będzie przyjęcie założeń i określenie planu działań. Badania te umożliwią ocenę przydatności

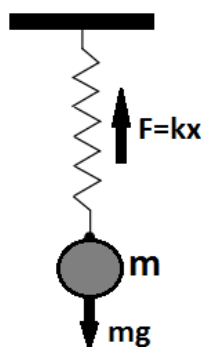
proponowanego rozwiązania w warunkach rzeczywistych. Ostatecznie, wyniki uzyskane w badaniach symulacyjnych, stanowiskowych oraz in-situ pozwolą ocenić zaproponowane w niniejszej rozprawie rozwiązanie. Potwierdzenie słuszności proponowanej koncepcji jednocześnie udowodni przyjętą tezę rozprawy. Głównym kryterium zakończenia procesu dla przyjętej metodyki postępowania jest uzyskanie odpowiedzi czy wyniki z przeprowadzonych badań potwierdzają słuszność przyjętych założeń.

6. Model matematyczny układu podpornościowego stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej

Narzędziem coraz częściej wykorzystywanym w inżynierii mechanicznej są analizy matematyczne i symulacje numeryczne. Stanowią one uzupełnienie do badań laboratoryjnych oraz badań in-situ. Symulacje numeryczne mają tą przewagę nad pozostałymi, że nie wymagają budowy specjalistycznych stanowisk badawczych ani dostępu do warunków rzeczywistych. Dzięki modelowaniu możliwe jest symulowanie zjawisk, które mogą być zbyt trudne, kosztowne, czasochłonne lub niemożliwe do wykonania w rzeczywistych badaniach empirycznych. W górnictwie analizy numeryczne wykorzystywane są między innymi do symulowania przepływów, doboru obudowy zmechanizowanej, oceny stateczności wyrobisk, modelowania w zakresie zagrożeń naturalnych oraz do analiz wytrzymałościowych maszyn i ich elementów [18, 34, 41, 65, 69, 75, 115]. Modelowanie matematyczne i symulowanie procesów pozwala na ich lepsze zrozumienie i wprowadzenie użytecznych wniosków.

6.1. Modelowanie matematyczne układów dynamicznych

Modelowane układy mogą być scharakteryzowane na podstawie relacji pomiędzy parametrami wejściowymi i wyjściowymi. W układach statycznych parametry wyjściowe zależą tylko od parametrów wejściowych. Mechanicznym przykładem takiego systemu jest sprężyna bezmasowa. Długość sprężyny zależy tylko od działającej na nią siły (parametr wejściowy). Po zamocowaniu masy do sprężyny układ staje się dynamiczny (rys. 6.1). Wówczas położenie masy (i długość sprężyny) nie zależą już bezpośrednio od siły wejściowej. Związane są również z przyspieszeniem masy, która zależy od wszystkich sił działających na nią. Właściwość, gdzie przyspieszenie masy zależy od jej położenia sprawia, że mamy do czynienia z układem dynamicznym [29].



Rys. 6.1. Układ dynamiczny – masa zawieszona na sprężynie [105]

Większość systemów występujących w przyrodzie to układy dynamiczne. Układy te można scharakteryzować za pomocą zależności pomiędzy zmiennymi stanu a ich pochodnymi (czasowymi) [29]. Dla przykładu przedstawionego na rysunku 6.1,

interesującą nas zmienną stanu dla rozpatrywanego układu jest x . Zgodnie z prawem sprężystości Hooke'a wydłużenie sprężyny jest wprost i linowo proporcjonalne do przyłożonego obciążenia.

$$F = -kx \quad (6.1)$$

Zgodnie z prawem dynamiki Newtona wypadkowa siła działająca na ciało jest równa iloczynowi jego masy i przyspieszenia:

$$F = m\ddot{x} \quad (6.2)$$

Na układ działają dwie siły: siła sprężyny oraz siła grawitacji. Zatem równanie charakteryzujące wypadkowe siły działające na masę ma postać:

$$m\ddot{x} = -kx + mg, \quad (6.3)$$

gdzie:

x – położenie masy m (zależne od długości sprężyny),

\ddot{x} – przyspieszenie masy,

m – masa,

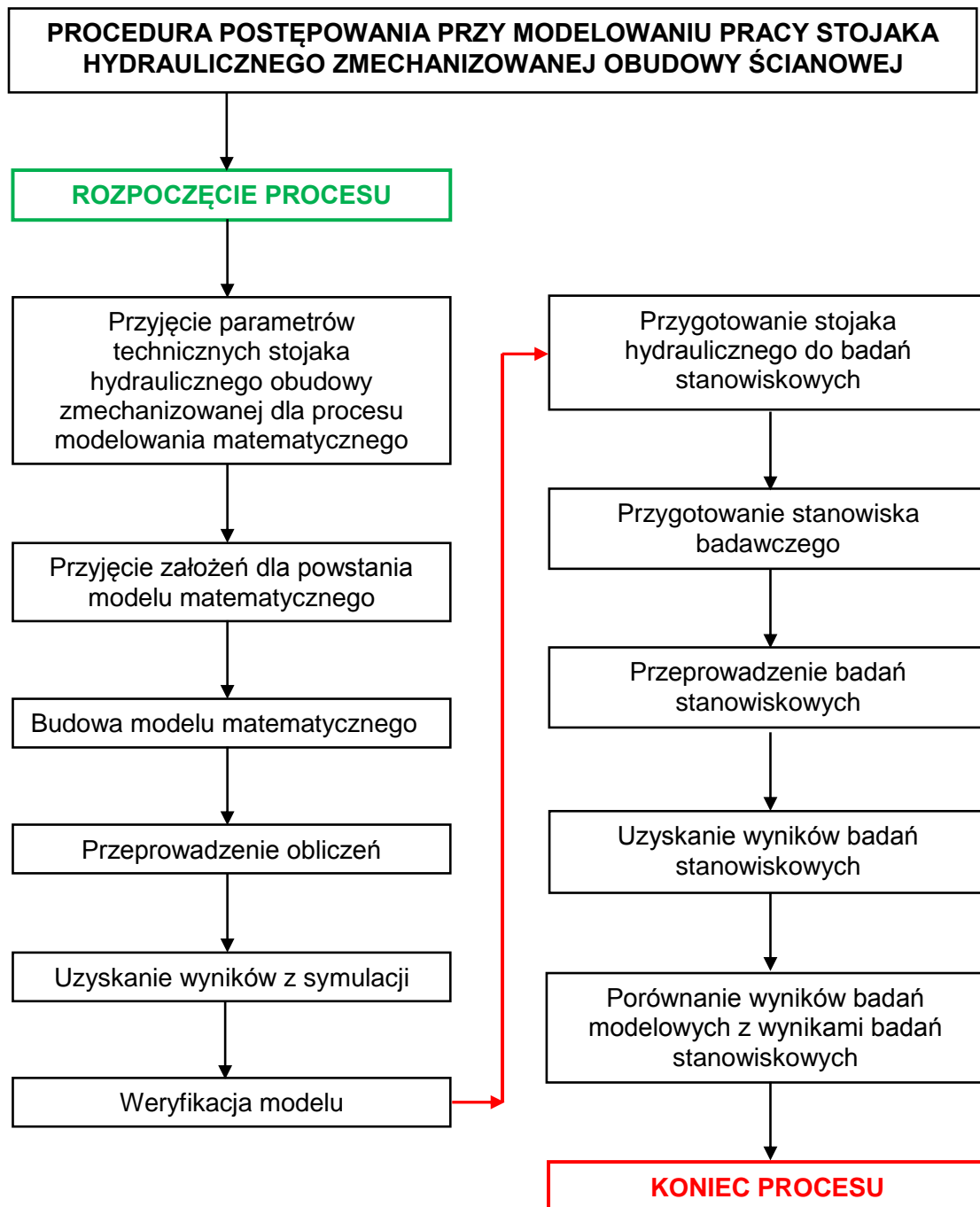
k – stała związana ze sztywnością sprężyny,

g – przyspieszenie ziemskie.

Otrzymana zależność (6.3) jest równaniem różniczkowym drugiego rzędu. Równanie tego typu może być rozwiązane przy użyciu numerycznych solverów w MATLAB [1]. Rozwiązanie polega na całkowaniu równania różniczkowego w czasie. Dzięki temu możliwe jest symulowanie działania układu. Przytoczony na rysunku 6.1, książkowy przykład rozwiązywania układów dynamicznych stanowił podstawę teoretyczną przy opracowaniu modelu matematycznego pracy stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej.

6.2. Opracowanie modelu matematycznego pracy stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej

Najczęściej przyjmuje się, że model oznacza reprezentację badanego obiektu. Reprezentacja ta jest uproszczona i pozbawiona wielu szczegółów, nieistotnych z punktu widzenia celów modelowania. Dla wybranego obiektu rzeczywistego należy sformułować problem, który wymaga rozwiązania. Mając zdefiniowany problem i cel można rozpocząć proces modelowania. W niniejszej rozprawie podjęto się modelowania pracy sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej. Jako problem badawczy przyjęto zapewnienie wymaganej podporności obudowy zmechanizowanej. Zatem celem stało się opracowanie modelu do prowadzenia symulacji operacji rozpierania sekcji obudowy zmechanizowanej oraz doładowania ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego. Pozwoli to na możliwość wprowadzenia zmian w układzie podpornościowym stojaka. Dla osiągnięcia wyznaczonego celu przyjęto procedurę postępowania. Proces modelowania podzielono na etapy, które zobrazowano na rysunku 6.2.

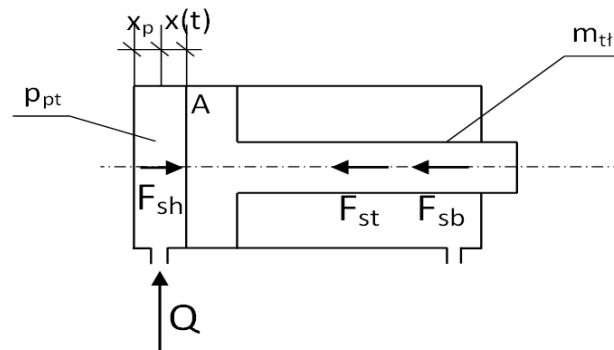


Rys. 6.2. Schemat blokowy dla metodologii postępowania przy opracowaniu modelu matematycznego w celu prowadzenia symulacji operacji rozpierania stojaka hydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej

Proces modelowania rozpoczyna od określenia parametrów technicznych stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej. Po zdefiniowaniu tych parametrów zostaną przyjęte założenia oraz uproszczenia, w tym także zdefiniowane warunki brzegowe. Pozwoli to, w kolejnym kroku, na budowę modelu, czyli ustalenie zależności zachodzących w badanym obiekcie. Zależności te zostaną zapisane w postaci równań matematycznych. W ten sposób powstanie układ równań, będący podstawą modelu matematycznego. Opracowany model będzie wymagał jeszcze weryfikacji, czyli oceny jego poprawności. W tym celu najlepiej wykorzystać wiedzę empiryczną w oparciu

o doświadczenia i obserwacje rzeczywistości. Zatem dla sprawdzenia modelu zostaną przeprowadzone badania stanowiskowe. Wymagać to będzie przygotowania stojaka hydraulicznego o zadanych parametrach technicznych oraz budowy stanowiska badawczego. Uzyskane wyniki badań stanowiskowych zostaną porównane z wynikami badań modelowych. Zbieżność uzyskanych wyników pozwoli na zakończenie procesu modelowania, a zweryfikowany model będzie mógł być wykorzystywany do prowadzenia badań symulacyjnych [105].

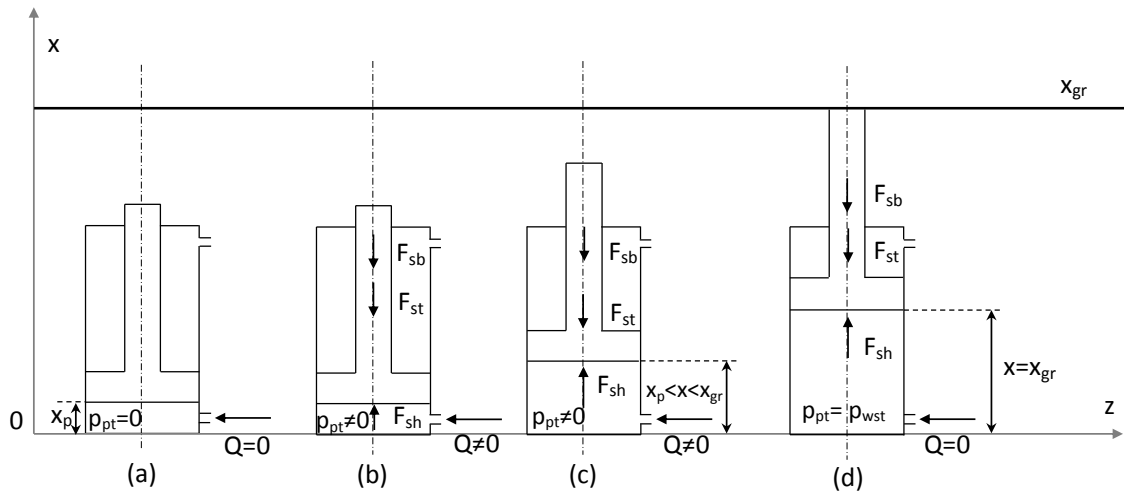
Postępując zgodnie z przyjętą procedurą (rys. 6.2), proces modelowania rozpoczęto od scharakteryzowania stojaka hydraulicznego oraz zdefiniowania jego podstawowych parametrów, co zostało zobrazowane na rysunku 6.3. W obecnie stosowanych typach sekcji obudowy zmechanizowanej stosowane są stojaki dwuteleskopowe. Na cele badań wprowadzono uproszczenie, gdzie model z dwóch stopni swobody sprowadzono do jednego stopnia swobody. Przyspieszy to znacznie proces obliczeniowy, a jednocześnie nie wpłynie znacząco na realizację założonego celu modelowania.



Rys. 6.3. Model stojaka hydraulicznego do prowadzenia badań symulacyjnych, gdzie: $m_{tł}$ – masa tłoka, p_{pt} – ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka, Q – natężenie dopływu cieczy do siłownika, x_p – położenie początkowe tłoka, $x(t)$ – przemieszczenie tłoka, A – pole powierzchni tłoka, F_{sb} – siła bezwładności, F_{st} – siła tarcia, F_{sh} – siła działająca na tłok

W kolejnym kroku przyjęto założenia do modelu wraz z warunkami brzegowymi, co przedstawiono na rysunku 6.4. Fazą wejściową w modelu jest zrabowany stojak (rys. 6.4a). Oznacza to, że wysokość sekcji obudowy zmechanizowanej została obniżona poprzez wsunięcie tłoków stojaków hydraulicznych. Tym samym stropnica utraciła kontakt ze stropem wyrobiska. Wówczas ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka jest bliskie zeru, a dopływ cieczy do stojaka pozostaje zamknięty. Na rysunku 6.4b rozpoczyna się faza rozpierania stojaka. Polega ona na wysunięciu tłoków stojaków hydraulicznych do momentu uzyskania kontaktu stropnicy ze stropem wyrobiska (x_{gr}). Wówczas dopływ cieczy do stojaka zostaje otwarty, a ciśnienie w jego przestrzeni podtłokowej zaczyna rosnąć. W wyniku wzrostu ciśnienia tłok zaczyna się przemieszczać i stojak jest rozpierany (rys. 6.4c). Po osiągnięciu granicy wysuwu tłoka ($x=x_{gr}$), dopływ cieczy do stojaka zostaje zamknięty (rys. 6.4d). W rzeczywistości tą granicą jest moment zetknięcia stropnicy sekcji ze stropem wyrobiska. Parametr maksymalnego wysuwu tłoka (x_{gr}) przyjęto jako stałą dla danego

typu sekcji obudowy zmechanizowanej i określonej wysokości ściany. Ciśnienie cieczy zamkniętej pod tłokiem stojaka decyduje o wartości podporności wstępnej sekcji obudowy zmechanizowanej [105].



Rys. 6.4. Schemat operacji rozpierania stojaka obudowy zmechanizowanej [105], gdzie:
 (a) stan wejściowy, (b) rozpoczęcie operacji rozpierania - otwarcie dopływu cieczy do stojaka hydraulicznego, (c) ruch tłoka stojaka hydraulicznego, (d) zakończenie operacji rozpierania – osiągnięcie punktu granicznego x_{gr}

Budowa modelu matematycznego wymagała przyjęcia pewnych uproszczeń. Model matematyczny powstał w oparciu o następujące założenia:

- moduł sprężystości, gęstość oraz lepkość cieczy nie zmieniają się podczas pracy układu,
- pominięto wpływ siły ciężkości na działanie układu,
- pominięto odkształcenia elementów hydraulicznych,
- założono, że w układzie nie występuje kawitacja,
- założono, że pomiędzy elementami ruchomymi nie występuje tarcie suche,
- masa występuje jako parametr skupiony [15, 59, 92].

Na podstawie dostępnej literatury [92] przyjęto, że masa skupiona stanowi 40% masy o rozłożeniu ciągłym. Należy również zaznaczyć, że model nie uwzględnia obciążenia stojaka pochodzącego od strony górotworu. Przy opracowywaniu funkcji doładowania jako główny czynnik zewnętrzny mający wpływ na rozparcie sekcji przyjęto ciśnienie w magistrali zasilającej oraz związane z tym natężenie dopływu cieczy do siłownika. W ocenie autora podejście to jest wystarczające dla scharakteryzowania proponowanej funkcji doładowania ciśnienia i określenia podstawowych parametrów pracy przyszłego prototypu. Jednocześnie, zgodnie z przyjętą procedurą, przygotowany model weryfikowano z wynikami badań stanowiskowych, w których stojak również nie był obciążany żadną siłą zewnętrzną.

Model matematyczny operacji rozpierania stojaka hydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej powstał w oparciu o dwa równania – równanie sił oraz równanie przepływów. W celu zapisu matematycznego pracy stojaka uwzględniono siły działające na niego. Następnie siły te zapisano w postaci równania

matematycznego, wykorzystując zasadę d'Alemberta [15, 16, 20, 59]. Po wprowadzeniu do układu siły bezwładności (d'Alemberta) zagadnienie dynamiki traktuje się jak zagadnienie statyki. Zgodnie z powyższą zasadą suma sił działających na punkt materialny musi być równa zero. Równanie to uzupełniono o bilans natężeń przepływu cieczy [15, 16]. Pozwoli to na wyznaczenie charakterystyki zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka, co jest istotne dla przyjętego celu modelowania. Parametr ten decyduje o wartości podporności sekcji obudowy zmechanizowanej.

Związek pomiędzy siłami działającymi na stojak zmechanizowanej obudowy ścianowej (rys. 6.3), wyznaczony z zasady d'Alemberta, przyjmuje następującą postać:

$$-F_{sb} - F_{st} + F_{sh} = 0, \quad (6.4)$$

gdzie:

F_{sb} – siła bezwładności,

F_{st} – siła tarcia,

F_{sh} – siła działająca na tłok.

Siły te można określić następującymi zależnościami:

$$F_{sb} = m_{tt} \cdot \frac{d^2x}{dt^2}, \quad (6.5)$$

$$F_{st} = f_s \cdot \frac{dx}{dt}, \quad (6.6)$$

$$F_{sh} = p_{pt}(t) \cdot A, \quad (6.7)$$

gdzie:

m_{tt} – masa tłoka,

$x(t)$ – przemieszczenie tłoka,

f_s – współczynnik tarcia lepkiego,

$p_{pt}(t)$ – ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka,

A – pole powierzchni tłoka.

Biorąc pod uwagę zależności (6.5), (6.6) oraz (6.7), równanie (6.4) można zapisać w postaci:

$$-m_{tt} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} - f_s \cdot \frac{dx}{dt} + p_{pt}(t) \cdot A = 0, \quad (6.8)$$

Równanie natężenia dopływu cieczy do stojaka podczas operacji rozpierania zmechanizowanej obudowy ścianowej przyjmuje postać:

$$Q = Q_s + Q_c, \quad (6.9)$$

gdzie:

Q – natężenie przepływu cieczy, która dopływa do siłownika,

Q_s – natężenie przepływu związane z ruchem tłoka,

Q_c – natężenie przepływu związane ze ściśliwością cieczy.

Natężenia przepływu Q_s i Q_c określone są następującymi zależnościami:

$$Q_s = A \cdot \frac{dx}{dt}, \quad (6.10)$$

$$Q_c = \frac{A \cdot (x_p + x(t))}{B} \cdot \frac{dp_{pt}}{dt}, \quad (6.11)$$

gdzie:

A – pole powierzchni tłoka,

x – przemieszczenie tłoka,

x_p – położenie początkowe tłoka,

B – moduł sprężystości cieczy,

p_{pt} – ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka.

Uwzględniając zależności (6.10) i (6.11), wzór (6.9) przyjmuje następującą postać:

$$Q = A \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{A \cdot (x_p + x(t))}{B} \cdot \frac{dp_{pt}}{dt}, \quad (6.12)$$

Uwzględniając zależność (6.8) i (6.12), zapisano układ równań (6.13), będący podstawą modelu matematycznego. Dla otrzymanego układu równań i przyjętych warunków brzegowych można prowadzić symulacje komputerowe.

$$\begin{cases} -m_{tt} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} - f_s \cdot \frac{dx}{dt} + p_{pt}(t) \cdot A = 0 \\ \frac{dp_{pt}}{dt} = \frac{B \cdot (Q - A \cdot \frac{dx}{dt})}{A \cdot (x_p + x(t))} \end{cases} \quad (6.13)$$

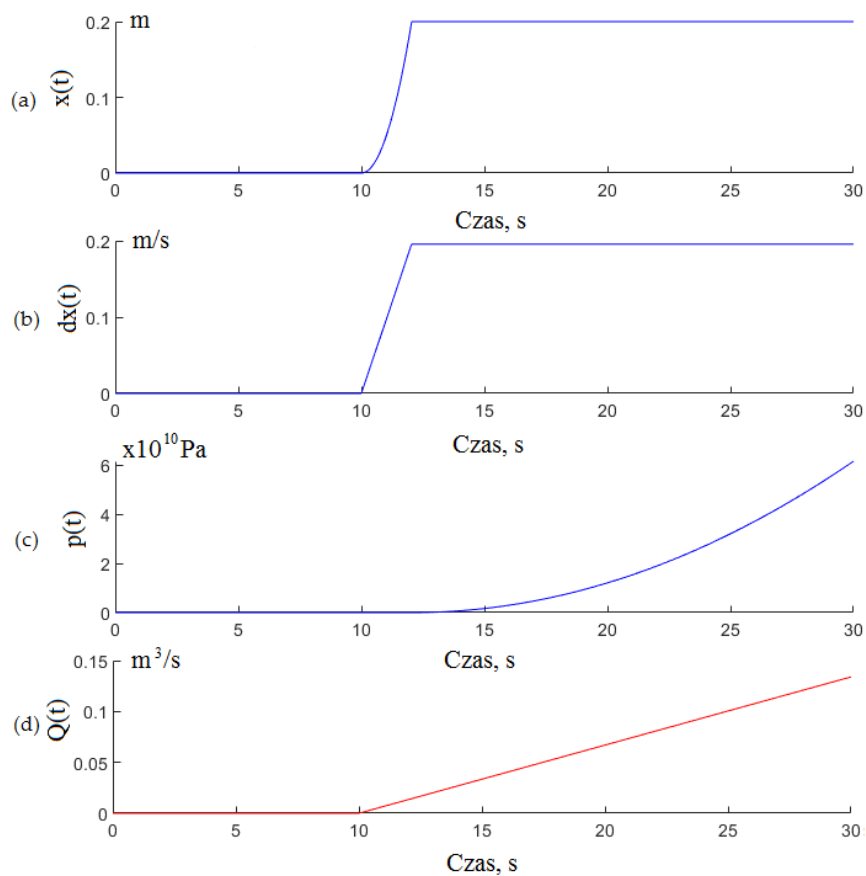
6.2.1. Badania symulacyjne operacji rozpierania stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej

Model matematyczny został opracowany zgodnie z przyjętą procedurą postępowania. Symulacje na modelu umożliwiają wyznaczenie czasowego przebiegu ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego podczas operacji jego rozpierania. Dodatkowo opracowany model pozwala również wyznaczyć przemieszczenie tłoka stojaka hydraulicznego oraz jego prędkość. Badania symulacyjne prowadzono z wykorzystaniem programu komputerowego MATLAB [1]. W wyniku rozwiązania układu równań (6.13), dla zadanych parametrów, otrzymano poszukiwaną charakterystykę zmian ciśnienia pod tłokiem stojaka. Podstawowe parametry stojaka hydraulicznego i cieczy, które przyjęto do obliczeń, zestawiono w tabeli 6.1.

Tabela 6.1. Parametry stojaka hydraulicznego oraz cieczy w układzie hydraulicznym

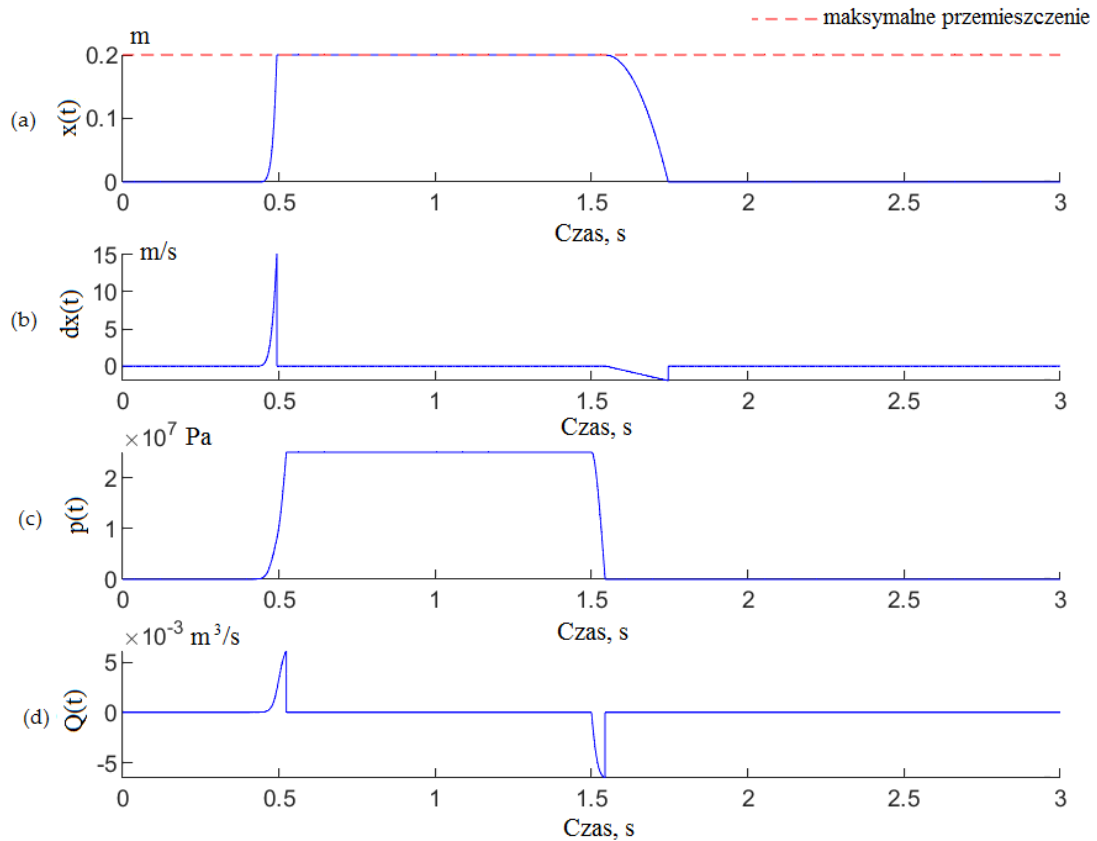
Parametr	Oznaczenie parametru	Przyjęta wartość parametru
masa tłoka	m_t	637 kg
współczynnik tarcia lepkiego	f_s	0,026 Ns/m
pole powierzchni tłoka	A	0,07 m ²
moduł sprężystości cieczy	B	$2 \cdot 10^9$ Pa

Otrzymane wstępne wyniki badań przedstawiono na rysunku 6.5. Jak można zauważyć, natężenie dopływu cieczy do siłownika narasta liniowo bez nałożonych ograniczeń. Skutkowało to przyrostem ciśnienia ponad dopuszczalną wartość. W rzeczywistości natężenie dopływu medium regulowane jest przede wszystkim przez parametry zastosowanej pompy. Dla danego układu określone jest też maksymalne natężenie przepływu, wynikające z zastosowanych w nim elementów. Zatem po wstępnej, wizualnej ocenie uzyskanych wyników, opracowany model wymagał skorygowania [105].



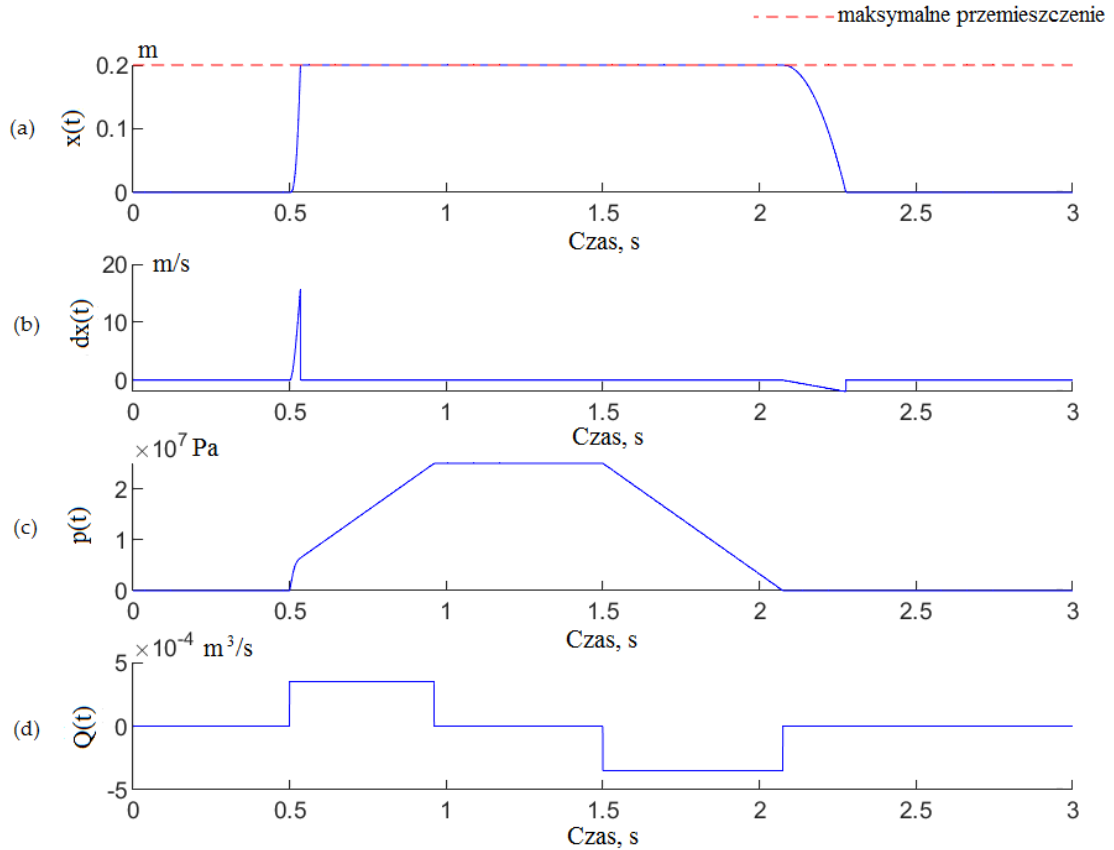
Rys. 6.5. Wyniki wstępnej, próbnej symulacji komputerowej dla przyjętego modelu [105], gdzie:
 a – wykres przemieszczenia tłoka stojaka w czasie, b – wykres prędkości tłoka stojaka,
 c – przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka w czasie, d - wykres natężenia dopływu cieczy do stojaka w czasie

Powyższy problem rozwiązano za pomocą metody Eulera. System ODE 2-rzędu przepisano na system ODE 1-rzędu. Następnie aproksymowano pochodne (w czasie) różnicami. Założono też graniczną wartość ciśnienia w warunkach brzegowych. W rzeczywistości stosowane są specjalne zawory ograniczające przyrost ciśnienia w siłowniku ponad dopuszczalną wartość. Po wprowadzonych zmianach wykonano kolejną symulację, a jej wynik przedstawiono na rysunku 6.6 [105].



Rys. 6.6. Wyniki symulacji komputerowej dla zmodyfikowanego modelu [105], gdzie:
 a – wykres przemieszczenia tłoka stojaka w czasie, b – wykres prędkości tłoka stojaka,
 c – przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka w czasie,
 d – wykres natężenia dopływu cieczy do stojaka w czasie

Wprowadzone zmiany pozwoliły na uzyskanie stałej wartości ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka po jego rozparciu. Jednak charakterystyka natężenia dopływu cieczy wskazywała na jego liniowy wzrost. W rzeczywistości, po odpowiednim przesterowaniu rozdzielacza, otwierany jest dopływ cieczy do stojaka. Dopływ tej cieczy jest stały. Zatem w kolejnym kroku dopracowano charakterystykę natężenia dopływu cieczy do siłownika, przyjmując jego stałą wartość. Ponadto zmniejszono wartość natężenia dopływu cieczy z jego maksymalnej wartości wynikającej z parametrów układu do wartości rzeczywistej. Wyniki z przeprowadzonej symulacji przedstawiono na rysunku 6.7 [105].

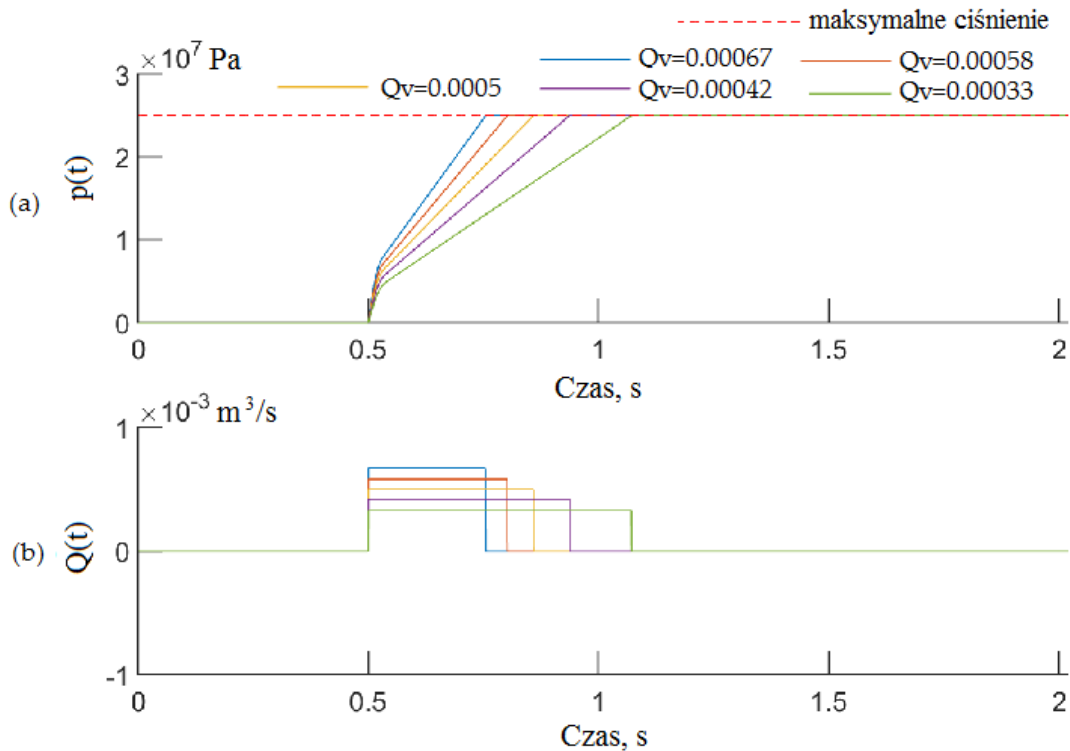


Rys. 6.7. Wyniki symulacji komputerowej ze stałą charakterystyką dopływu cieczy [105], gdzie:
 a – wykres przemieszczenia tłoka stojaka w czasie, b – wykres prędkości tłoka stojaka,
 c – przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka w czasie,
 d – wykres natężenia dopływu cieczy do stojaka w czasie

Po uzyskaniu założonej charakterystyki natężenia dopływu cieczy do stojaka rozpoczęto prowadzenie badań symulacyjnych. Wyniki z symulacji komputerowej przeprowadzonej dla pięciu różnych wartości natężenia dopływu cieczy do siłownika (tabela 6.2) przedstawiono na rysunku 6.8.

Tabela 6.2. Parametry zmienne w symulacji

Parametr	Oznaczenie parametru	Przyjęta wartość parametru
Natężenie dopływu cieczy do siłownika	Q	0,00067 m ³ /s
		0,00058 m ³ /s
		0,00050 m ³ /s
		0,00042 m ³ /s
		0,00033 m ³ /s



Rys. 6.8. Wyniki symulacji komputerowej rozpierania stojaka dla pięciu różnych wartości natężenia dopływu cieczy [105], gdzie: a – przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka w czasie jego rozpierania, b – wykres natężenia dopływu cieczy do stojaka w czasie

Uzyskany przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka podczas jego rozpierania można podzielić na dwie wyróżniające się fazy. Pierwsza faza charakteryzuje się bardzo szybkim przyrostem ciśnienia. Wówczas tłok stojaka nie porusza się, a w wyniku ściśliwości cieczy ciśnienie szybko narasta. Po przekroczeniu pewnej granicznej wartości ciśnienia, siła działająca na tłok wprawia go w ruch. Tym samym w drugiej fazie przyrost ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka jest znacznie łagodniejszy i zależy on od wartości natężenia dopływu cieczy [105].

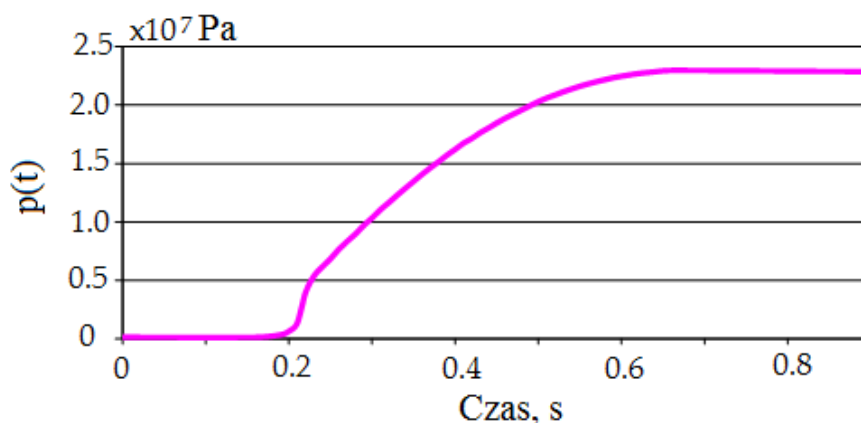
6.2.2. Weryfikacja modelu w oparciu o badania stanowiskowe

Ostatnim etapem w modelowaniu matematycznym była weryfikacja modelu. W tym celu przeprowadzono badania stanowiskowe, a ich wyniki posłużyły do sprawdzenia poprawności opracowanego modelu. Próby polegały na rozpieraniu stojaka hydraulicznego w ramie stanowiska poprzez zasilanie cieczą ze stacji pomp (rys. 6.9). Badania pozwoliły uzyskać przebiegi zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka podczas operacji jego rozpierania. Wyniki z przeprowadzonych badań umożliwiły weryfikację modelu matematycznego [105].



Rys. 6.9. Widok stanowiska badawczego przygotowanego na potrzeby weryfikacji modelu matematycznego, gdzie: 1 – rama stanowiska, 2 – stojak hydrauliczny, 3 – czujniki ciśnienia, 4 – blok zaworowy

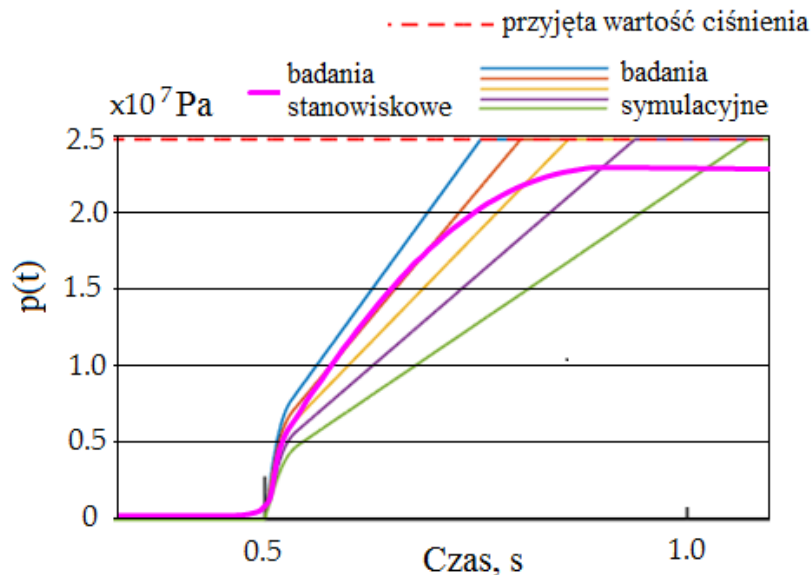
Na podstawie przeprowadzonych badań stanowiskowych wyznaczono przebiegi zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka podczas jego rozpierania. Przykładowe uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 6.10. Na wykresie, podobnie jak w badaniach modelowych, można zauważyć dwie charakterystyczne fazy wzrostu ciśnienia. Proces rozpierania rozpoczyna się bardzo szybkim wzrostem ciśnienia. Natomiast po przekroczeniu wartości około 5 MPa, wzrost ciśnienia jest znacznie łagodniejszy [105].



Rys. 6.10. Wyniki z badań stanowiskowych do weryfikacji modelu [105]

Wyniki z badań stanowiskowych porównano w wynikami badań symulacyjnych (rys. 6.11). Jak widać na wykresie, uzyskano znaczą zbieżność wyników. Otrzymano bardzo zbliżone charakterystyki zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka podczas jego rozpierania. Maksymalna wartość ciśnienia uzyskana w badaniach stanowiskowych wynosi około 23 MPa i jest ona nieco mniejsza

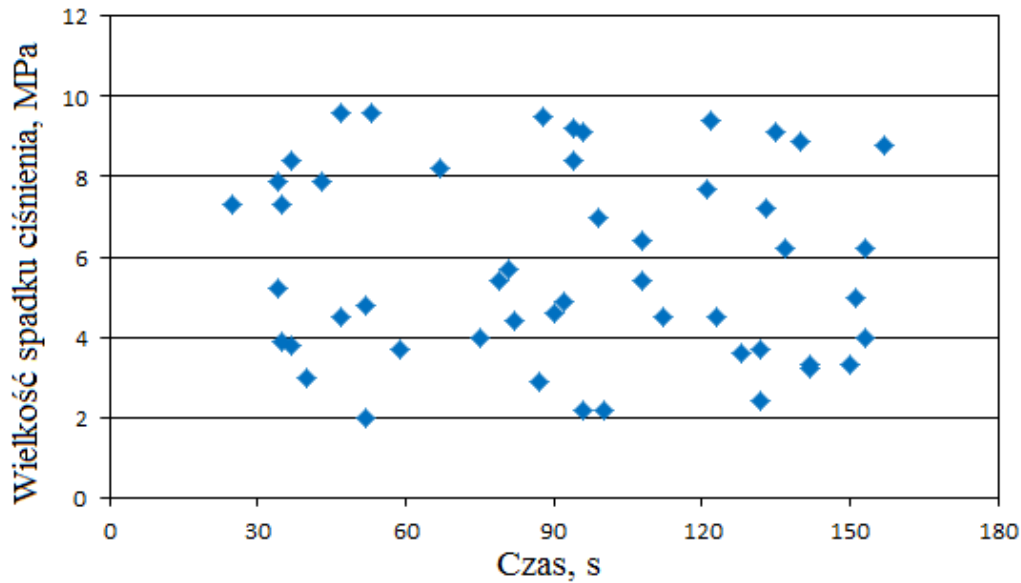
od wartości uzyskanej w badaniach symulacyjnych. Wynika to z charakterystyki pracy pompy, zasilającej układ podczas badań stanowiskowych. Zbieżność uzyskanych wyników pozwoliła na pomyślne zakończenie procesu modelowania. Tak przygotowany model może już być wykorzystany do prowadzenia badań symulacyjnych [105].



Rys. 6.11. Weryfikacja modelu matematycznego – porównanie wyników badań symulacyjnych i stanowiskowych w zakresie przebiegów zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka podczas operacji jego rozpierania [105]

6.3. Opracowanie modelu matematycznego dla doładowania ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej

W kolejnym kroku opracowano model doładowania ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej. W tym celu przeprowadzono analizę ubytków cieczy w eksploatowanych stojakach. Sprawdzeniu poddano stojaki hydrauliczne obudowy zmechanizowanej, które charakteryzowały się problemami technicznymi w utrzymaniu podporności. Dla stojaków tych wykonano próby sprawdzające na powierzchni kopalni. Polegały one na rozparciu stojaka i pomiarze strat ciśnienia w jego przestrzeni podtłokowej. Podczas badań wyeliminowano stojaki całkowicie niesprawne technicznie. Wyniki z pomiarów zestawiono na wykresie (rys. 6.12). Dla uzyskanej reprezentacji wartość zarejestrowanych spadków ciśnienia mieściła się w przedziale od 2,0 do 9,8 MPa. Czas trwania odnotowanych spadków ciśnienia wynosił od 25 do 161 sekund. Z przedstawionego zestawienia pomiarów wynika, że badane parametry mają charakter losowy. Wielkość ubytku ciśnienia oraz czas tego ubytku będą zależały od stopnia uszkodzenia elementów stojaka, w tym przede wszystkim jego uszczelnień.



Rys. 6.12. Wyniki z przeprowadzonej analizy ubytków cieczy w przestrzeni podtłokowej stojaków hydraulicznych obudowy zmechanizowanej

Przeprowadzona analiza pozwoliła określić możliwe wielkości ubytków cieczy w stojakach hydraulicznych. Na tej podstawie wyznaczono założenia do zamodelowania funkcji doładowania. Głównym założeniem było, że rozszerzenie funkcjonalności układu hydraulicznego obudowy zmechanizowanej nie może wprowadzać dodatkowych elementów do tego układu, a samo urządzenie do doładowania ma charakteryzować się prostotą użytkowania i niezawodnością. Jednocześnie prototypowe rozwiązanie ma wyeliminować czynnik ludzki.

Dla opracowania funkcji doładowania zmodyfikowano przyjęty model matematyczny stojaka, zapisany układem równań (6.13). Założono, że modelowana funkcja doładowania ma być realizowana już po rozparciu stojaka przez operatora. Oznacza to, że tłok stojaka w trakcie doładowania nie będzie się przemieszczał. Tym samym należy uwzględnić, że przemieszczenie tłoka $\{x(t)\}$, jego prędkość $\left\{\frac{dx}{dt}\right\}$ oraz przyspieszenie $\left\{\frac{d^2x}{dt^2}\right\}$ są równe zero, a położenie tłoka przyjmuje zadaną graniczną wartość ($x_p=x_{gr}$), wynikającą z wysokości eksploatowanej ściany. Przepływ cieczy dla doładowania ciśnienia będzie następował automatycznie, kiedy wartość ciśnienia w magistrali zasilającej będzie wyższa od wartości ciśnienia pod tłokiem stojaka. Uwzględniając powyższe, układ równań (6.13) dla funkcji doładowania przyjmuje następującą postać:

$$\frac{dp_{pt}}{dt} = \frac{B \cdot Q}{A \cdot x_{gr}}, \quad (6.14)$$

gdzie:

p_{pt} – ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka

B – moduł sprężystości cieczy,

Q – natężenie przepływu cieczy, która dopływa do siłownika

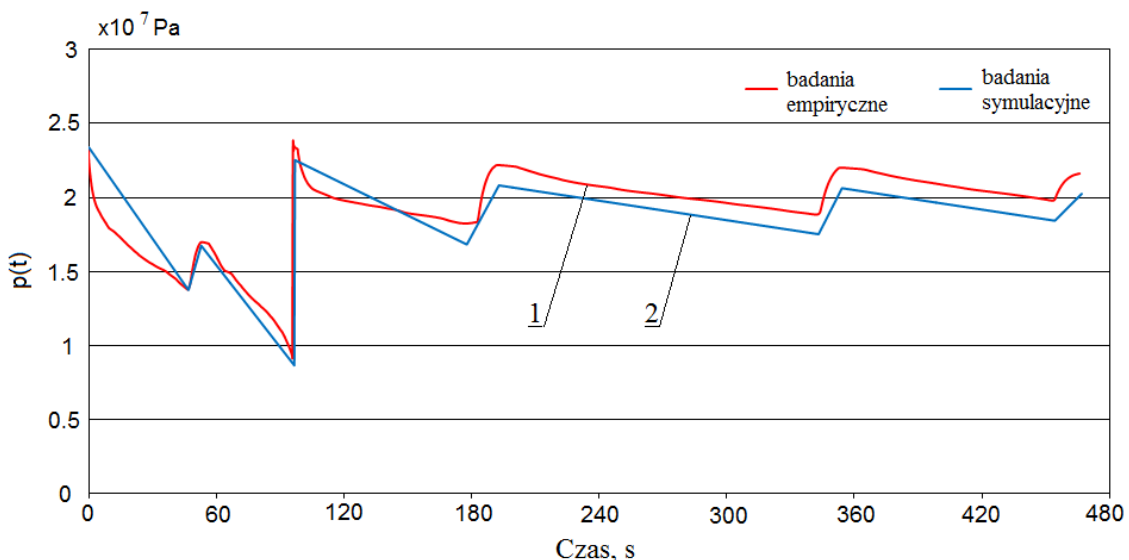
A – pole powierzchni tłoka,

x_{gr} – graniczne położenie tłoka (maksymalne rozparcie stojaka).

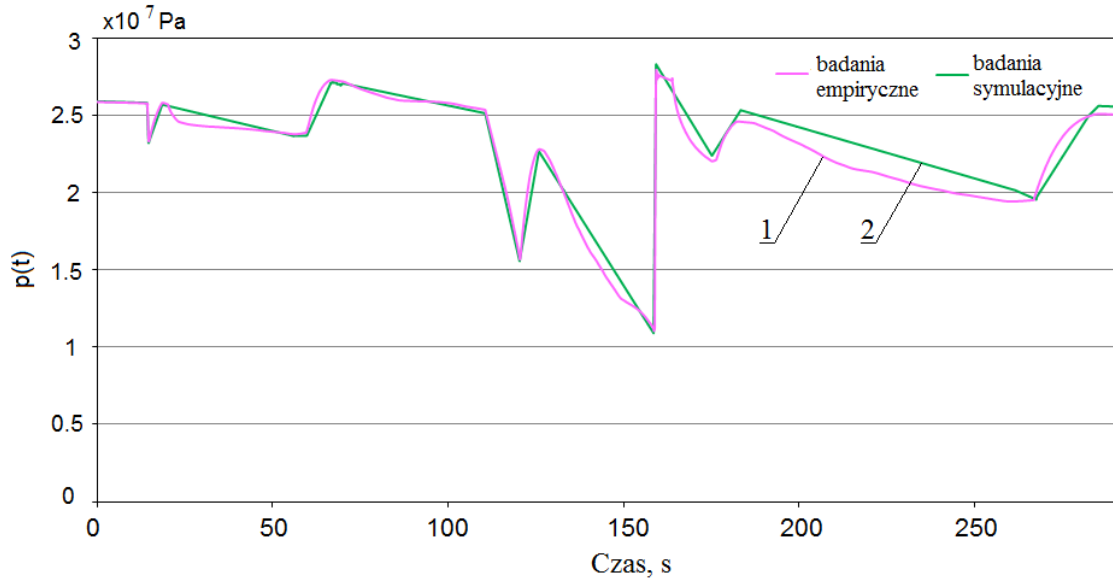
6.3.1. Weryfikacja modelu doładowania ciśnienia w oparciu o badania empiryczne

Dla scharakteryzowania pracy przyszłego prototypu przeprowadzono badania empiryczne z wykorzystaniem nieszczelnych stojaków. Badane stojaki podłączone były do pompy zasilającej przez blok zaworowy oraz rozdzielacz. Zatem rozpatrywany układ odpowiadał na natężenie dopływu cieczy do siłownika, co skutkowało zmianą ciśnienia pod tłokiem stojaka. Badania polegały na ręcznym doładowaniu ciśnienia przez operatora. Po zarejestrowanych spadkach ciśnienia w przestrzeni podtłokowej badanego stojaka, operator, sterując rozdzielaczem hydraulicznym, uzupełniał ubytki cieczy pod tłokiem stojaka. Na podstawie przeprowadzonych badań wyznaczono wielkości niezbędne do prowadzenia badań symulacyjnych na przyjętym modelu [11].

Na rysunkach 6.13 oraz 6.14 zestawiono przebiegi zmian ciśnienia pod tłokiem stojaka dla proponowanej funkcji doładowania uzyskane w badaniach empirycznych oraz modelowych. Jak widać na wykresach (rys. 6.13, 6.14), w badaniach modelowych przebiegi mają charakter linowy, czego nie obserwuje się w badaniach empirycznych. Spowodowane jest to tym, że badania empiryczne nie są prowadzone na idealnym układzie. Na uzyskane nieliniowości mają wpływ między innymi charakterystyka pompy zasilającej, możliwe zanieczyszczenia cieczy czy też brak idealnych uszczelnień. W modelu nie uwzględniono tych zmiennych losowych, gdyż nie mają one większego wpływu na charakter funkcji doładowania. Uzyskana zgodność w badaniach modelowych i empirycznych pozwala na potwierdzenie poprawności opracowanego modelu [11].

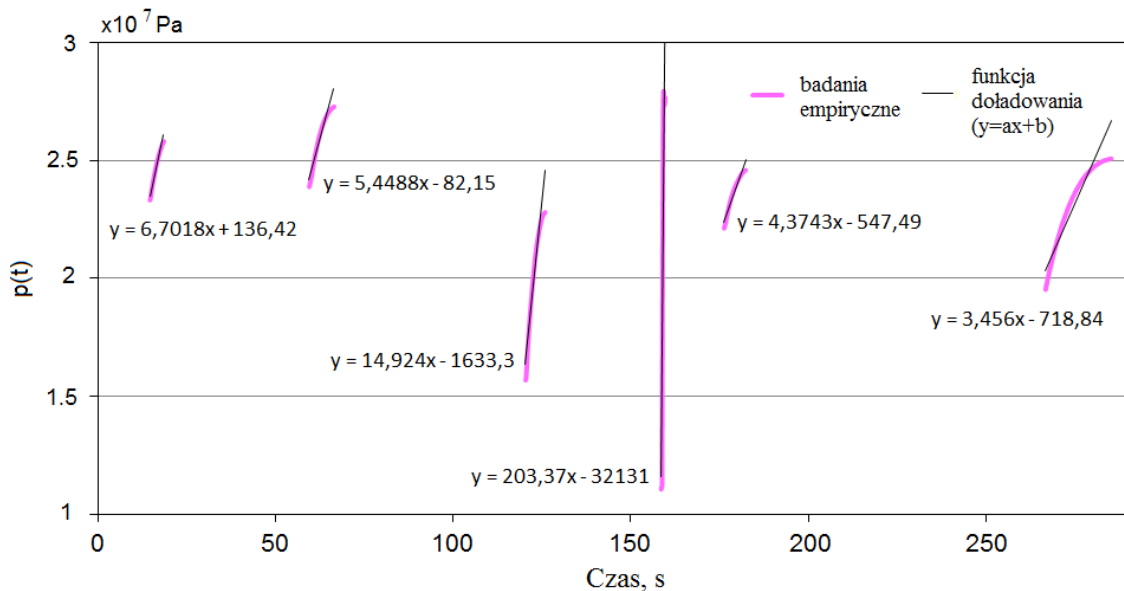


Rys. 6.13. Zestawienie wyników badań symulacyjnych i empirycznych dla funkcji doładowania ciśnienia w stojaku hydraulicznym [11], gdzie: 1 – przebieg zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka uzyskany w badaniach empirycznych, 2 – przebieg zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka uzyskany w badaniach symulacyjnych

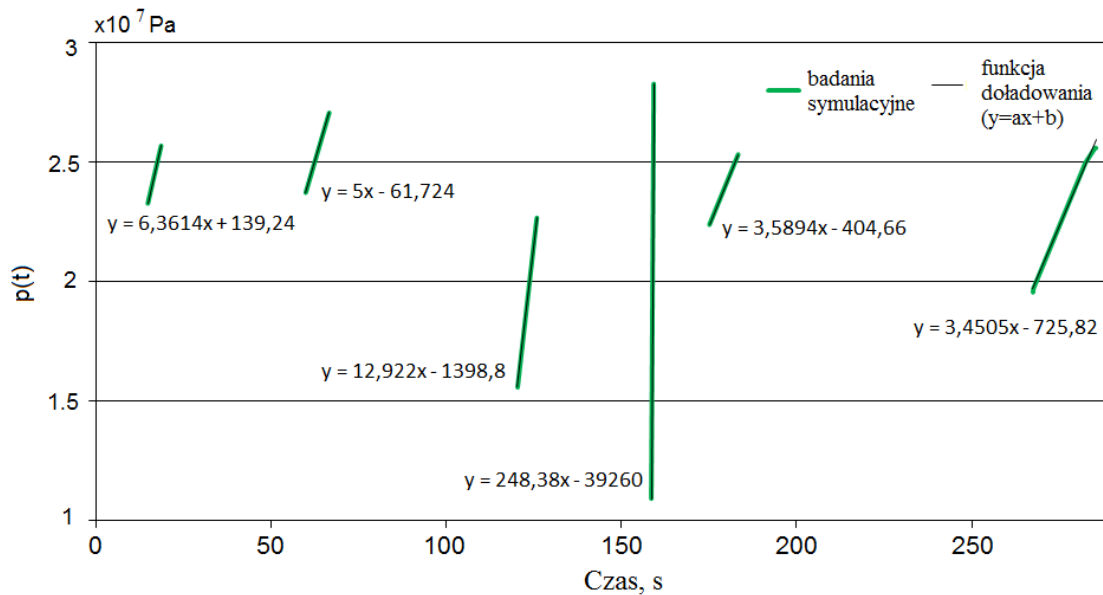


Rys. 6.14. Zestawienie wyników badań symulacyjnych i empirycznych dla funkcji doładowania ciśnienia w stojaku hydraulicznym, gdzie: 1 – przebieg zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka uzyskany w badaniach empirycznych, 2 – przebieg zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka uzyskany w badaniach symulacyjnych

Dla przebiegów zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka, uzyskanych w próbie przedstawionej na rysunku 6.14, wyodrębniono momenty doładowania ciśnienia. W omawianej próbie zarejestrowano sześć doładowań. Na rysunku 6.15 pokazano doładowania zmierzone w badaniach stanowiskowych, natomiast rysunek 6.16 przedstawia doładowania uzyskane w badaniach symulacyjnych. Doładowania te zostały opisane funkcją liniową ($y=ax+b$).



Rys. 6.15. Przebieg funkcji doładowania uzyskany w badaniach empirycznych



Rys. 6.16. Przebieg funkcji doładowania uzyskany w badaniach symulacyjnych

Porównując wyznaczone funkcje dla badań empirycznych i symulacyjnych można zauważyć ich zbieżność. W obu badaniach dla czwartego doładowania uzyskano wysoką wartość współczynnika kierunkowego, odbiegającą od pozostałych. Współczynnik kierunkowy funkcji opisuje szybkość doładowania. W czwartym przypadku odnotowano znaczny spadek ciśnienia pod tłokiem stojaka. Tym samym wystąpiła spora różnica w wartościach ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka i magistrali zasilającej, co skutkowało większym natężeniem przepływu cieczy dla doładowania. Mogło to wpłynąć na szybkość realizacji doładowania. W omawianym przypadku współczynnik kierunkowy w badaniach symulacyjnych przyjmuje jeszcze większą wartość niż w badaniach empirycznych. W badaniach empirycznych mogą występować większe opory ruchu cieczy związane między innymi z jej zanieczyszczeniem lub zużyciem eksploatacyjnym elementów układu hydraulicznego, czego nie uwzględniono w badaniach symulacyjnych.

Przyjęty model doładowania pozwolił określić parametry pracy dla przyszłego prototypu bloku z funkcją doładowania ciśnienia. Należy tu jednak mieć na uwadze, że osiągnięte parametry pracy tego prototypu w warunkach rzeczywistych będą różnić się od tego, co udało się osiągnąć na stanowisku badawczym. W ścianie wydobywczej, gdzie docelowo ma pracować prototyp, występuje szereg zmiennych losowych, które będą miały znaczący wpływ na jego pracę, a których nie da się jednoznacznie zamodelować. Tymi zmiennymi są m.in. warunki górniczo-geologiczne, zmienne postępy prowadzonej eksploatacji, wpływ sąsiednich sekcji.

6.4. Wnioski

Dla prowadzenia badań symulacyjnych operacji rozpierania sekcji obudowy zmechanizowanej opracowany został model matematyczny stojaka hydraulicznego. Działając zgodnie z przyjętą procedurą (rys. 6.2), określono niezbędne założenia, uproszczenia i zależności. W wyniku tego powstał wstępny model. Model był

kilkukrotnie modyfikowany, aż do uzyskania wymaganej charakterystyki natężenia dopływu cieczy do stojaka – zgodnej z rzeczywistością. Ostatecznie przyjęty model zweryfikowano z wynikami badań stanowiskowych. Uzyskana zbieżność wyników potwierdziła poprawność modelu, co tym samym zakończyło samą procedurę modelowania pracy stojaka. Tak przygotowany model jest modelem wyjściowym, może on być wykorzystywany do prowadzenia badań symulacyjnych.

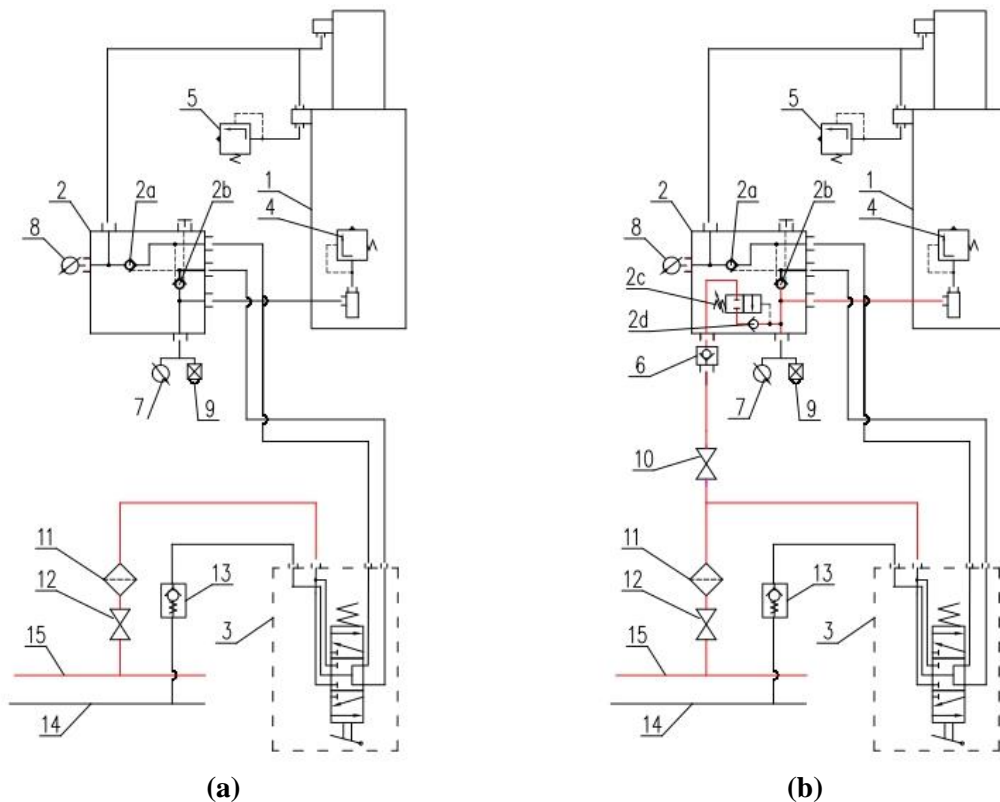
W oparciu o model matematyczny pracy stojaka, w kolejnym kroku zamodelowano funkcję doładowania ciśnienia. Parametry niezbędne do modelu wyznaczono w oparciu o badania empiryczne, które polegały na ręcznym doładowaniu ciśnienia przez operatora. Wyniki uzyskane w badaniach symulacyjnych oraz empirycznych charakteryzują się znaczną zbieżnością.

Opracowane modele dla prowadzenia badań symulacyjnych pozwoliły sformułować wnioski o charakterze poznawczym:

- 1) Badania symulacyjne umożliwiają określenie parametrów niezbędnych do opracowania prototypu.
- 2) Na etapie tworzenia nowego prototypu obudowy zmechanizowanej lub jej podzespołów, w oparciu o przyjęte założenia konstrukcyjne, badania symulacyjne pozwalają wyznaczyć charakterystykę pracy tego prototypu.
- 3) Modelowanie matematyczne oraz badania symulacyjne umożliwiają szybką ocenę słuszności przyjętych założeń.

7. Proponowana zmiana w układzie hydraulicznym obudowy zmechanizowanej ukierunkowana na utrzymanie podporności

Dla poprawy parametrów podpornościowych sekcji obudowy zmechanizowanej, w konstrukcjach stosowanych w Polskiej Grupie Górniczej S.A., autor proponuje zmianę w układzie hydraulicznym stojaka. Zmiana ma polegać na wprowadzeniu do dotychczasowego układu podpornościowego funkcji doładowania ciśnienia (rys. 7.1). W tym celu przygotowano prototypowe rozwiązanie. Powstało ono w oparciu o dotychczas stosowane bloki zaworowe i zostało rozbudowane o zawór progowy (2c) oraz zawór zwrotny (2d). Umieszczony w prototypie zawór progowy (2c) ma nastawę ciśnienia otwarcia o wartości 9 MPa. Oznacza to, że poniżej tej wartości funkcja automatycznego doładowania ciśnienia nie działa. Po przekroczeniu, w trakcie rozpierania stojaka, wartości ciśnienia 9 MPa układ automatycznego doładowania zostaje włączony. Z kolei zawór zwrotny (2d) ma za zadanie wyeliminowanie możliwości cofania się cieczy do magistrali zasilającej. Dla bezpieczeństwa w układzie zastosowano jeszcze dodatkowy zawór zwrotny (6), połączony szeregowo, który ma zabezpieczyć układ na wypadek zanieczyszczenia zaworu zwrotnego (2d) [7].

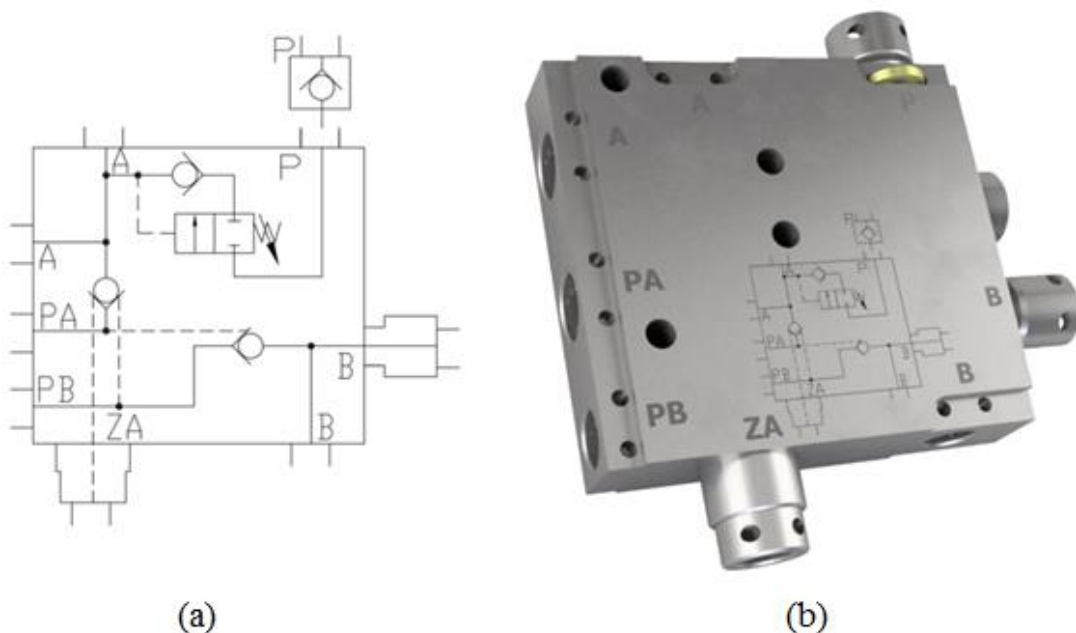


Rys. 7.1. Układ hydrauliczny stojaka obudowy zmechanizowanej:

(a) tradycyjny, (b) zmodyfikowany [109], gdzie: 1 – stojak, 2 – blok zaworowy, 2a, 2b, 2d – zawór zwrotny, 2c – zawór progowy, 3 – rozdzielacz czterodrogowy trójpołożeniowy, 4 i 5 – zawór bezpieczeństwa, 7 i 8 – manometr, 9 – wskaźnik ciśnienia, 10 i 12 – zawór odcinający, 11 – filtr, 13 – zawór zwrotny, 14 – magistrala spływowa, 15 – magistrala zasilająca

Prototypowy blok podłączony jest do magistrali zasilającej (15) poprzez zawór zwrotny (6) i zawór odcinający (10). Zastosowanie zaworu odcinającego pozwala w każdej chwili wyłączyć funkcję doładowania i wówczas układ pracuje w systemie tradycyjnym (rys. 7.1 a).

Przy stosowaniu automatycznego doładowania konieczne jest zastosowanie w układzie hydraulicznym stojaka podwójnego bloku zaworowego (2). Wówczas zabezpieczona jest zarówno przestrzeń podtłokowa, jak i nadtłokowa stojaka przed cofaniem się cieczy. Zapobiega to spadkowi ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka w przypadku powstania nieszczelności wewnętrznej. Dodatkowo układ ten wyposażony jest w zawór przelewowy (5). Zawór ten ma za zadanie zabezpieczenie przed zniszczeniem przewodów hydraulicznych łączących blok zaworowy z przestrzenią nadtłokową stojaka. Jest to skuteczne zabezpieczenie w przypadku powstania nieszczelności wewnętrznej i związanego z tym wzrostu ciśnienia w przestrzeni nadtłokowej do wartości przewyższającej wytrzymałość przewodów łączących, jak również w przypadku gdy realizowana jest funkcja sterownicza rozpierania w sekcji tylko jednego stojaka. Proponowany prototyp, przygotowany na potrzeby badań, przedstawiono na rysunku 7.2, a jego parametry uwzględniono w tabeli 7.1. Prototyp posiada pięć przyłączy: A (podłączenie do przestrzeni podtłokowej), B (podłączenie do przestrzeni nadtłokowej), PA (połączenie rozdzielacza z przestrzenią podtłokową), PB (połączenie rozdzielacza z przestrzenią nadtłokową) oraz P (dodatkowe połączenie przestrzeni podtłokowej z magistralą zasilającą dla realizacji funkcji doładowania).



Rys. 7.2. Prototyp bloku zaworowego z funkcją doładowania ciśnienia w stojaku hydraulicznym zmechanizowanej obudowy ścianowej [108], gdzie:

(a) – schemat prototypu bloku, (b) – wykonanie prototypu bloku

Tabela 7.1. Podstawowe dane techniczne prototypu bloku z funkcją doładowania

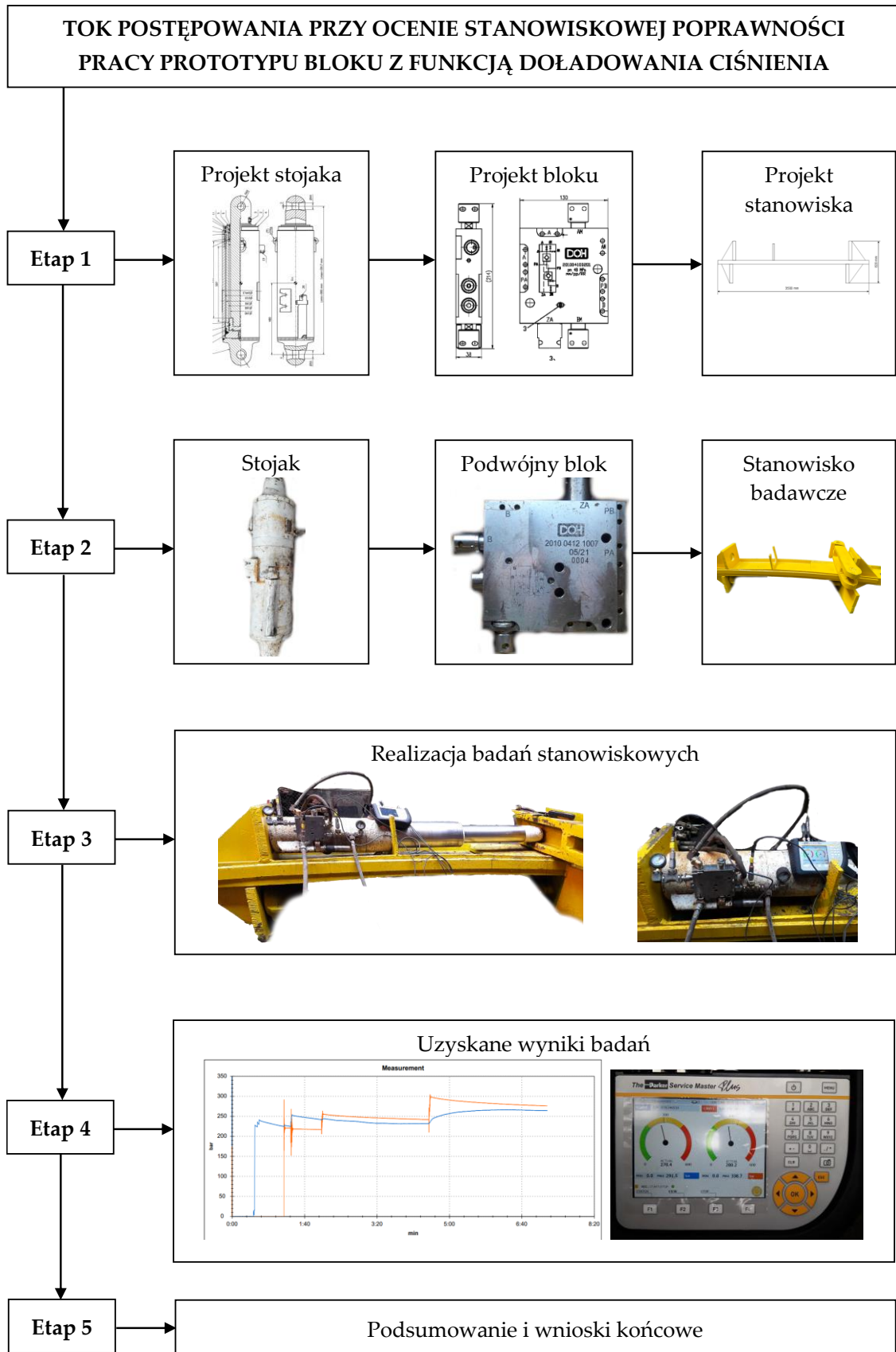
Zakres pracy	Jednostka pracy
Ciśnienie nominalne	48 MPa
Średnica przepływu	0,01 m (Ø 10)
Przepływ maksymalny	0,0067 m ³ /s (400 l/min)
Liczba wkładów zaworu zwrotnego	3
Temperatura pracy	313,15 ÷ 333,15 K (40°C ÷ 60°C)

8. Badania stanowiskowe proponowanego układu podpornościowego stojaka hydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej

Opracowany model matematyczny umożliwił prowadzenie badań symulacyjnych pracy stojaka hydraulicznego. W tym zakresie przeprowadzono szereg symulacji. Uzyskane wyniki i ich analizy pozwoliły określić podstawowe parametry pracy dla opracowania przyszłego prototypu. Na tej podstawie zaproponowano zmianę w układzie hydraulicznym obudowy zmechanizowanej, która polega na zastąpieniu dotychczasowego bloku zaworowego przez blok z funkcją automatycznego doładowania ciśnienia. Koncepcję i projekt prototypu przedstawiono w rozdziale 7. W celu potwierdzenia poprawności jego pracy i oceny proponowanej funkcji doładowania przeprowadzone zostały badania stanowiskowe [107, 108].

8.1. Przyjęty sposób postępowania przy ocenie stanowiskowej prototypu bloku z funkcją doładowania ciśnienia

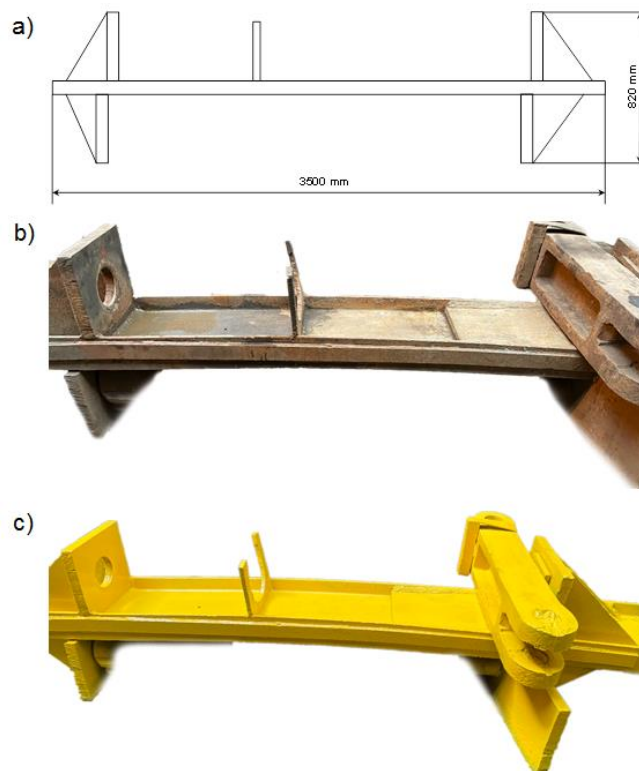
Na rysunku 8.1 przedstawiono przyjęty tok postępowania dla przeprowadzenia badań stanowiskowych proponowanej funkcji doładowania. Opracowany plan badań obejmował swoim zakresem 5 etapów. W etapie 1 skupiono się na zagadnieniu projektowym dla przyjętej koncepcji. Zadanie to obejmowało opracowanie prototypu bloku realizującego funkcję doładowania. Na tym etapie równocześnie powstał projekt stanowiska, na którym miały być prowadzone badania. W przypadku stojaka wykorzystano gotowe rozwiązania stosowane w Polskiej Grupie Górniczej S.A. W etapie 2 wykonano prototyp bloku w oparciu o przyjętą koncepcję oraz założenia projektowe. Finalnym efektem tego etapu było fizyczne przygotowanie stanowiska badawczego oraz stojaka hydraulicznego, który został wyposażony w opracowany prototyp. Umożliwiło to przeprowadzenie badań stanowiskowych, które stanowiły etap 3. W etapie 4 uzyskane wyniki badań zostały poddane analizie. Przeprowadzone badania umożliwiły wygenerowanie wykresów zmian ciśnienia w czasie. Badania objęły swoim zakresem pomiar ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka oraz ciśnienia doładowania w bloku i ciśnienia zasilania. Przeprowadzona analiza uzyskanych wyników pozwoliła wyciągnąć wnioski końcowe oraz zweryfikować poprawność pracy prototypu i możliwą gotowość do rozpoczęcia badań w warunkach rzeczywistych (etap 5) [107, 108].



Rys. 8.1. Przyjęta metodyka postępowania przy stanowiskowej ocenie poprawności pracy prototypu bloku z funkcją doładowania ciśnienia [108]

8.2. Stanowisko badawcze z układem pomiarowym

Dla celów badań funkcji doładowania ciśnienia, w oparciu o przyjętą koncepcję, przygotowano specjalne stanowisko, które zostało przedstawione na rysunku 8.2. Charakteryzuje się ono ramą o długości 3500 mm oraz wysokości 820 mm. Badany stojak, wyposażony w prototypowy blok, rozpierany był w ramie stanowiska. Rozpieranie i rabowanie stojaka następowało przez zasilanie cieczą hydrauliczną ze stacji pomp.

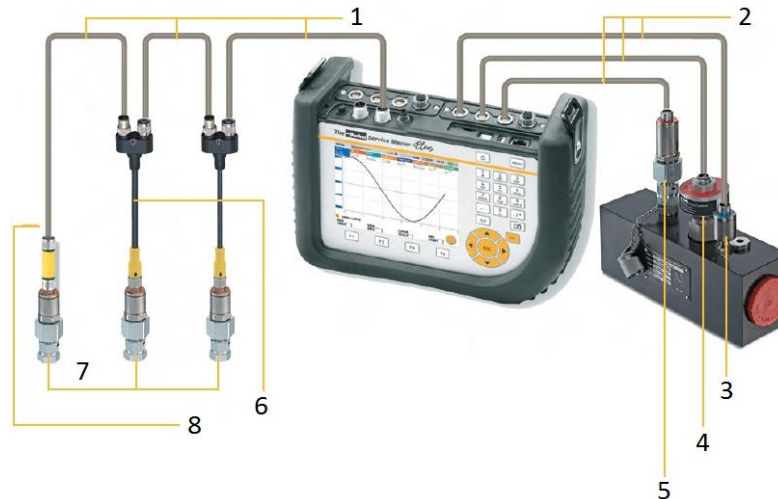


Rys. 8.2. Stanowisko badawcze [104], gdzie: a – projekt stanowiska, b – realizacja projektu stanowiska, c – przygotowanie stanowiska do badań

Do pomiaru i rejestracji wybranych parametrów fizycznych niezbędnych do oceny pracy i przydatności badanego układu wykorzystano przenośne urządzenie pomiarowe (rys. 8.3). Urządzenie to umożliwia pomiar, monitorowanie i analizowanie następujących parametrów: ciśnienia, temperatury, przepływu objętościowego oraz prędkości. Urządzenie składa się z 2 sieci magistralnych CAN, po 8 czujników analogowych każda. Pomiary realizowane są z częstością próbkowania wynoszącą 1 ms. Dodatkowo urządzenie posiada 2 szybkie wejścia do czujników cyfrowych, dla których częstość próbkowania wynosi 0,1 ms. Realizowany pomiar wybranego parametru wraz z jego maksymalną i minimalną wartością wyświetlany jest na ekranie urządzenia w czasie rzeczywistym. Zmierzone wartości zapisywane są w wbudowanej pamięci lub na karcie mikro SD albo urządzeniu USB.

W badaniach, które są przedmiotem niniejszej rozprawy, wykonano pomiary ciśnienia podczas pracy prototypowego bloku. W pomiarach wykorzystano cyfrowe czujniki ciśnienia. Czas próbkowania wynosił 0,1 ms (10 000 pomiarów/sekundę).

Zmierzone wartości zostały zapisane w postaci wykresów zmian ciśnienia w czasie. Podczas prób stanowiskowych rejestrowane były przede wszystkim zmiany ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka oraz dodatkowo ciśnienia doładowania lub zasilania [107, 108].

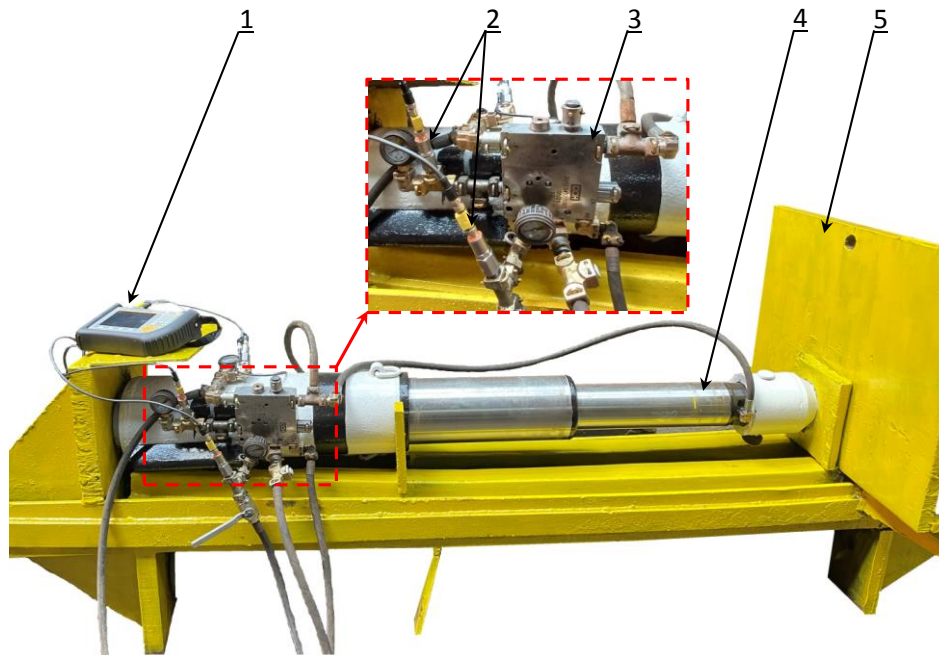


Rys. 8.3. Przenośne urządzenie pomiarowe [108], gdzie: 1 – magistrala CAN; 2 – wejścia analogowe; 3 – analogowy czujnik temperatury; 4 – analogowy przepływomierz; 5 – analogowy czujnik ciśnienia/temperatury; 6 – rozgałęzienie; 7 – czujniki ciśnienia/temperatury; 8 – opornik końcowy

Badania stanowiskowe proponowanego rozwiązania wykonano z wykorzystaniem stojaka hydraulicznego \varnothing 210x160. Jego charakterystyka techniczna została przedstawiona w tabeli 8.1. Przygotowane stanowisko do badań wraz ze stojakiem, wyposażonym w prototypowy blok przedstawiono na rysunku 8.4. Przeprowadzone próby stanowiskowe pozwoliły uzyskać pomiary ciśnienia w układzie podpornościowym stojaka podczas pracy proponowanego prototypu [107, 108].

Tabela 8.1. Charakterystyka techniczna stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej do badań stanowiskowych

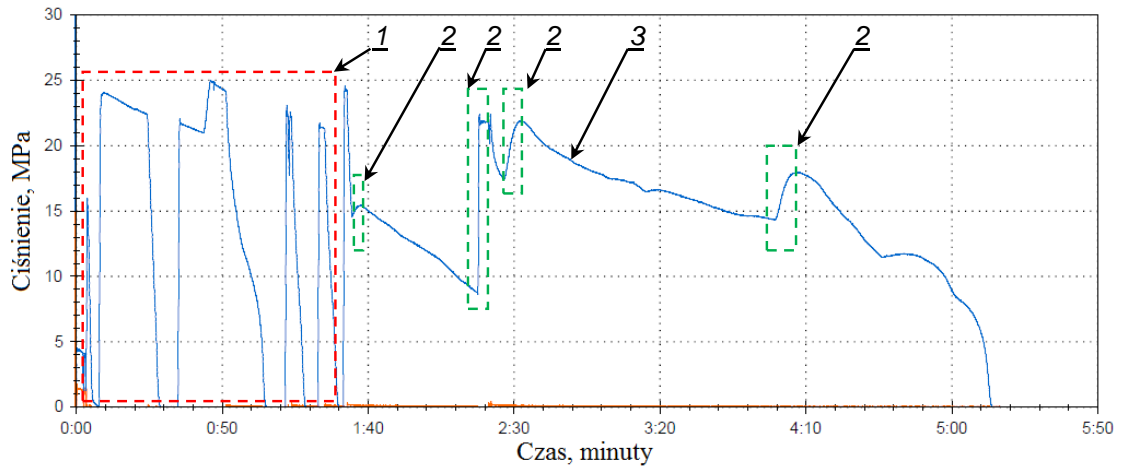
Parametr pracy	Jednostka pracy
Średnica robocza	0,210 m / 0,160 m
Ciśnienie zasilania	$(25 \div 30) \cdot 10^6$ Pa
Ciśnienie nominalne	$40 \cdot 10^6$ Pa
Podporność wstępna	$(0,865 \div 1,039) \cdot 10^6$ N
Podporność nominalna	$1,385 \cdot 10^6$ N
Skok hydrauliczny I stopnia	0,507 m
Skok hydrauliczny II stopnia	0,515 m
Długość minimalna	0,995 m
Długość maksymalna	2,017 m
Współczynnik przeciążenia	2



Rys. 8.4. Stanowisko wraz badanym prototypem [11], gdzie:
1 – urządzenie rejestrujące pomiar, 2 i 3 – czujniki ciśnienia, 3 – prototypowy blok z funkcją doładowania, 4 – stojak hydrauliczny, 5 – rama stanowiska

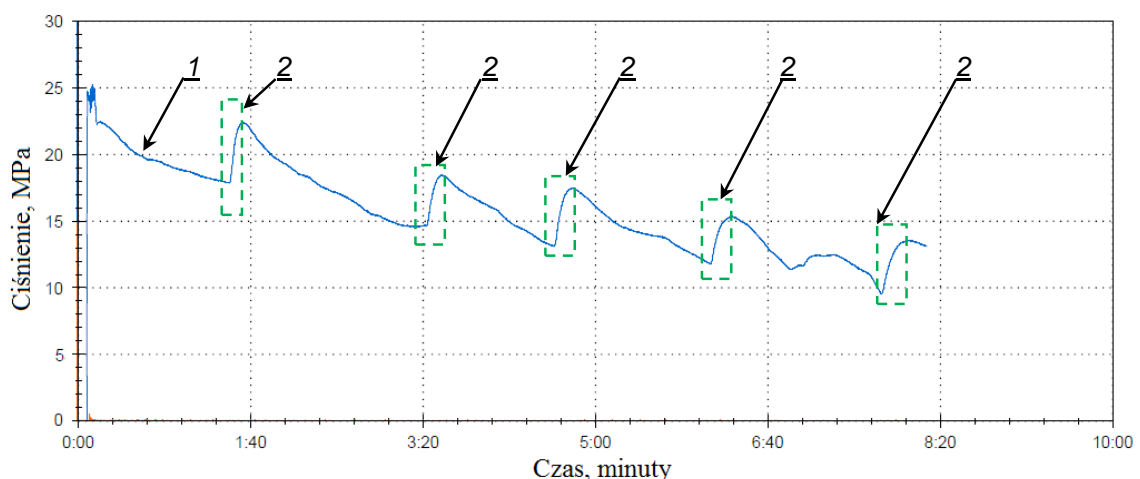
8.3. Analiza uzyskanych wyników badań

Badania stanowiskowe prowadzono etapami, co pozwoliło zweryfikować słuszność przyjętych założeń konstrukcyjnych i niezawodność pracy prototypu. W pierwszym etapie badań sprawdzono poprawność realizacji funkcji doładowania. W tym celu w układzie hydraulicznym stojaka wywołano nieszczelność. W wyniku tej nieszczelności dochodziło do spadków ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka, co przedstawiono na rysunku 8.5. Pierwszy, wstępny pomiar ciśnienia trwał około 5 minut. W pierwszej fazie tego badania wyłączono funkcję doładowania poprzez odpowiednie przesterowanie zaworu odcinającego. Jak można zauważyć, po każdym rozparciu stojaka przez operatora, w wyniku ubytku cieczy spowodowanego nieszczelnością, dochodziło do utraty ciśnienia pod tłokiem stojaka. Po czasie 1.30 minuty przesterowano zawór odcinający, uruchamiając doładowanie. Na wykresie widać cztery doładowania ciśnienia. Mimo doładowania, po 5 minutach podporność stojaka spadła do zera. Spowodowane to było zbyt niskim ciśnieniem zasilania i związanym z tym niedostatecznym natężeniem przepływu cieczy doładowania w stosunku do wielkości wywołanej nieszczelności [107, 108].

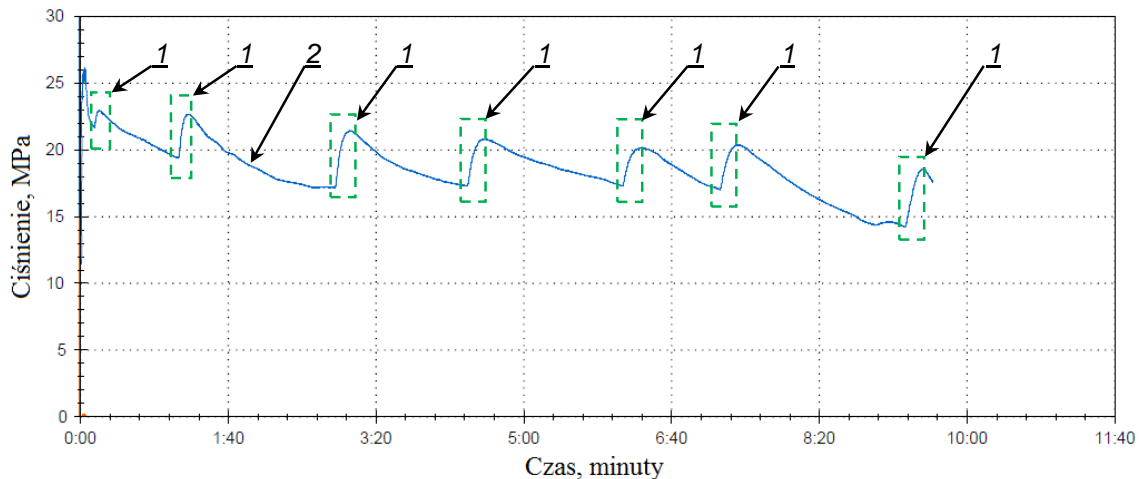


Rys. 8.5. Pomiar ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka uwzględniający nieszczelność [108], gdzie: 1 – praca stojaka przy wyłączonej funkcji doładowania, 2 – doładowanie ciśnienia, 3 – przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka

W kolejnych próbach wydłużono czas trwania badania do około 10 minut, co pozwoliło uzyskać bardziej optymalne pomiary. Wyniki z pomiarów przedstawiono na rysunkach 8.6 oraz 8.7. Na wykresach widać, że w obu analizowanych przypadkach, po rozparciu stojaka przez operatora, dochodziło do spadków ciśnienia w przestrzeni podtłokowej (na skutek zadanej nieszczelności). Po każdym spadku ciśnienia prototypowy blok automatycznie aktywował doładowanie, nie dopuszczając do utraty podporności. Na rysunku 8.7 można zauważyć, że prototypowy blok zapewnił utrzymanie ciśnienia na stałym poziomie około 20 MPa. Prawdopodobnie udało się wówczas uzyskać bardziej stabilną pracę pompy. W poprzedniej próbie (rys. 8.6) ciśnienie zasilania musiało być zbyt niskie, by utrzymać podporność stojaka na stałym poziomie. Wynika z tego, że dla optymalnej pracy badanego prototypu należałoby zapewnić stałe ciśnienie zasilania, na poziomie minimum 25 MPa [107, 108].

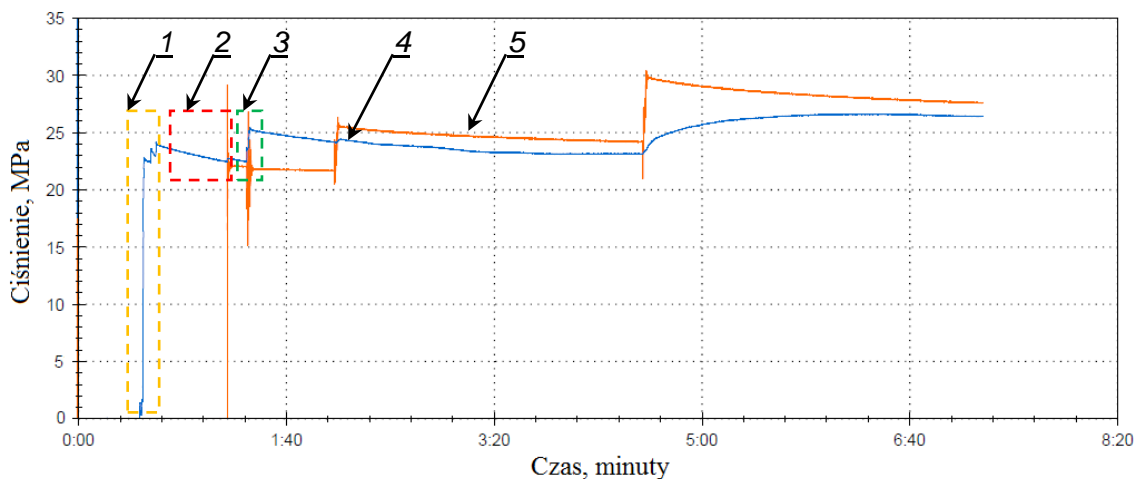


Rys. 8.6. Pomiar ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka dla weryfikacji poprawności doładowania [108], gdzie: 1 – przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka, 2 – doładowanie ciśnienia



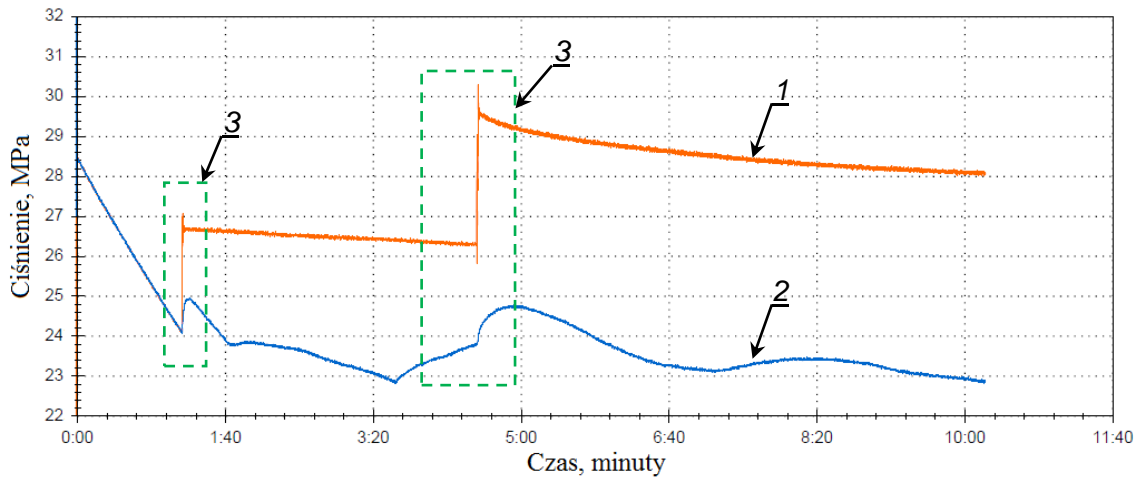
Rys. 8.7. Pomiar ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka dla weryfikacji poprawności doładowania [108], gdzie: 1 – doładowanie ciśnienia, 2 – przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka

W kolejnych próbach zwiększono ciśnienie na stacji pomp, tak by w magistrali zasilającej zapewnić ciśnienie o wartości minimum 25 MPa. Ponadto w badanym układzie podłączono drugi czujnik, dzięki czemu monitorowano również pracę prototypowego bloku. Na rysunku 8.8 zobrazowano pomiar, który obejmował rozparcie stojaka przez operatora oraz utratę podporności, spowodowaną wywołaną nieszczelnością. Automatyczne doładowanie rozpoczęło się po spadku ciśnienia o wartość około 5 MPa. Dzięki funkcji automatycznego doładowania ubytki cieczy zostały uzupełnione, a tym samym zapewniono utrzymanie ciśnienia pod tłokiem stojaka na poziomie około 25 MPa [107, 108].

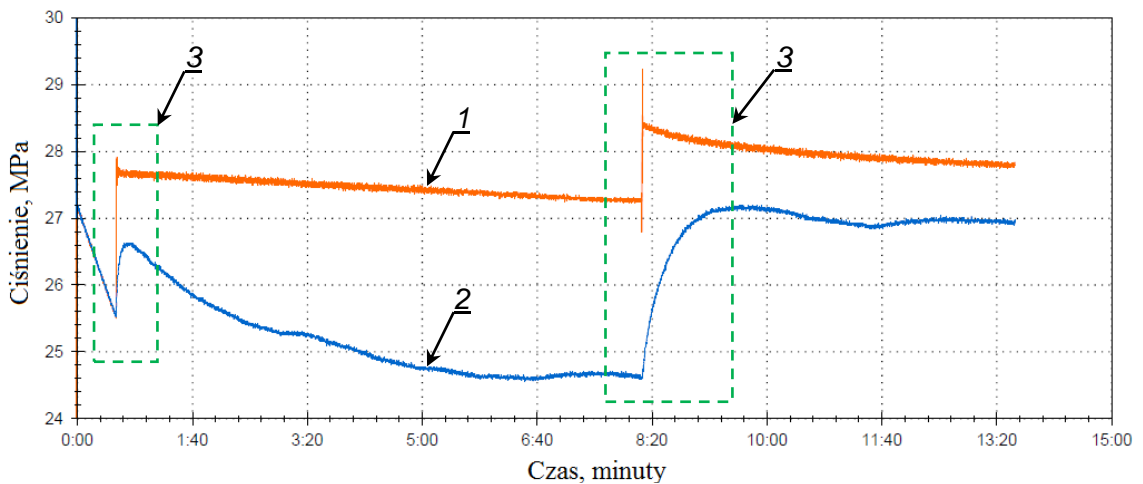


Rys. 8.8. Badanie pracy prototypu z funkcją doładowania [108], gdzie: 1 – faza rozparcia stojaka, 2 – obszar utraty podporności, 3 – automatyczne rozpoczęcie doładowania, 4 – ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka, 5 – ciśnienie doładowania

Na rysunkach 8.9 i 8.10 przedstawiono uzyskane pomiary dla pracy badanego prototypu bloku, już po rozparciu stojaka. W obu przypadkach, kiedy dochodziło do ubytku cieczy i utraty podporności, prototypowy blok automatycznie aktywował doładowanie, uzupełniając straty ciśnienia pod tłokiem stojaka [107, 108].



Rys. 8.9. Badanie pracy prototypowego bloku z funkcją doładowania [108], gdzie:
1 – ciśnienie doładowania, 2 – ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka,
3 – automatyczne doładowanie ciśnienia

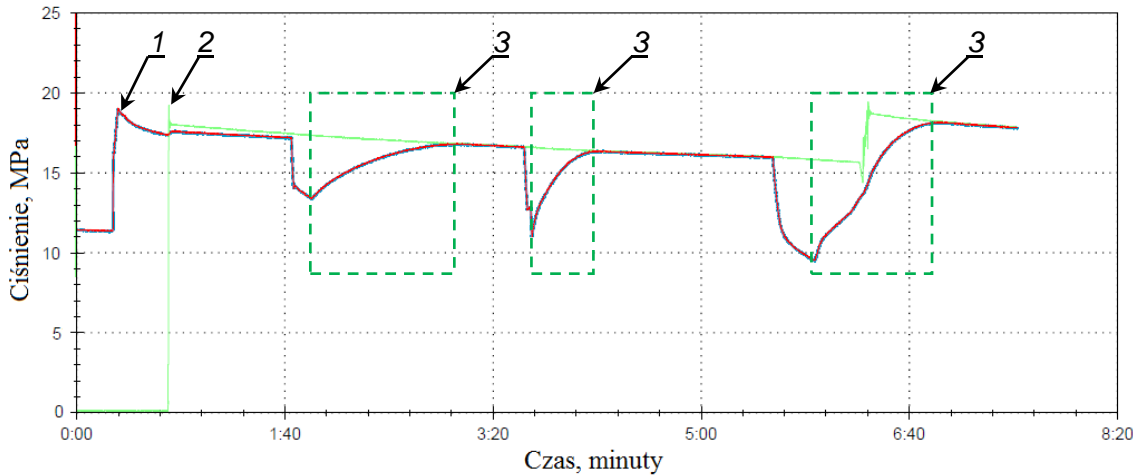


Rys. 8.10. Badanie prototypowego bloku z funkcją doładowania [108], gdzie:
1 – ciśnienie doładowania, 2 – ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka,
3 – automatyczne doładowanie ciśnienia

Na podstawie przeprowadzonych wstępnych pomiarów stwierdzono, że czynnikiem który ma istotny wpływ na realizację doładowania oraz wartość ciśnienia osiąganą pod tłokiem stojaka jest chwilowa wartość ciśnienia w magistrali zasilającej. Zatem w drugim etapie badań, poza oceną poprawności realizacji doładowania, skupiono się również na kontroli ciśnienia w magistrali zasilającej. Pozwoliło to zweryfikować słuszność przyjętego założenia, że opracowany prototyp ma zapewnić doładowanie ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka do maksymalnej wartości ciśnienia zasilania oraz utrzymanie tej wartości. W tym celu zakres badań objął pomiary ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka oraz w magistrali zasilającej. Uzyskane wyniki badań przedstawiono na rysunku 8.11.

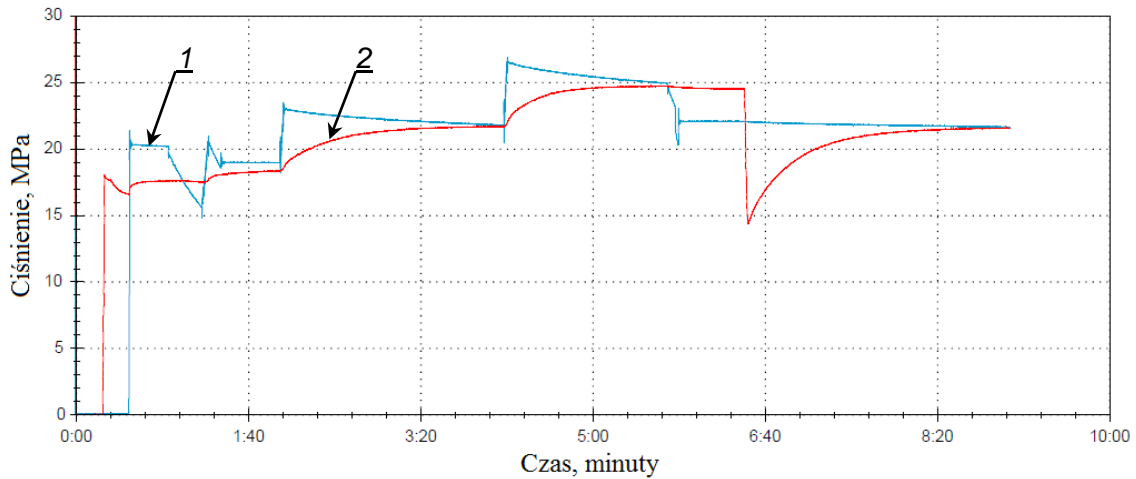
Przed przystąpieniem do pierwszej próby stojak był już rozparty przez operatora do wartości ciśnienia pod tłokiem stojaka równej około 18 MPa. Po 40 sekundach rozpoczął się pomiar ciśnienia w magistrali zasilającej. Następnie, poprzez odpowiednie przesterowanie rozdzielacza, trzykrotnie wywołano ubytek cieczy, obniżając ciśnienie

pod tłokiem stojaka. Po każdym spadku ciśnienia, prototypowy blok automatycznie aktywował doładowanie, uzupełniając ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka do maksymalnej chwilowej wartości ciśnienia w magistrali zasilającej. Przy trzecim doładowaniu można zauważyć nagły, skokowy wzrost ciśnienia w magistrali. Wówczas doładowanie zostało ponownie aktywowane – do momentu aż wartość ciśnienia pod tłokiem stojaka zrównała się z wartością ciśnienia zasilania.



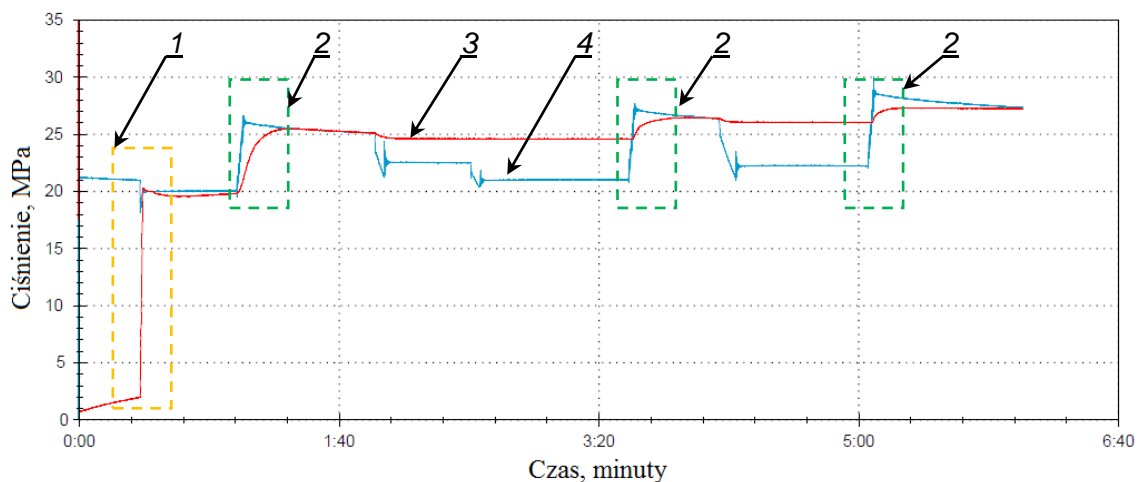
Rys. 8.11. Wyniki badań stanowiskowych pracy prototypowego bloku, gdzie:
 1 - ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka, 2 - ciśnienie w magistrali zasilającej,
 3 – doładowanie ciśnienia

Na rysunku 8.12 przedstawiono wyniki z kolejnej próby, gdzie stanem wejściowym również był rozparty stojak, a wartość ciśnienia w jego przestrzeni podtłokowej wynosiła 18 MPa. Po 30 sekundach rozpoczął się pomiar ciśnienia zasilania. Ciśnienie w magistrali początkowo utrzymywało się na poziomie około 20 MPa. Można zauważyć, że w tym czasie prototyp bloku powoli realizował doładowanie, zwiększając wartość ciśnienia pod tłokiem stojaka. Następnie widać dwa skokowe wzrosty ciśnienia w magistrali. Skutkowały one włączeniem doładowania, a tym samym wzrostem ciśnienia pod tłokiem stojaka. W czasie 6.30 minut wywołano ubytek cieczy pod tłokiem stojaka, sterując odpowiednio rozdzielaczem. Prototypowy blok ponownie zareagował prawidłowo, uzupełniając ciśnienie w stojaku do maksymalnej wartości ciśnienia zasilania. Należy również zwrócić uwagę, że zarejestrowane, chwilowe spadki ciśnienia w magistrali nie wpłynęły na utratę podporności w stojaku [11].



Rys. 8.12. Wyniki badań stanowiskowych pracy prototypu, gdzie:
1 - ciśnienie w magistrali zasilającej, 2 - ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka

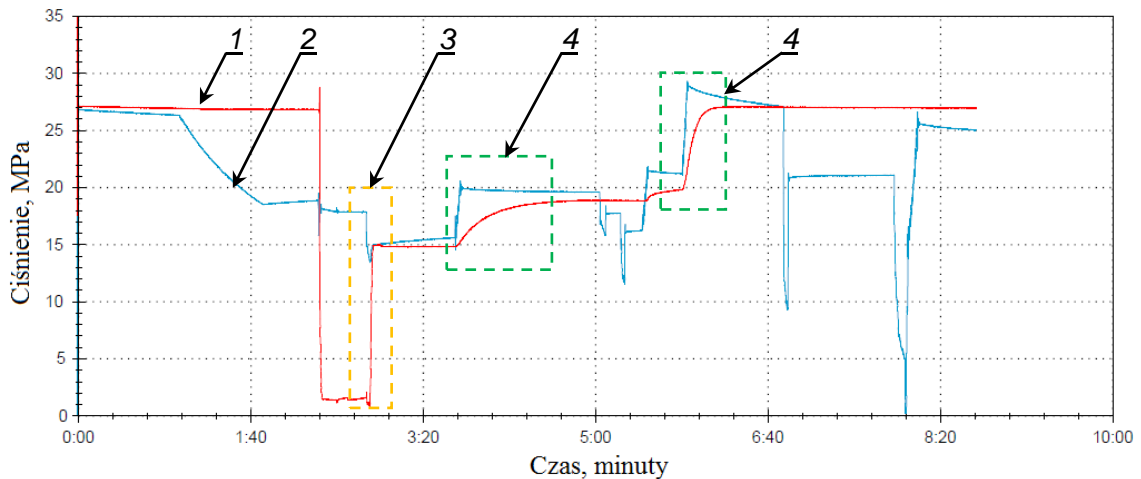
Trzeci etap badań ukierunkowany był na potwierdzenie przyjętej tezy, że prototypowy blok z funkcją automatycznego doładowania ma zapewnić rozparcie stojaka do maksymalnej wartości ciśnienia w magistrali zasilającej. Pomiar z pierwszej próby zobrazowano na rysunku 8.13. Podczas badań stojak został rozparty przez operatora do wartości ciśnienia 20 MPa (1), co było równe chwilowej wartości ciśnienia w magistrali zasilającej. Na przedstawionym wykresie widać, że po każdym wzroście ciśnienia w magistrali, prototypowy blok automatycznie realizował doładowanie (2). W wyniku doładowania pod tłokiem stojaka osiągnięto wartość ciśnienia 27 MPa. Można również zauważyć, że przy chwilowych spadkach ciśnienia w magistrali (4), ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka (3) było utrzymywane na stałym poziomie.



Rys. 8.13. Wyniki badań stanowiskowych pracy prototypowego bloku dla weryfikacji rozparcia stojaka, gdzie: 1 – rozparcie stojaka przez operatora, 2 - doładowanie ciśnienia, 3 – ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka, 4 – ciśnienie w magistrali zasilającej

Na rysunku 8.14 przedstawiono wyniki z drugiej próby. W chwili rozpoczęcia pomiaru ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka (1) wynosiło 27 MPa. Po czasie

1.00 minuty ciśnienie w magistrali (2) zaczęło spadać. Pomimo tego wartość ciśnienia pod tłokiem stojaka utrzymywała się na stałym poziomie 27 MPa. W czasie 2.20 minuty stojak został zrabowany i ciśnienie spadło do wartości bliskiej zeru. Następnie w czasie 2.50 minuty operator ponownie rozparł stojak (3), do uzyskania ciśnienia o wartości 15 MPa, co było równe chwilowej wartości ciśnienia w magistrali. W czasie 3.40 minuty ciśnienie w magistrali wzrosło do wartości 20 MPa. Wówczas układ automatycznego doładowania uzupełnił ciśnienie pod tłokiem stojaka do wartości około 19 MPa. Kolejne wzrosty ciśnienia w magistrali nastąpiły w czasie 5.30 minuty (do 22 MPa) i 5.50 minuty (do 29 MPa). Umożliwiło to realizację doładowania, dzięki czemu ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka wzrosło do wymaganej wartości 27 MPa. Wartość ta została utrzymana, pomimo kolejnych spadków ciśnienia w magistrali zasilającej [7]. Po analizie uzyskanych wyników badań stanowiskowych możliwe było rozpoczęcie kolejnego etapu – badań w warunkach rzeczywistych.



Rys. 8.14. Wyniki badań stanowiskowych pracy prototypowego bloku dla weryfikacji rozparcia stojaka [7], gdzie: 1 – ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka, 2 – ciśnienie w magistrali zasilającej, 3 – rozparcie stojaka przez operatora, 4 – doładowanie ciśnienia

8.4. Wnioski

Po opracowaniu i przygotowaniu prototypowego bloku dla proponowanej funkcji doładowania ciśnienia przeprowadzone zostały badania stanowiskowe. Celem tych badań było określenie poprawności przyjętych założeń konstrukcyjnych oraz potwierdzenie słuszności postawionej tezy. Ponadto badania miały zweryfikować poprawność pracy prototypu bloku przed rozpoczęciem badań in-situ. W tym zakresie przygotowano stanowisko badawcze wraz z układem pomiarowym. Stojak do badań pozyskano z sekcji obudowy zmechanizowanej, wyprodukowanej przez Zakład Remontowo-Produkcyjny i stosowanej w kopalniach Polskiej Grupy Górniczej S.A.

Przeprowadzone badania stanowiskowe pozwoliły sformułować następujące wnioski:

- 1) Dla osiągnięcia optymalnych parametrów pracy proponowanego prototypowego bloku, w magistrali zasilającej należy zapewnić ciśnienie o wartości minimum 25 MPa.

- 2) Po każdym ubytku cieczy i spadku ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka, badany prototypowy blok aktywował doładowanie, uzupełniając ciśnienie pod tłokiem stojaka do maksymalnej wartości ciśnienia zasilania.
- 3) Chwilowe spadki ciśnienia w magistrali zasilającej nie wpływały na wartość ciśnienia pod tłokiem stojaka.
- 4) Zastosowanie proponowanego prototypu w układzie hydraulicznym stojaka zapewniło jego rozparcie do maksymalnej wartości ciśnienia zasilania, nawet po przerwaniu operacji rozpierania przez operatora.
- 5) Podczas badań stanowiskowych nie stwierdzono żadnych problemów w pracy prototypu bloku zaworowego i realizacji doładowania.
- 6) Proponowany prototyp bloku z funkcją doładowania w badaniach in-situ powinien osiągnąć wymagane parametry pracy.

9. Badania proponowanego prototypu z funkcją doładowania w warunkach in-situ

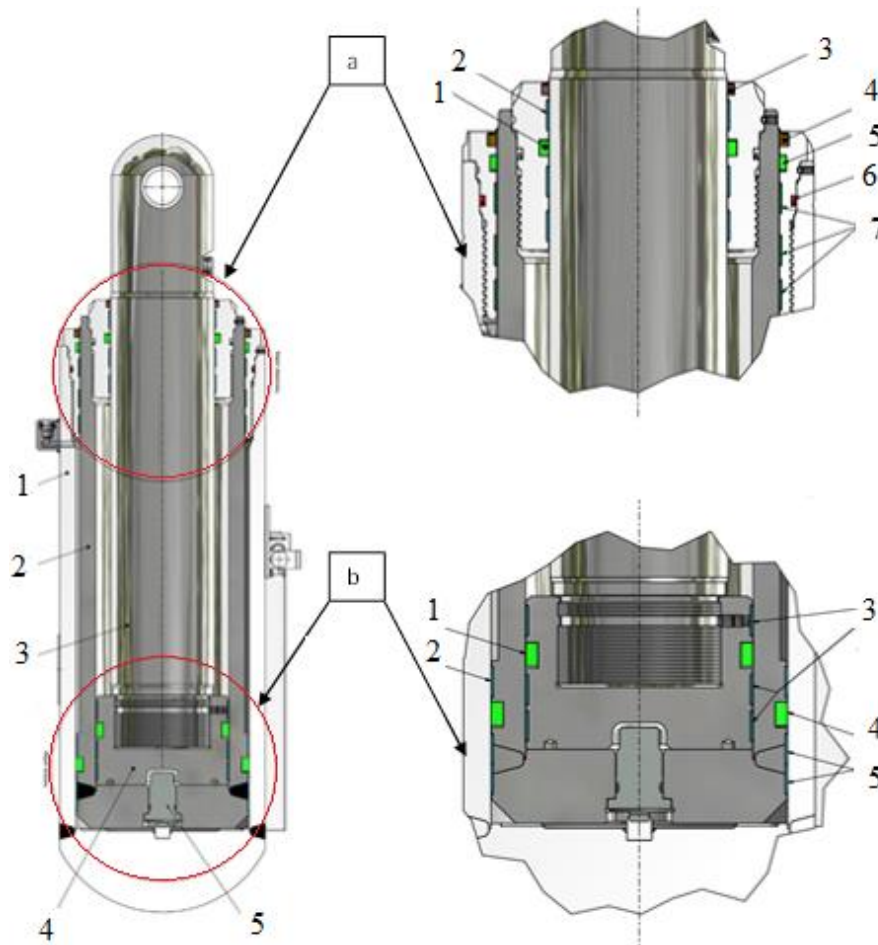
9.1. Metoda i zakres badań

Po zakończeniu badań stanowiskowych, kolejnym etapem były badania in-situ, które miały zweryfikować przydatność prototypu w warunkach rzeczywistych. Badania przeprowadzono w ścianie wydobywczej. Do celów badań wybrano stojak, w którym rozwinęła się nieszczelność wewnętrzna. Dzięki temu możliwe było potwierdzenie przyjętej tezy, która zakładała, że prototyp powinien minimalizować skutki nieszczelności wewnętrznych. Parametry techniczne stojaka, na którym prowadzono badania, zestawiono w tabeli 9.1 [106].

Tabela 9.1. Charakterystyka techniczna stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej

Zakres pracy	Jednostka pracy
Średnica robocza	0,300 m / 0,230 m
Ciśnienie zasilania	$(25\div 32) \cdot 10^6$ Pa
Ciśnienie robocze	$43 \cdot 10^6$ Pa
Podporność wstępna	$(1,767\div 2,262) \cdot 10^6$ N
Podporność robocza	$3,039 \cdot 10^6$ N
Skok hydrauliczny I stopnia	1,212 m
Skok hydrauliczny II stopnia	1,129 m
Długość minimalna	1,897 m
Długość maksymalna	4,238 m

Nieszczelności wewnętrzne, obok nieszczelności zewnętrznych, są główną przyczyną ubytków cieczy z przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego. Straty te powodują spadki ciśnienia pod tłokiem stojaka, a tym samym utratę wymaganej podporności sekcji obudowy zmechanizowanej, co obniża istotnie parametry jej pracy. Nieszczelność wewnętrzna powstaje na skutek uszkodzenia uszczelnień zabezpieczających konstrukcję, jest niewidoczna do zdiagnozowania. Natomiast nieszczelność zewnętrzna spowodowana jest uszkodzeniem uszczelnień zabezpieczających pracę siłowników przed wydostaniem się ciśnienia cieczy [112]. Na rysunku 9.1 zobrazowano zastosowanie uszczelnień w stojaku hydraulicznym obudowy zmechanizowanej.



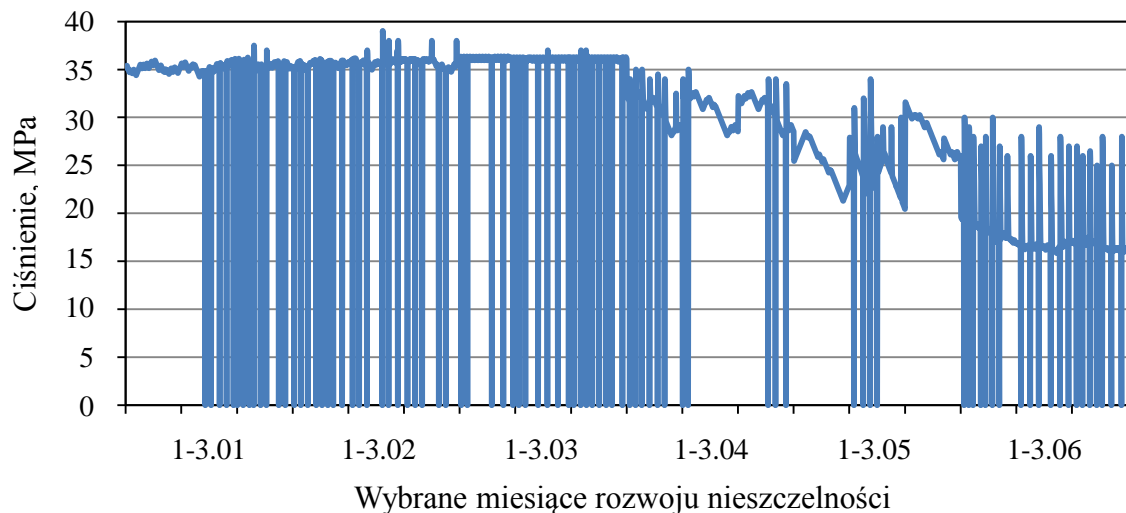
Rys. 9.1. Schemat ideowy wykorzystania uszczelnień dla zabezpieczenia stojaka hydraulicznego przed nieszczelnością zewnętrzną i wewnętrzną [108], gdzie:

1 – cylinder, 2 – rdzennik I, 3 – rdzennik II, 4 – tłok, 5 – zawór denny;

a) budowa węzła dławicowego, gdzie: 1 – pierścień uszczelniający wewnętrzny, 2 – pierścienie prowadzące wewnętrzne, 3 – pierścień zgarniający wewnętrzny, 4 – pierścień zgarniający zewnętrzny, 5 – pierścień uszczelniający zewnętrzny, 6 – uszczelnienie statyczne, 7 – pierścienie prowadzące zewnętrzne;

b) węzeł tłokowy, gdzie: 1 – pierścień uszczelniający wewnętrzny, 2 – pierścień prowadzący zewnętrzny, 3 – pierścienie prowadzące wewnętrzne, 4 – pierścień uszczelniający zewnętrzny, 5 – pierścienie prowadzące zewnętrzne

Stojak z nieszczelnością wewnętrzną został wybrany na podstawie przeprowadzonych obserwacji, w oparciu o pomiar z monitoringu ciśnienia. Monitoring obejmował 160 sekcji obudowy zmechanizowanej w ścianie. Czujniki do pomiaru ciśnienia zlokalizowane były na stojakach obudowy oraz w wybranych siłownikach podpory stropnicy. Analizą objęto okres eksploatacji około 6 miesięcy. Na rysunku 9.2 przedstawiono rozwój nieszczelności dla wybranego stojaka. Wykres przedstawia wyniki pomiaru ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka w pierwszych trzech dniach miesiąca, w okresie od stycznia do czerwca 2022r. Jak można zauważyć, w początkowej fazie eksploatacji ściany (od stycznia do marca), stojak wykazywał sprawność techniczną. W okresie tym stojak zapewniał wymaganą podporność. Natomiast dalszy okres eksploatacji wykazuje obniżenie jego sprawności technicznej, spowodowane rozwojem powstałej nieszczelności [106].

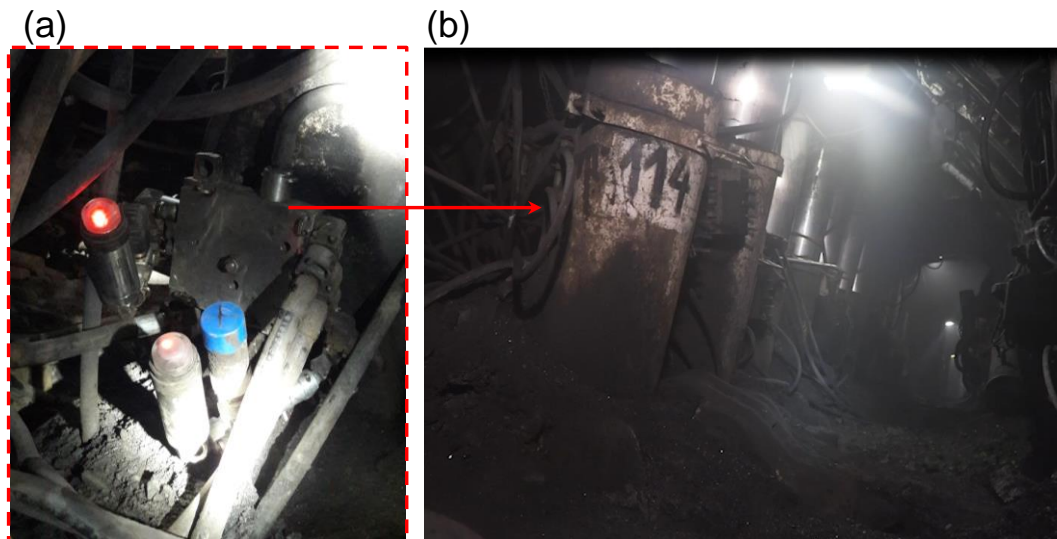


Rys. 9.2. Analiza rozwoju nieszczelności wewnętrznej dla wybranego stojaka obudowy zmechanizowanej [108]

Kolejnym krokiem było przygotowanie układu pomiarowego. Dla celów badań zmodyfikowano bezprzewodowy przetwornik ciśnienia DROPS-01 firmy DOH. Czujnik ten zasilany jest bateryjnie. Jego górny zakres pomiarowy wynosi 60 MPa. Jako element pomiarowy wykorzystywany jest rezystancyjny czujnik tensometryczny. Czujniki DROPS-01 wyposażone są w trójkolorową diodę LED, która umożliwia sygnalizację świetlną przedziałów ciśnienia. Przedziały te są wcześniej deklarowane przez użytkownika. Modyfikacja czujnika polegała na zmianie wartości próbkowania. Dla uzyskania bardziej dokładnych wyników badań, częstość próbkowania zwiększono do 0,01 s (100 pomiarów na sekundę) [106].

9.2. Charakterystyka ściany wydobywczej

Badania in-situ prototypowego bloku z funkcją doładowania przeprowadzono w ścianie wydobywczej (rys. 9.3) o długości 166 – 245 metrów i wybiegu do 970 metrów. Wysokość ściany mieściła się w przedziale od 2,5 do 3,3 metra. Nachylenie podłużne ściany wynosiło do 12°, natomiast poprzeczne do 7°. Eksploatacja ściany prowadzona była systemem ścianowym podłużnym na zawał, na głębokości 780-850 metrów. W stropie wybieranego pokładu występował łupek ilasty z warstwami węgla i łupku z węglem. Powyżej zalegał łupek ilasty lokalnie przechodzący w łupek piaszczysty. Z uwagi na występowanie słabo zwięzłych skał bezpośredniego stropu pokładu istniało zagrożenie opadu skał stropowych. W bezpośrednim spągu występował łupek ilasty. Poniżej zalegał pokład węgla o miąższości około 1,2-1,5 metra. W spągu tego pokładu zalegał łupek ilasty lokalnie przechodzący w łupek piaszczysty. W ścianie występowały następujące zagrożenia: III kategoria zagrożenia metanowego, I stopień zagrożenia wodnego, klasa B zagrożenia pyłowego. Węgiel pokładu zakwalifikowano do III-IV grupy samozapalności. Górotwór i skały w rejonie ściany nie były skłonne do tąpnięć. Ściana wyposażona była w obudowę zmechanizowaną, której zakres roboczy pracy wynosił od 2,4 do 4,4 metra [106].

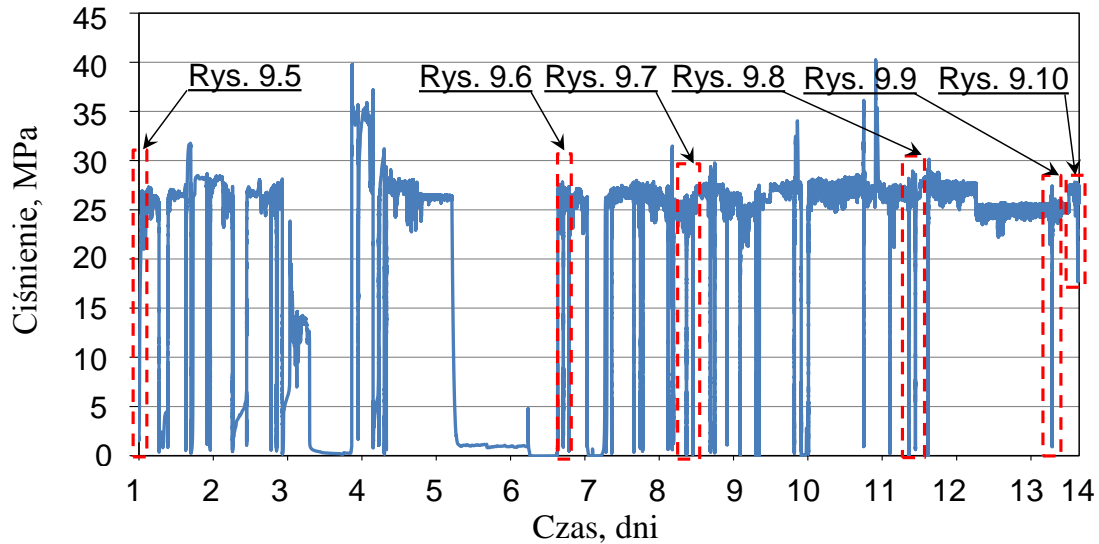


Rys. 9.3. Ściana wydobywcza, w której prowadzono badania [106], gdzie:
(a) układ pomiarowy wraz z prototypem, (b) widok sekcji na której prowadzono badania

9.3. Analiza uzyskanych wyników badań

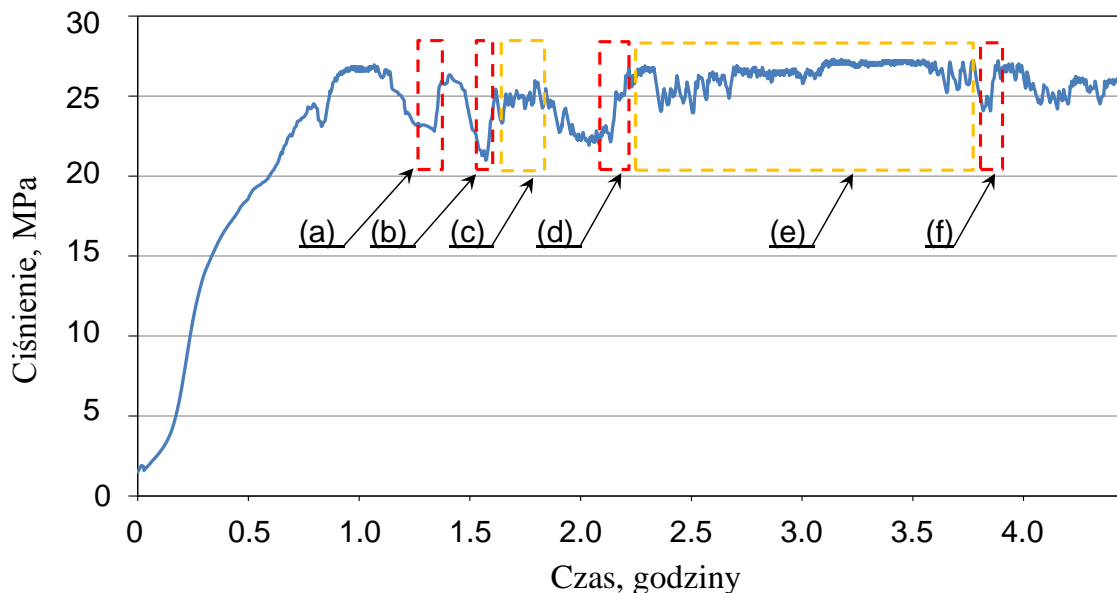
Przeprowadzone próby stanowiskowe umożliwiły ocenę poprawności pracy prototypu bloku. Jednak dopiero badania w warunkach rzeczywistych pozwalają zweryfikować pracę całego układu hydraulicznego z zastosowanym prototypem, a tym samym jego przydatność. W badaniach in-situ na układ hydrauliczny stojaka działają dodatkowe obciążenia zewnętrzne, które byłyby trudne do zasymulowania na stanowisku badawczym. Można zaliczyć do nich między innymi obciążenia ze strony górotworu, obciążenia wywołane wpływem sekcji sąsiednich oraz wpływem drugiego stojaka badanej sekcji, obciążenia pochodzące od przejeżdżającego kombajnu oraz inne obciążenia wywołane różnymi zjawiskami i procesami zachodzącymi w ścianie wydobywczej. Należy wziąć pod uwagę, że wszystkie te czynniki, nieraz trudne do określenia, będą miały wpływ na pracę prototypowego bloku oraz prowadzone w ścianie badania [106].

Na rysunku 9.4 zobrazowano pomiary uzyskane w czasie pierwszych 14 dni badawczych. W analizowanym okresie ciśnienie pod tłokiem stojaka hydraulicznego utrzymywało się średnio na poziomie około 27 MPa. Zarejestrowane wyższe wartości ciśnienia prawdopodobnie wynikały z nacisku warstw skalnych na sekcję obudowy zmechanizowanej. Z kolei chwilowe spadki ciśnienia mogły być spowodowane różnymi problemami w ścianie wydobywczej oraz w pracy samej sekcji. Aby w pełni zobrazować wykonane pomiary dla pracy prototypowego układu hydraulicznego, rysunek 9.4 został podzielony na fragmenty, które poddano szczegółowej analizie. Podczas tych rozważań pominięto warunki górniczo-geologiczne oraz nacisk warstw skał stropowych. Skupiono się wyłącznie na analizie funkcji doładowania ciśnienia i pracy prototypowego bloku. Wybrane obszary pracy prototypu przedstawiono na kolejnych rysunkach [106].



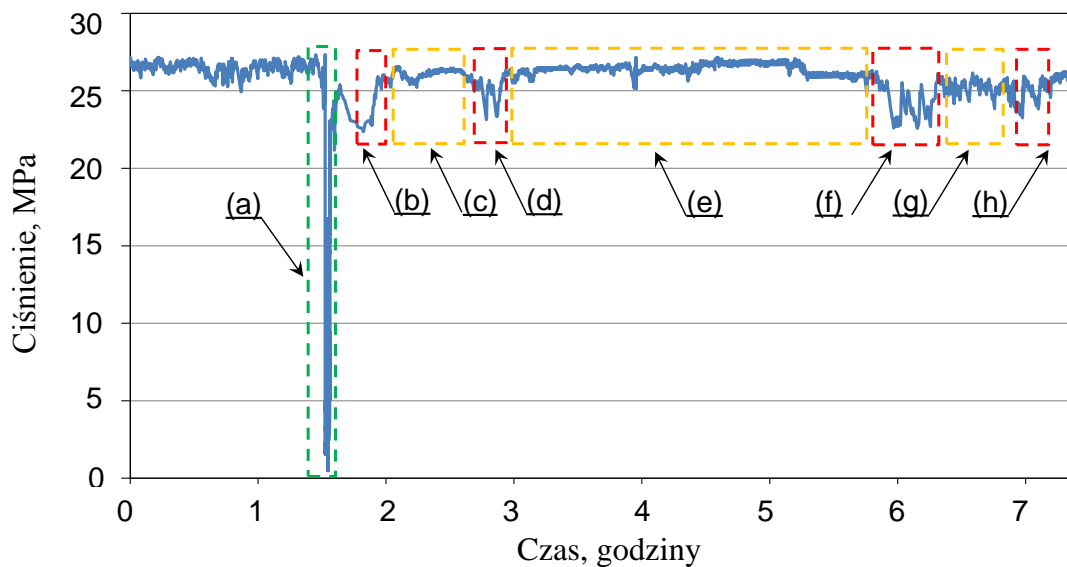
Rys. 9.4. Charakterystyka pracy stojaka hydraulicznego z nieszczelnością wewnętrzną w warunkach rzeczywistych, wyposażonego w prototyp bloku z funkcją doładowania ciśnienia, zarejestrowana w okresie 14 dni badawczych [106]

Na rysunku 9.5 przedstawiono analizę pracy prototypu, gdzie zarejestrowano cztery doładowania ciśnienia. Pierwsze doładowanie (a) zostało zrealizowane w czasie 1,9 minuty. Drugie doładowanie (b) miało miejsce po czasie 11,7 minuty i trwało 2,4 minuty. Czas zachowania podporności przez sekcję obudowy zmechanizowanej (c) do kolejnego doładowania wynosił 15,9 minuty. Trzecie doładowanie (d) trwało 5,0 minut. Czas utrzymania podporności między trzecim a czwartym doładowaniem (e) wyniósł 95 minut, po czym zarejestrowano czwarte doładowanie (f), które trwało 1,2 minuty [106].



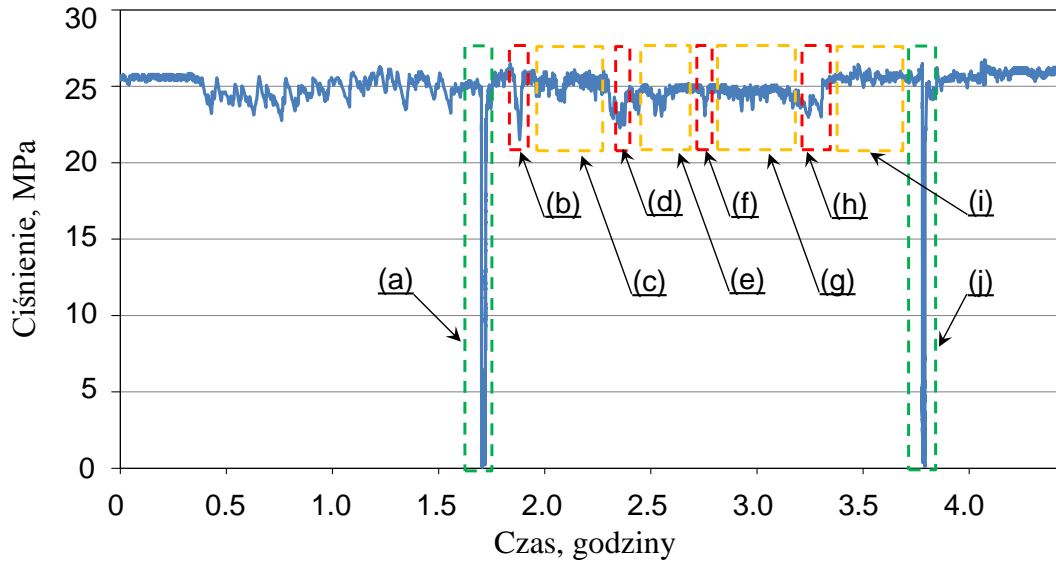
Rys. 9.5. Przebieg ciśnienia w przestrzeni podłokowej stojaka dla oceny funkcji doładowania [106], gdzie: (a), (b), (d), (f) – doładowanie ciśnienia, (c), (e) – obszar utrzymania podporności

Na rysunku 9.6 przedstawiono fragment pomiarów, który obejmuje operację dostawiania sekcji obudowy zmechanizowanej. Przed tą czynnością, ciśnienie pod tłokiem stojaka utrzymywało się na stałym poziomie około 27 MPa. Czas przestawiania sekcji obudowy zmechanizowanej w nowe położenie (a) wyniósł 6,9 minuty. Niedługo po dostawieniu sekcji zarejestrowano pierwsze doładowanie (b), które zostało zrealizowane w czasie 40 sekund. Po doładowaniu sekcja utrzymywała podporność (c) przez 48 minut. Czas drugiego doładowania (d) wyniósł 2,6 minuty. Przez następne 181 minut ciśnienie pod tłokiem stojaka utrzymywało się na wymaganym poziomie (e). Po tym czasie nastąpiły kolejne doładowania (f), co trwało 2,4 minuty. Uzyskaną podporność udało się utrzymać przez 40,6 minut (g). Po kolejnym spadku ciśnienia prototypowy blok zrealizował doładowanie (h) w czasie 1,9 minuty [106].



Rys. 9.6. Przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka dla oceny funkcji doładowania ciśnienia [106], gdzie: (a) – operacja dostawiania sekcji, (b), (d), (f), (h) – doładowanie ciśnienia, (c), (e), (g) – obszar utrzymania podporności

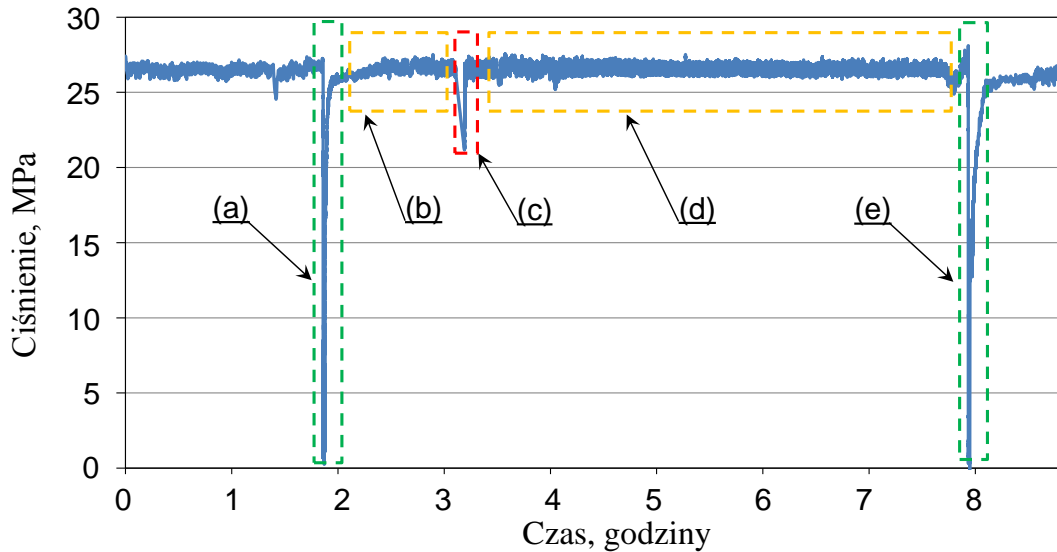
Na rysunku 9.7 zobrazowano kolejny wykres z uzyskanych pomiarów dla funkcji doładowania ciśnienia. Czas pierwszego dostawiania sekcji (a) wyniósł 2,2 minuty. Niedługo po tym zarejestrowano pierwsze doładowanie ciśnienia (b), które trwało 54 sekundy. Po doładowaniu przez 24,4 minuty stojak utrzymywał podporność (c). Kolejny spadek ciśnienia pod tłokiem stojaka ponownie aktywował doładowanie (d), które odbyło się w czasie 1,4 minuty. Pomiedzy drugim a trzecim doładowaniem stojak utrzymał podporność (e) przez 20,7 minuty. Trzecie doładowanie ciśnienia (f) trwało 50 sekund, po czym podporność została utrzymana (g) przez 23 minuty. Czwarte doładowanie (h) zostało zrealizowane w czasie 22,5 sekundy, po którym stojak utrzymywał podporność (i) przez 28,2 minuty. Po tym czasie ponownie przestawiono sekcję w nowe położenia (j), co trwało 1,2 minuty [106].



Rys. 9.7. Przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka dla oceny funkcji doładowania ciśnienia [106], gdzie: (a), (j) – dostawianie sekcji, (b), (d), (f), (h) – doładowanie ciśnienia, (c), (e), (g), (i) – obszar utrzymania podporności

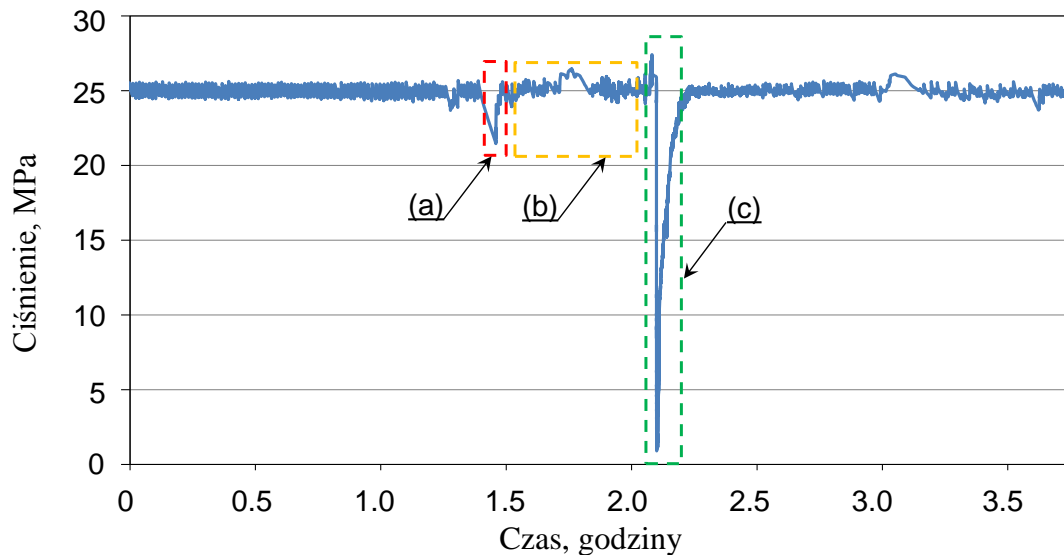
Chwilowe spadki ciśnienia, które rejestrowano w pierwszych dniach pomiarów, prawdopodobnie spowodowane były lokalnymi warunkami współpracy obudowy zmechanizowanej z górotworem. W kolejnych dniach prowadzenia pomiarów widać wyraźnie, że ciśnienie pod tłokiem badanego stojaka ustabilizowało się i utrzymywało się na stałym, wymaganym poziomie. Chwilowe spadki ciśnienia występowały sporadycznie. Wybrane przebiegi zmian ciśnienia, zarejestrowane w kolejnych dniach pomiarowych, przedstawiono na rysunkach od 9.8 do 9.10 [106].

Na rysunku 9.8 widać, że przez 9 godzin pomiarów, ciśnienie pod tłokiem stojaka utrzymywało się na stałym poziomie około 27 MPa. W okresie tym zarejestrowano dwie operacje dostawiania sekcji, gdzie czas pierwszego przestawiania (a) wyniósł 3,2 minuty, natomiast drugie dostawianie (e) wykonano w czasie 8,6 minuty. Pomiędzy tymi operacjami zarejestrowano tylko jeden spadek ciśnienia w przestrzeni podtłokowej badanego stojaka. Miało to miejsce po czasie 72,9 minuty (b). Spadek ciśnienia aktywował doładowanie (c), które zostało zrealizowane w czasie 13 sekund. Po doładowaniu stojak utrzymywał podporność (d) przez 284,4 minuty, do kolejnej operacji dostawiania (e) [106].



Rys. 9.8. Przebieg ciśnienia w przestrzeni podłokowej stojaka dla oceny funkcji doładowania ciśnienia [106], gdzie: (a), (e) – dostawianie sekcji, (c) – doładowanie ciśnienia, (b), (d) – obszar utrzymania podporności

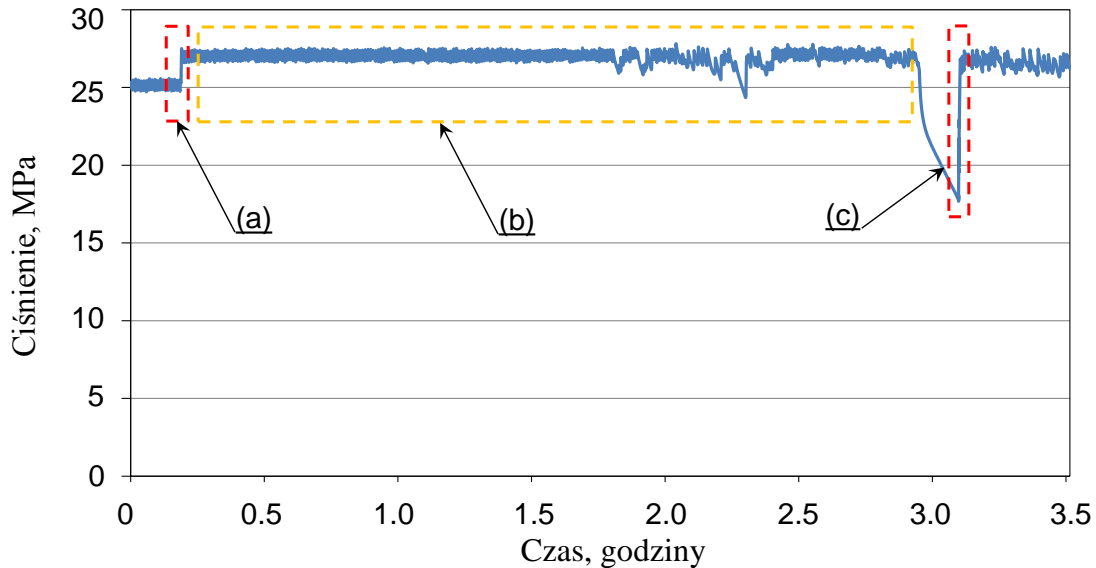
Na rysunku 9.9 można zauważyć utrzymanie stałego ciśnienia pod łokiem stojaka o wartości około 25 MPa. Zarejestrowano tylko jeden spadek ciśnienia, po którym nastąpiło doładowanie (a), co trwało 1,2 minuty. Po doładowaniu stojak utrzymywał podporność (b) przez 37,3 minuty, po czym sekcja obudowy zmechanizowanej została przestawiona w nowe położenie (c). Operacja dostawiania (c) trwała 6,9 minuty.



Rys. 9.9. Przebieg ciśnienia w przestrzeni podłokowej stojaka dla oceny funkcji doładowania ciśnienia [106], gdzie: (a) – doładowanie ciśnienia, (b) – obszar utrzymania podporności, (c) – dostawianie sekcji

Na kolejnym wykresie (rys. 9.10) zarejestrowano dwa doładowania. Podczas pierwszego doładowania (a) ciśnienie pod łokiem stojaka wzrosło z wartości 25 MPa do wartości 27 MPa. Doładowanie to musiało być spowodowane wzrostem ciśnienia w magistrali zasilającej. Dzięki temu prototypowy blok mógł uzupełnić ciśnienie

pod tłokiem stojaka. Czas pierwszego doładowania (a) wyniósł 18,3 sekundy. Następnie, przez 2.8 godziny stojak utrzymywał ciśnienie na poziomie około 27 MPa (b). Po tym czasie wystąpił chwilowy spadek ciśnienia, który został szybko uzupełniony przez prototypowy blok. Ciśnienie pod tłokiem stojaka zostało doładowane (c) w czasie 23 sekund, do poziomu 27 MPa [106].



Rys. 9.10. Przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka dla oceny funkcji doładowania ciśnienia [106], gdzie: (a), (c) – doładowanie ciśnienia, (b) – obszar utrzymania podporności

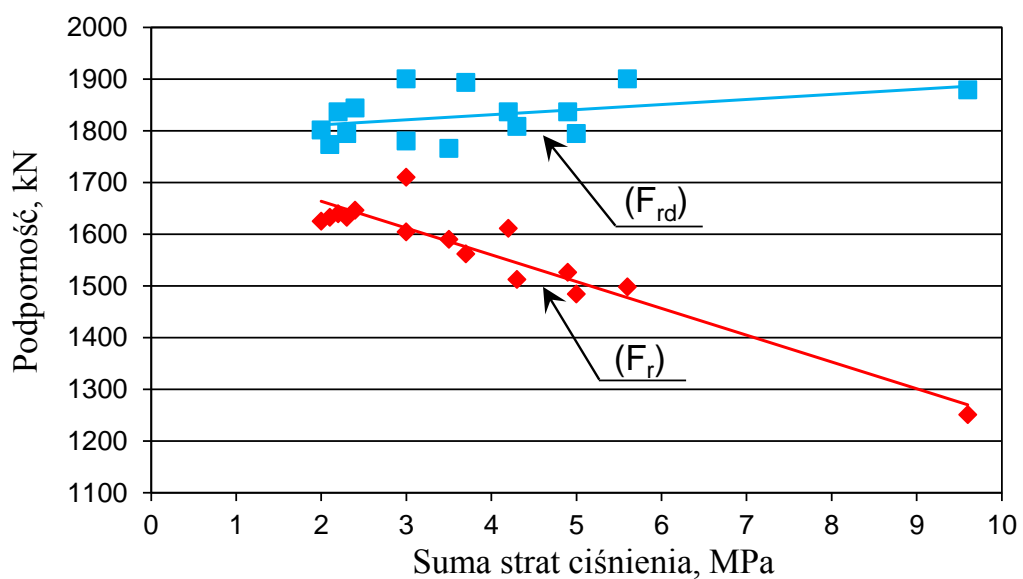
Zebrany materiał badawczy, przedstawiony na wykresach (rys. od 9.5 do 9.10), pozwolił określić czas pracy doładowania w warunkach ściany wydobywczej oraz rzeczywisty wzrost podporności stojaka. W tabeli 9.2 przedstawiono zbiorcze wyniki czasu doładowania (t_d) dla odnotowanych spadków ciśnienia ($\Sigma\Delta p$). Zarejestrowane spadki ciśnienia w przestrzeni podtłokowej badanego stojaka wynosiły od 2 do nawet 9,6 MPa. Wpływało to bezpośrednio na znaczne obniżenie podporności stojaka. Czas doładowania wahał się w granicach od 13 do 298 sekund. Przypadki, gdzie odnotowano dłuższy czas doładowania, wynikały prawdopodobnie z niewystarczającej wartości ciśnienia w magistrali zasilającej. Przy zbyt niskim ciśnieniu w magistrali, funkcja doładowania została przerwana. Dopiero po wzroście ciśnienia w magistrali prototypowy blok kontynuował doładowanie. Wpływało to bezpośrednio na wydłużenie czasu doładowania [106].

Dla uzyskanych pomiarów obliczono podporność dla chwilowych wartości ciśnienia w przestrzeni podtłokowej badanego stojaka. Wartości podporności obliczono dla czasu, w którym nastąpił spadek ciśnienia (F_r) oraz po doładowaniu ciśnienia (F_{rd}). Wyniki zapisano w tabeli 9.2 oraz zobrazowano na wykresach (rys. 9.11 i 9.12). Jak wykazały badania, opracowany prototyp z funkcją doładowania zapewnia utrzymanie wymaganej siły podporności na poziomie minimum 1766 kN. W wyniku doładowania podporność stojaka wzrastała o około 10÷20% w stosunku do podporności przed doładowaniem. Przy większych stratach ciśnienia wzrost

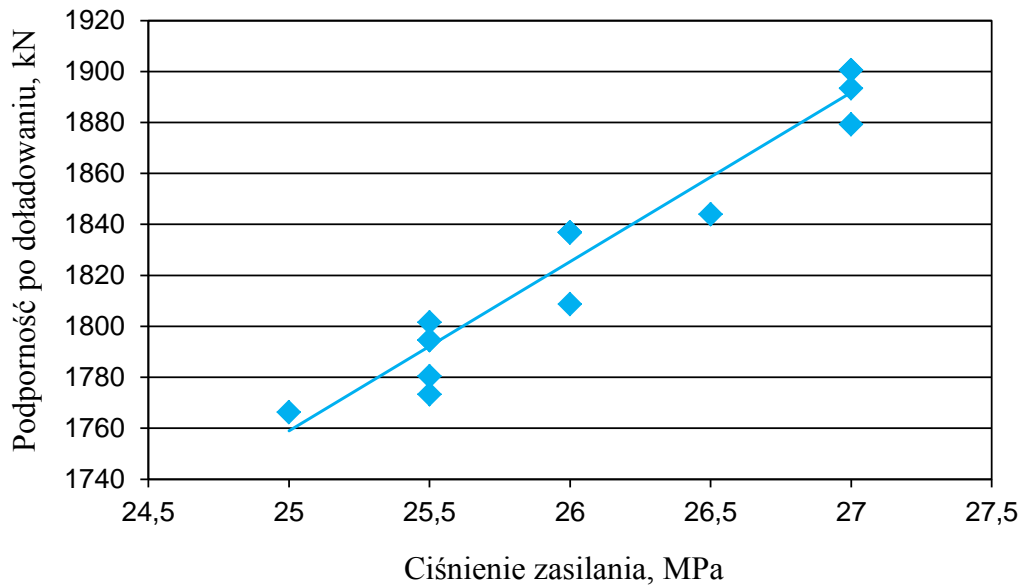
podporności po doładowaniu sięgał nawet 50%. Podporność stojaka po doładowaniu jest wprost proporcjonalna do chwilowej wartości ciśnienia w magistrali zasilającej [106].

Tabela 9.2. Analiza funkcji doładowania w warunkach rzeczywistych [106]

Ciśnienie zasilania p_z	Suma strat ciśnienia $\Sigma\Delta p$	Podporność stojaka przed doładowaniem F_r	Czas doładowania t_d	Podporność stojaka po doładowaniu F_{rd}	Wzrost podporności w wyniku doładowania ΔF
26 MPa	4,2 MPa	1611 kN	113 s	1837 kN	14 %
25 MPa	5,0 MPa	1484 kN	143 s	1795 kN	21 %
27 MPa	3,7 MPa	1561 kN	298 s	1893 kN	21 %
27 MPa	3,0 MPa	1710 kN	74 s	1900 kN	11 %
25,5 MPa	2,3 MPa	1632 kN	40 s	1795 kN	10 %
26,5 MPa	2,4 MPa	1646 kN	157 s	1844 kN	12 %
25,5 MPa	3,0 MPa	1604 kN	144 s	1780 kN	11 %
26 MPa	2,2 MPa	1639 kN	113 s	1837 kN	12 %
26 MPa	4,9 MPa	1526 kN	54 s	1837 kN	20 %
25 MPa	3,5 MPa	1590 kN	83 s	1766 kN	11 %
25,5 MPa	2,1 MPa	1632 kN	50 s	1773 kN	9 %
25,5 MPa	2,0 MPa	1625 kN	23 s	1802 kN	11 %
27 MPa	5,6 MPa	1498 kN	13 s	1900 kN	27 %
26 MPa	4,3 MPa	1512 kN	70 s	1809 kN	20 %
27 MPa	9,6 MPa	1251 kN	23 s	1879 kN	50 %

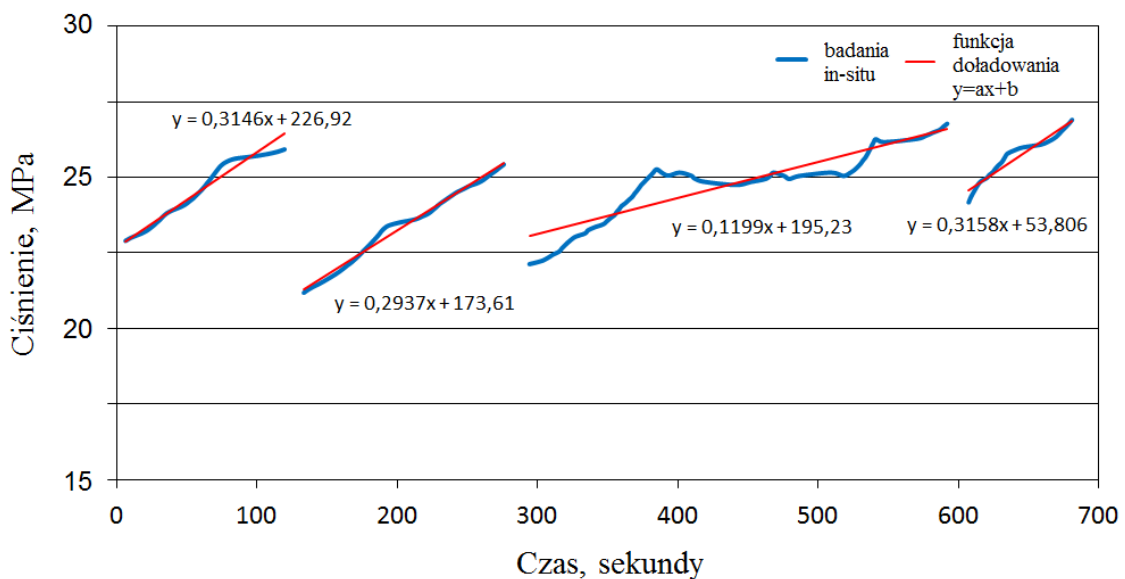


Rys. 9.11. Analiza podporności badanego stojaka przed doładowaniem (F_r) oraz po doładowaniu (F_{rd}) [106]

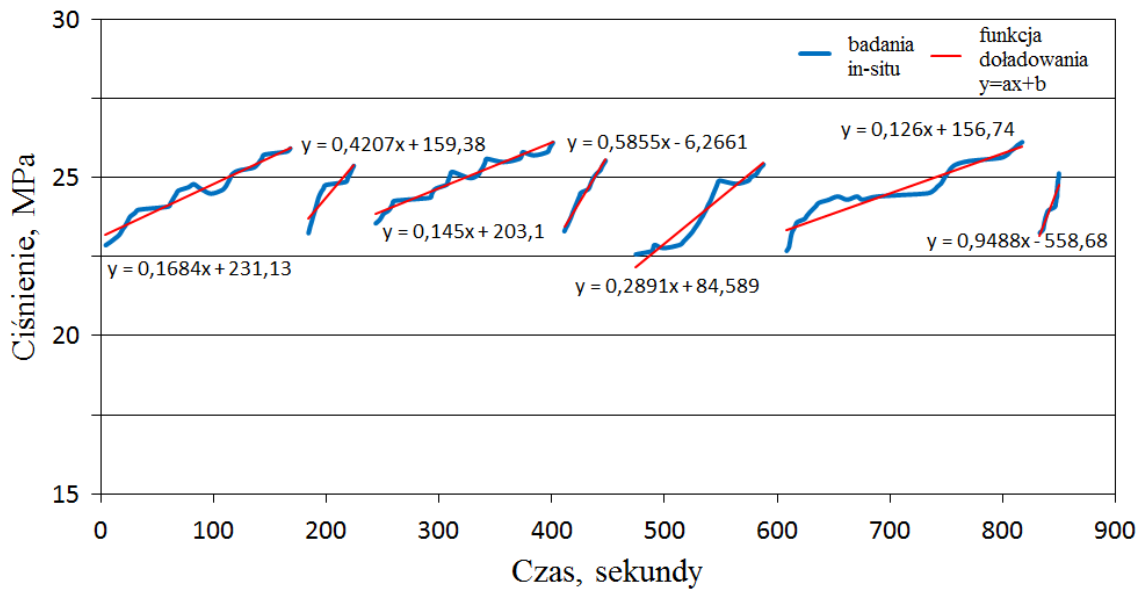


Rys. 9.12. Analiza podporności stojaka po doładowaniu w zależności od ciśnienia w magistrali zasilającej [106]

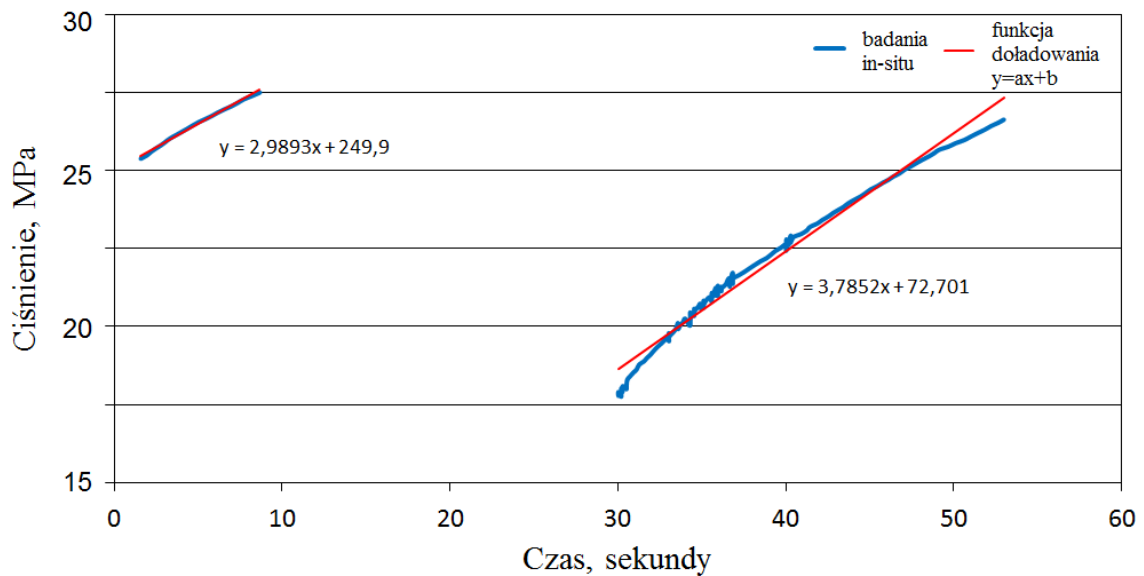
Dla omówionych wyżej, wybranych wyników badań przeanalizowano szczegółowo przebieg funkcji doładowania. Na rysunkach 9.13 - 9.15 przedstawiono wyodrębnione przebiegi zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej badanego stojaka, obejmujące realizację doładowania (doładowania z pomiarów pokazanych na rysunkach 9.5, 9.6 oraz 9.10). Współczynnik kierunkowy wyznaczonych funkcji z rysunków 9.5 oraz 9.6 mieści się w przedziale od 0,1199 do 0,9488. Z kolei dla funkcji doładowania z rysunku 9.10, gdzie obserwuje się jej skokowy charakter, współczynnik ten osiąga wartości 2,9893 oraz 3,7852. Odnotowane wartości współczynnika kierunkowego są znacznie niższe niż te uzyskane w badaniach empirycznych czy modelowych (rys. 6.15, 6.16). Spowodowane to jest obciążeniami zewnętrznymi, działającymi na sekcję obudowy, których nie uwzględniono w badaniach empirycznych i modelowych.



Rys. 9.13. Funkcja doładowania ciśnienia dla pomiarów przedstawionych na rysunku 9.5

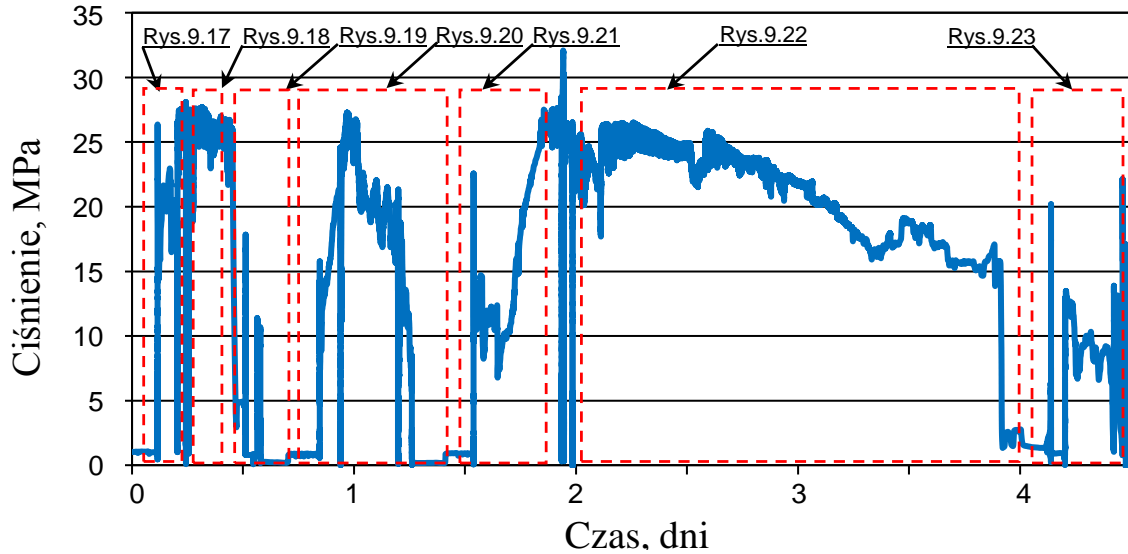


Rys. 9.14. Funkcja doładowania ciśnienia dla pomiarów przedstawionych na rysunku 9.6



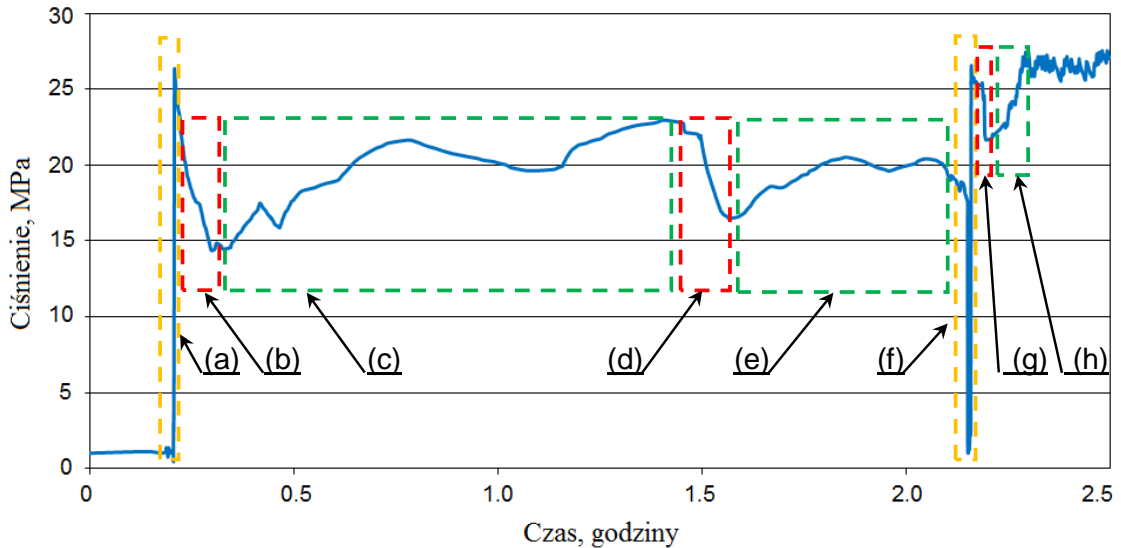
Rys. 9.15. Funkcja doładowania ciśnienia dla pomiarów przedstawionych na rysunku 9.10

Po kilkunastu tygodniach stabilnej pracy prototypu, w wybranym do badań stojaku hydraulicznym, poza zdiagnozowaną nieszczelnością wewnętrzną, zaczęła rozwijać się nieszczelność zewnętrzna. Na rysunku 9.16 przedstawiono zmiany ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka w okresie niespełna 5 dni, obejmujące proces rozwoju nieszczelności w stojaku. Dla scharakteryzowania tego procesu i analizy zmian zachodzących w stojaku hydraulicznym, rysunek 9.16 podzielono na fragmenty, które w powiększeniu przedstawiono poniżej.



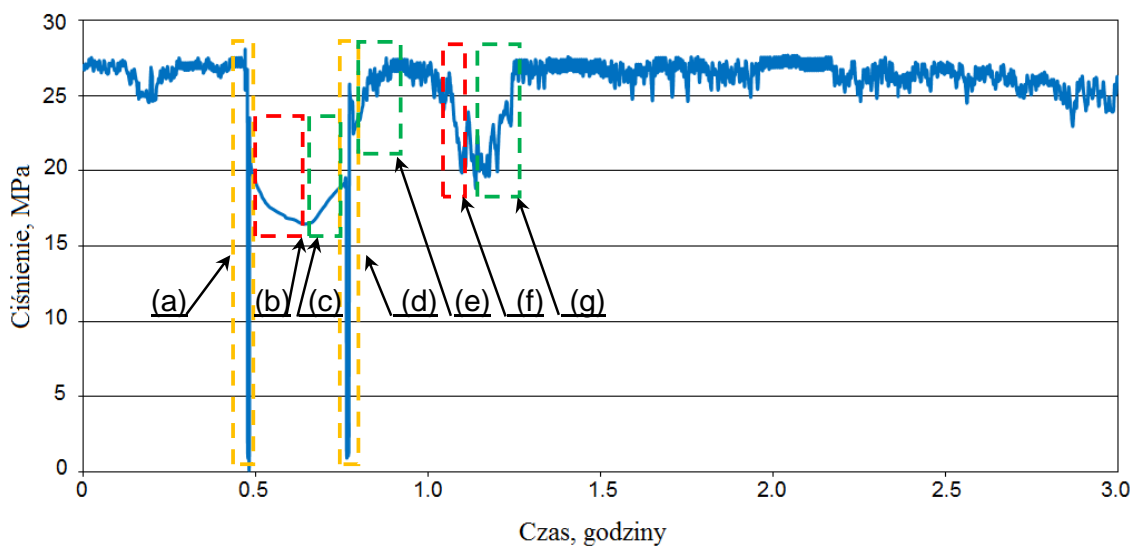
Rys. 9.16. Proces rozwoju nieszczelności zewnętrznej w stojaku hydraulicznym

Na rysunku 9.17 przedstawiono przebieg zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka w początkowej fazie rozwoju nieszczelności zewnętrznej. Nieszczelność ta objawia się nagłym spadkiem ciśnienia pod tłokiem stojaka. Jak można zaobserwować na wykresie, po prawidłowym rozparciu stojaka przez operatora (*a*) nastąpił gwałtowny spadek ciśnienia (*b*) z wartości 26 MPa do 15 MPa. W wyniku spadku ciśnienia prototypowy blok aktywował doładowanie (*c*). Ciśnienie pod tłokiem stojaka rosło stosunkowo wolno, po około 1:20 godziny osiągnęło wartość 23 MPa, po czym nastąpił jego kolejny spadek (*d*). Prototyp kontynuował doładowanie (*e*) i po 30 minutach ciśnienie pod tłokiem stojaka wzrosło do wartości 20 MPa. Po tym czasie nastąpiło przesunięcie sekcji obudowy zmechanizowanej w nowe położenie (*f*). Tak jak w poprzednim cyklu pracy sekcji, bezpośrednio po prawidłowym rozparciu stojaka przez operatora, ponownie doszło do gwałtownego spadku ciśnienia w jego przestrzeni podtłokowej (*g*). Tym razem ciśnienie spadło do wartości około 22 MPa, ale ubytek ten został bardzo szybko uzupełniony przez automatyczne doładowanie (*h*). Po doładowaniu ciśnienie utrzymywało się na poziomie około 27 MPa, zapewniając wymaganą podporność. Kontynuację pomiarów przedstawiono na rysunku 9.18.



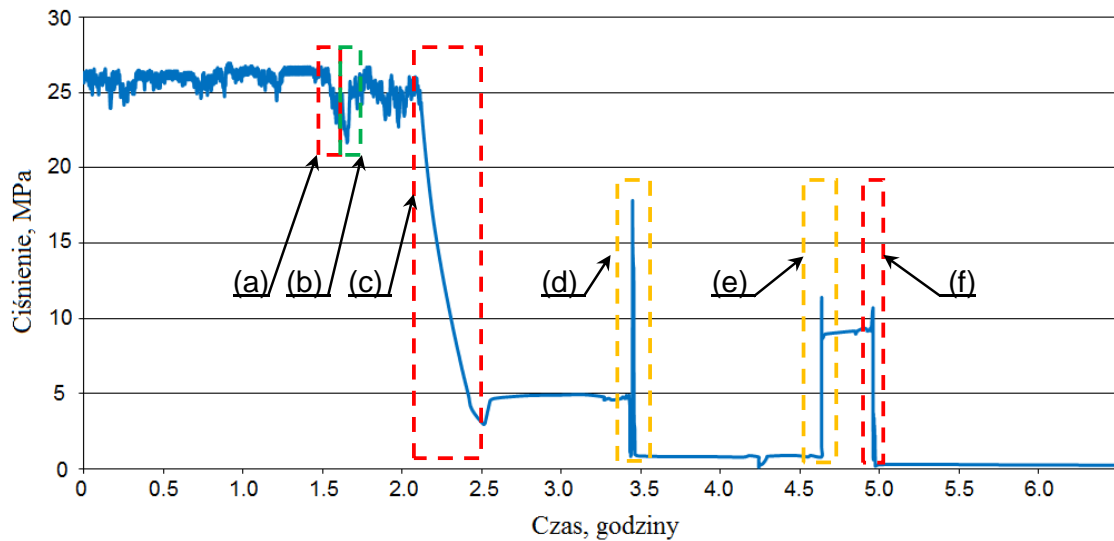
Rys. 9.17. Analiza funkcji doładowania przy rozwijającej się nieszczelności zewnętrznej w stojaku, gdzie: (a), (f) – rozparcie stojaka, (b), (d), (g) – utrata podporności, (c), (e), (h) – doładowanie ciśnienia

Analizując następne godziny pracy stojaka hydraulicznego (rys. 9.18) można zauważyć, że kolejne przestawienie sekcji w nowe położenie (a) kończy się gwałtownym spadkiem ciśnienia pod tłokiem stojaka (b). Prototypowy blok rozpoczął doładowanie (c), co jednak zostało przerwane przez operatora, który wykonując korektę, ponownie zrabował i rozparł sekcję (d). Ciśnienie pod tłokiem stojaka nie osiągnęło wymaganej wartości, co aktywowało pracę prototypu (e). W wyniku doładowania ciśnienie wzrosło do wartości 27 MPa. Po kilkunastu minutach zarejestrowano spadek ciśnienia (f), który został niezwłocznie uzupełniony przez kolejne doładowanie (g). Prototypowy blok doładował ciśnienie do wartości 27 MPa i ciśnienie to utrzymywało się przez kolejne godziny pracy stojaka.



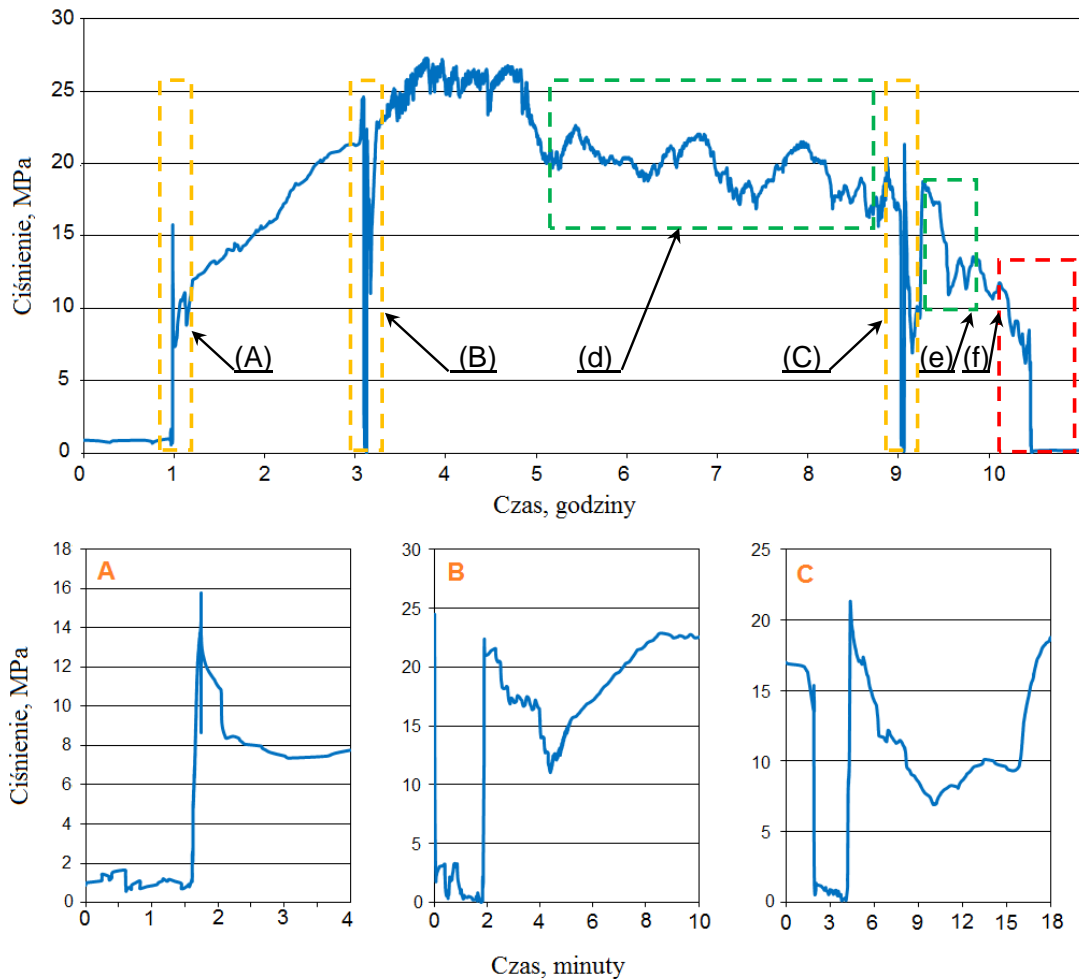
Rys. 9.18. Analiza funkcji doładowania przy rozwijającej się nieszczelności zewnętrznej w stojaku, gdzie: (a), (d) – rozparcie stojaka, (b), (f) – utrata podporności, (c), (e), (g) – doładowanie ciśnienia

Kontynuując obserwację i analizę pracy stojaka (rys. 9.19), po niespełna 4 godzinach utrzymania podporności, zarejestrowano niewielki spadek ciśnienia w jego przestrzeni podtłokowej (a) do wartości ok. 22 MPa. Ubytek ten został natychmiast uzupełniony przez doładowanie (b). Po około 30 minutach odnotowano kolejny spadek ciśnienia (c). Tym razem doszło do całkowitej utraty podporności, a stan ten utrzymywał się przez godzinę, do kolejnej operacji dostawiania sekcji (d). Po rozparciu stojaka do wartości około 18 MPa, nastąpił gwałtowny spadek ciśnienia. Przez kolejną godzinę stojak nie wykazywał podporności. Kolejna próba rozparcia stojaka przez operatora (e) zakończyła się ponowną całkowitą utratą podporności (f).



Rys. 9.19. Analiza funkcji doładowania przy rozwijającej się nieszczelności zewnętrznej w stojaku, gdzie: (a), (c), (f) – utrata podporności, (b) – doładowanie ciśnienia, (d), (e) – rozparcie stojaka

Na rysunku 9.20 przedstawiono zmiany ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka w kolejnych 11 godzinach jego pracy. Wybrane obszary (A, B, C) zobrazowano dodatkowo w powiększeniu. W obszarze A zarejestrowano przesunięcie sekcji w nowe położenie. Po rozparciu stojaka do wartości około 16 MPa, nastąpił gwałtowny spadek ciśnienia do wartości 9 MPa. Operator próbował skorygować rozparcie stojaka, udało się uzupełnić ciśnienie pod tłokiem do wartości 14 MPa, co jednak zakończyło się kolejnym gwałtownym spadkiem ciśnienia do wartości około 8 MPa. W następnych dwóch godzinach widać przyrost ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka. Prawdopodobnie wynika on z konwergencji wyrobiska i nacisku stropowych warstw skalnych na stropnicę badanej sekcji obudowy zmechanizowanej. Po tym czasie operator przystąpił do przesuwania sekcji w nowe położenie (B). Bezpośrednio po rozparciu badanego stojaka do wartości 22 MPa, w czasie 2 minut, ciśnienie pod tłokiem spadło do 11 MPa. W związku z nieuzyskaniem wymaganego ciśnienia, prototypowy blok aktywował doładowanie, a ciśnienie pod tłokiem stojaka wzrosło do wartości 27 MPa. Po około 2 godzinach nastąpił spadek ciśnienia do wartości 20 MPa. W wyniku tego spadku zostało aktywowane doładowanie.

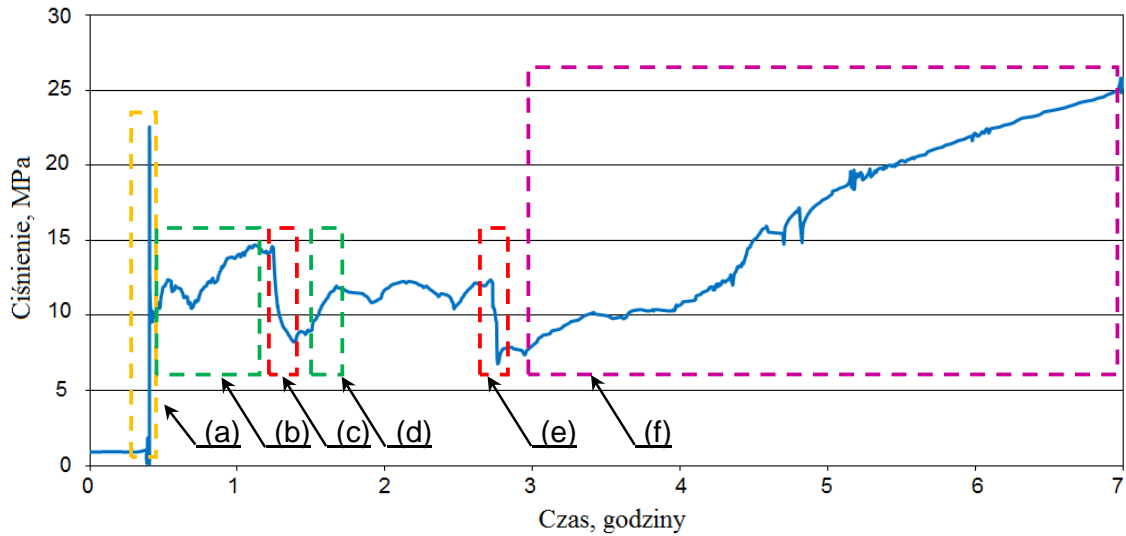


Rys. 9.20. Analiza funkcji doładowania przy rozwijającej się nieszczelności zewnętrznej w stojaku, gdzie: (A), (B), (C) – rozparcie stojaka, (d), (e) – obszary doładowania ciśnienia, (f) – utrata podporności

W obszarze (d) można zaobserwować pracę doładowania. Prototyp przez kolejne 4 godziny realizował doładowania, uzupełniając występujące ubytki ciśnienia, spowodowane nieszczelnością. Po tym czasie przystąpiono do przestawiania sekcji (C). Operator rozparł sekcję do wartości 22 MPa. Bezpośrednio po rozparciu, ciśnienie pod tłokiem stojaka zaczęło spadać, osiągając po 6 minutach wartość 7 MPa. Operator próbował skorygować rozparcie sekcji, w wyniku czego uzupełnił ciśnienie do wartości 18 MPa. Jednak zakończyło się to ponownym spadkiem ciśnienia do wartości 10 MPa. Spadek ten aktywował doładowanie (e). Prototyp uzupełniał ubytki, które jednak okazały się zbyt duże i w konsekwencji doszło do całkowitej utraty podporności (f).

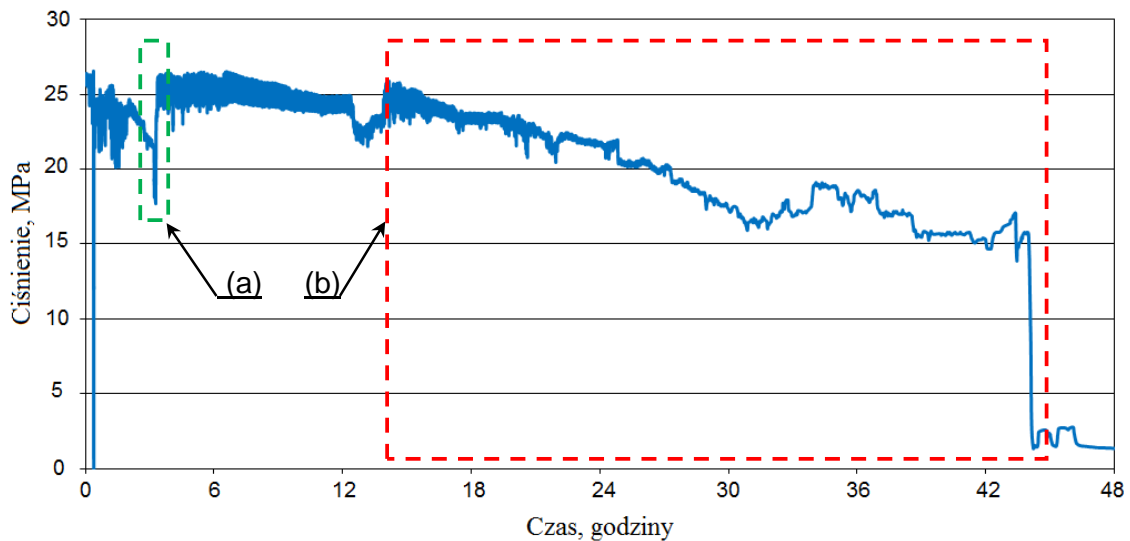
Kolejne 7 godzin pracy bloku przedstawiono na rysunku 9.21. Zarejestrowane rozparcie stojaka (a) zakończyło się gwałtownym spadkiem ciśnienia. W wyniku tego prototyp aktywował doładowanie, które zostało zarejestrowane w obszarach (b) oraz (d). Jednocześnie, w wyniku nieszczelności, dochodziło do kolejnych gwałtownych spadków ciśnienia (c, e). W obszarze e ciśnienie pod tłokiem stojaka spadło poniżej wartości 9 MPa, co wyłączyło doładowanie. Jednak chwilę później

musiało dojść do zwiększonego nacisku warstw skalnych na stropnicę sekcji, co skutkowało wzrostem ciśnienia pod tłokiem stojaka (*f*).



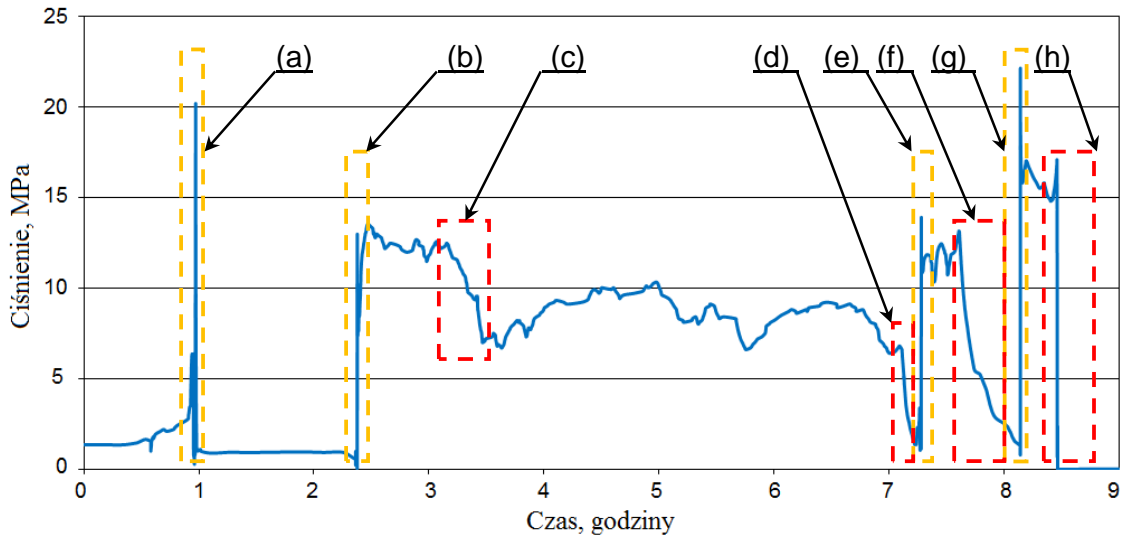
Rys. 9.21. Analiza funkcji doładowania przy rozwijającej się nieszczelności zewnętrznej w stojaku, gdzie: (a) – rozparcie stojaka, (b), (d) – doładowanie ciśnienia, (c), (e) – utrata podporności, (f) – wzrost ciśnienia pod wpływem nacisku warstw skalnych

Na rysunku 9.22 przedstawiono stan analizowanego stojaka w kolejnych 48 godzinach obserwacji. Po rozparciu, przez około 16 godzin, stojak utrzymywał wymaganą podporność. W tym czasie zarejestrowano tylko jeden spadek ciśnienia, który został niezwłocznie uzupełniony przez doładowanie (*a*). Po 16 godzinach ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka zaczęło powoli spadać, a po osiągnięciu wartości 15 MPa, nastąpił już jego gwałtowny spadek, w wyniku czego doszło do całkowitej utraty podporności (*b*). Pomiary zaprezentowane na rysunku 9.22 zostały zarejestrowane w dniach wolnych od pracy, kiedy w ścianie nie było prowadzone wydobywanie, stąd przez 48 godzin nie obserwujemy operacji przestawiania sekcji.



Rys. 9.22. Analiza funkcji doładowania przy rozwijającej się nieszczelności zewnętrznej w stojaku, gdzie: (a) – doładowanie ciśnienia, (b) – utrata podporności

Ostatnie 9 godzin obserwacji stojaka przedstawiono na rysunku 9.23. Po pierwszym rozparciu stojaka (a), nastąpił natychmiastowy całkowity spadek ciśnienia. Po czasie 1,5 godziny, po kolejnym rozparciu sekcji (b) do wartości 18 MPa, udało się utrzymać uzyskane ciśnienie pod tłokiem stojaka przez około 45 minut. Po tym czasie ciśnienie spadło (c) do około 7 MPa, a po kolejnych 4 godzinach nastąpiła całkowita utrata podporności (d). Sytuacja powtórzyła się przy kolejnych próbach rozpierania stojaka (e, g). Po kilkunastu minutach od rozparcia sekcji, ciśnienie pod tłokiem stojaka spadało do zera (f, h).



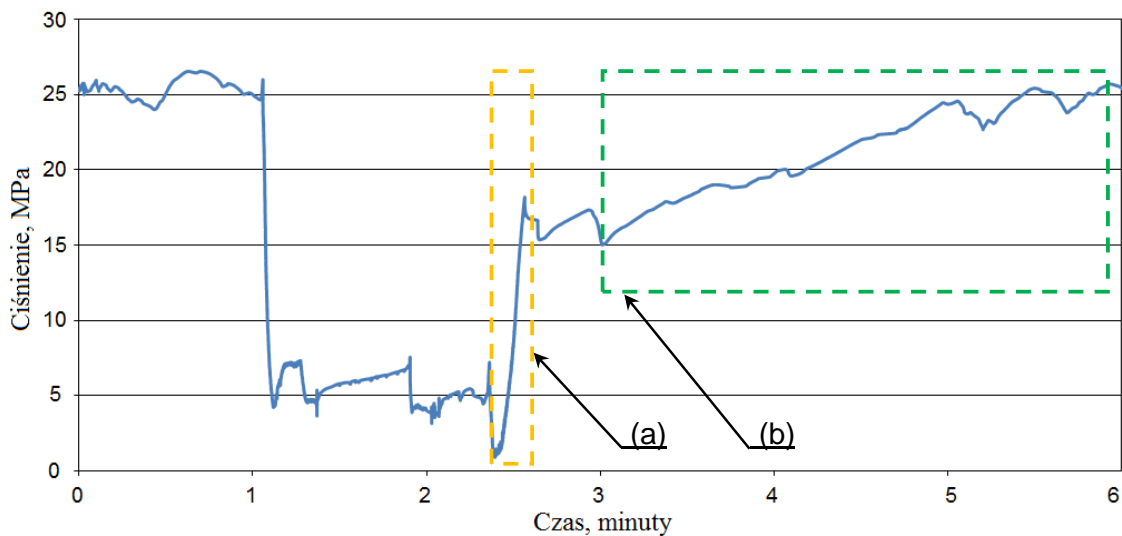
Rys. 9.23. Analiza funkcji doładowania przy rozwijającej się nieszczelności zewnętrznej w stojaku, gdzie: (a), (b), (e), (g) – rozparcie stojaka, (c), (d), (f), (h) – utrata podporności

W kolejnych dwóch dniach pracy stojaka (rys. 9.24) widać całkowity brak jego podporności. Każda próba rozparcia stojaka kończyła się natychmiastowym spadkiem ciśnienia pod tłokiem stojaka do zera. Stojak był całkowicie niesprawny technicznie, co wymusiło konieczność jego wymiany w ścianie. W badanej sekcji stojak wymieniono na nowy, a prototypowy blok został zdemontowany.



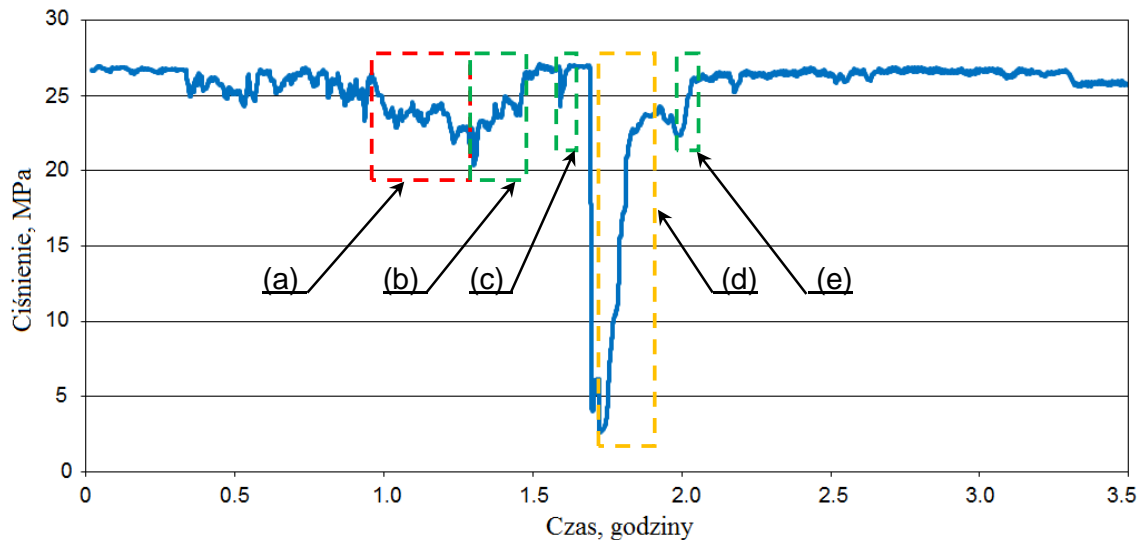
Rys. 9.24. Przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka z nieszczelnością zewnętrzną

W celu kontynuacji badań opracowany prototypowy blok został zamontowany w tej samej ścianie, na innym stojaku z nieszczelnością wewnętrzną. Przykładowe wyniki z przeprowadzonych pomiarów przedstawiono na poniższych rysunkach. Na rysunku 9.25 zobrazowano proces rozparcia stojaka. Jak widać na wykresie, operator rozparł stojak do wartości około 19 MPa (a). Następnie, już po zakończeniu pracy operatora, prototypowy blok aktywował doładowanie. Dzięki temu ciśnienie pod tłokiem stojaka zostało uzupełnione do wartości około 25 MPa (b). Dzięki temu stojak uzyskał wymaganą wartość podporności wstępnej, co potwierdza poprawność przyjętego założenia.



Rys. 9.25. Przebieg zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego z nieszczelnością wewnętrzną podczas operacji jego rozpierania, gdzie:
(a) – rozparcie sekcji przez operatora, (b) – automatyczne doładowanie ciśnienia

Rysunek 9.26 przedstawia pomiar ciśnienia w okresie 3,5 godziny. Jak można zauważyć, po zamontowaniu prototypowego bloku w układzie hydraulicznym nieszczelnego stojaka, ciśnienie w przestrzeni podtłokowej utrzymywało się na wymaganym poziomie minimum 25 MPa. Prototyp zabezpieczył zarówno przestrzeń nadtłokową, jak i podtłokową stojaka przed utratą cieczy i spadkami ciśnienia. Zminimalizowało to skutki nieszczelności wewnętrznej. Na wykresie (rys. 9.26) można zauważyć pojedyncze przypadki spadków ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka (a). Przyczyną tych spadków mogły być lokalne warunki współpracy obudowy z górotworem. Jak widać na wykresie, po każdym takim spadku ciśnienia, prototyp automatycznie aktywował doładowanie (b, c). Dzięki temu ciśnienie pod tłokiem stojaka było uzupełniane do wymaganej wartości. Potwierdziło to poprawność pracy prototypowego bloku z funkcją doładowania. W obszarze (d) można zauważyć operację rozparcia sekcji przez operatora. Stojak został rozparty do wartości ciśnienia 24 MPa. Zatem sekcja nie uzyskała wymaganej podporności. W związku z tym prototypowy blok automatycznie doładował ciśnienie do wartości 26 MPa (e) [11].



Rys. 9.26. Przebieg zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego z nieszczelnością wewnętrzną podczas jego pracy uzyskany w badaniach rzeczywistych [11], gdzie: (a) – utrata podporności, (b), (c), (e) – doładowanie ciśnienia, (d) – rozparcie stojaka przez operatora

9.4. Wnioski

Badania in-situ miały na celu ocenę przydatności funkcji doładowania w warunkach rzeczywistych. Badania te przeprowadzono w ścianie wydobywczej. Do celów badań wybrano stojak, który wykazywał rozwijającą się nieszczelność wewnętrzną. Przeprowadzone badania pozwoliły ocenić trzy założenia dla proponowanej funkcji doładowania. Pierwszym założeniem było rozparcie stojaka do wymaganej wartości podporności wstępnej, pomimo wahań ciśnienia w magistrali zasilającej. Drugim założeniem było automatyczne doładowanie ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka w przypadkach jego spadków. Dodatkowo wybór stojaka z nieszczelnością wewnętrzną pozwolił ocenić trzecie założenie dla proponowanego prototypu bloku - minimalizację skutków nieszczelności wewnętrznych.

Analiza wyników przeprowadzonych badań pozwoliła wyciągnąć następujące wnioski:

- 1) Zastosowanie funkcji doładowania ciśnienia w układzie hydraulicznym stojaka obudowy zmechanizowanej umożliwiło jego rozparcie do wymaganej wartości podporności wstępnej, pomimo przerwania operacji rozpierania przez operatora.
- 2) Wszystkie zarejestrowane ubytki ciśnienia w przestrzeni podtłokowej badanego stojaka zostały uzupełnione przez układ automatycznego doładowania. Po każdym spadku ciśnienia opracowany prototypowy blok niezwłocznie realizował doładowanie. Czas realizacji doładowania wynosił od kilku sekund do kilku minut. Różnice te wynikały z wahań ciśnienia w magistrali zasilającej.
- 3) Funkcja doładowania zapewniła wzrost podporności stojaka na poziomie 10-20% w stosunku do podporności przed doładowaniem. Zarejestrowano również przypadki, gdzie wzrost podporności sięgał 50%.

- 4) Opracowany prototypowy blok z funkcją doładowania umożliwił utrzymanie wymaganej siły podporności w stojaku, pomimo rozwijającej się nieszczelności wewnętrznej. Należy jednak mieć na uwadze, że zastosowanie doładowania w stojaku z nieszczelnością wewnętrzną jest rozwiązaniem tymczasowym. Niesprawny stojak powinien być wymieniony, w miarę możliwości i organizacji pracy, na zmianie konserwacyjnej. Zaniechanie wymiany i użytkowanie niesprawnego stojaka przez dłuższy okres czasu może w ostateczności doprowadzić do rozwoju nieszczelności zewnętrznej. A to skutkuje niedostateczną podpornością sekcji lub jej całkowitym brakiem.
- 5) W oparciu o analizę z uzyskanych wyników badań w warunkach rzeczywistych nad prototypem z funkcją doładowania można stwierdzić, że proponowane rozwiązanie spełnia przyjęte założenia dla zapewnienia wymaganej podporności.

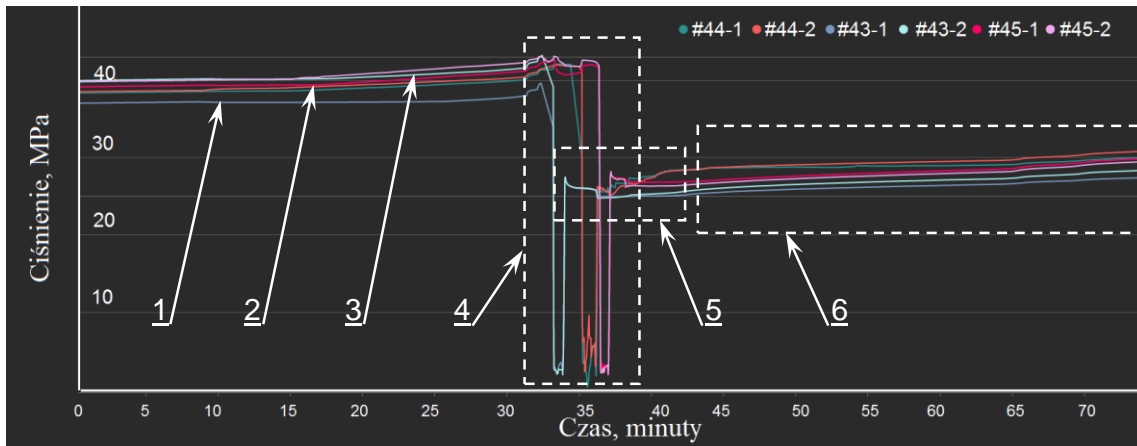
10. Badania nad zachowaniem się opracowanego prototypowego bloku w warunkach rzeczywistych w oparciu o dane z monitoringu ciśnienia

10.1. Metoda i zakres badań

W celu dokonania analizy pracy proponowanego układu hydraulicznego stojaka obudowy zmechanizowanej z zastosowaniem funkcji doładowania i porównania jego działania z układem standardowym, przeprowadzono badania w warunkach rzeczywistych. Badania zrealizowano w ścianie wydobywczej podczas prowadzenia eksploatacji. Obudowa zmechanizowana wyposażona była w system monitoringu ciśnienia. W stojakach obudowy zamontowane zostały czujniki do pomiaru ciśnienia w przestrzeni podtłokowej. Częstość próbkowania wynosiła 1 sekundę. Pomiar z czujników przekazywane były drogą radiową do konwertera DILER. Konwerter odpowiadał za retransmisję sygnału radiowego na sygnał elektryczny, który następnie transmitowany był do urządzenia nadrzędnego w postaci komputera. Dane w systemie prezentowane były w formie wykresów zmiany ciśnienia w czasie. Zastosowanie monitoringu ciśnienia pozwoliło na ciągłą obserwację pracy układu hydraulicznego obudowy zmechanizowanej. Z uwagi na ograniczoną liczbę prototypów, badaniom poddano trzy sąsiednie sekcje obudowy zmechanizowanej. Czujniki ciśnienia zamontowane były również w magistrali zasilającej – na wlocie do ściany, wylocie i w połowie ściany. Umożliwiło to kontrolę ciśnienia zasilania sekcji [109, 111].

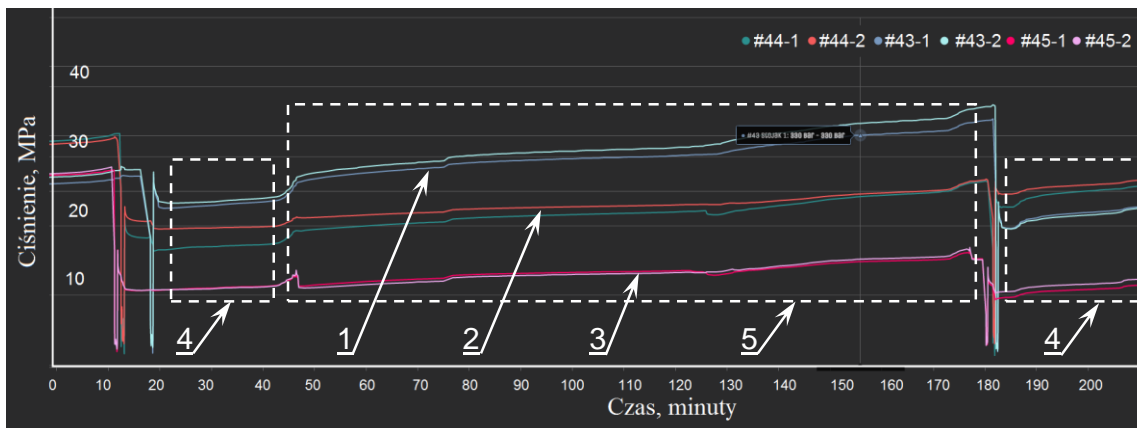
10.2. Analiza uzyskanych wyników badań dołowych dla standardowego układu hydraulicznego - bez funkcji doładowania

Na rysunku 10.1 przedstawiono przebieg ciśnienia w przestrzeniach podtłokowych stojaków dla trzech sąsiednich sekcji obudowy zmechanizowanej. Na wykresie widać zmiany ciśnienia zarejestrowane podczas wykonywanego cyklu pracy sekcji (rabowanie, dostawianie, rozpieranie). Jak można zauważyć, bezpośrednio po zakończeniu operacji rozpierania sekcji, w stojakach występują wyraźne spadki ciśnienia. Wielkość spadków, jakie odnotowano, wynosi od 2 do 5 MPa. Mogą one wynikać z lokalnych warunków współpracy obudowy z górotworem, wpływu sąsiednich sekcji w wyrobisku ścianowym oraz charakterystyki zaworów bezpieczeństwa zastosowanych w układzie hydraulicznym. Spadki te mają wpływ na osiąganą przez sekcje wartość podporności wstępnej [109, 111].



Rys. 10.1. Pomiar ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej w trakcie wykonywanego cyklu pracy [111], gdzie: 1 – sekcja nr 43, 2 – sekcja nr 44, 3 – sekcja nr 45, 4 – cykl pracy sekcji (rabowanie, dostawianie, rozpieranie), 5 – praca sekcji przy podporności wstępnej, 6 – narastanie siły podporności do wartości roboczej

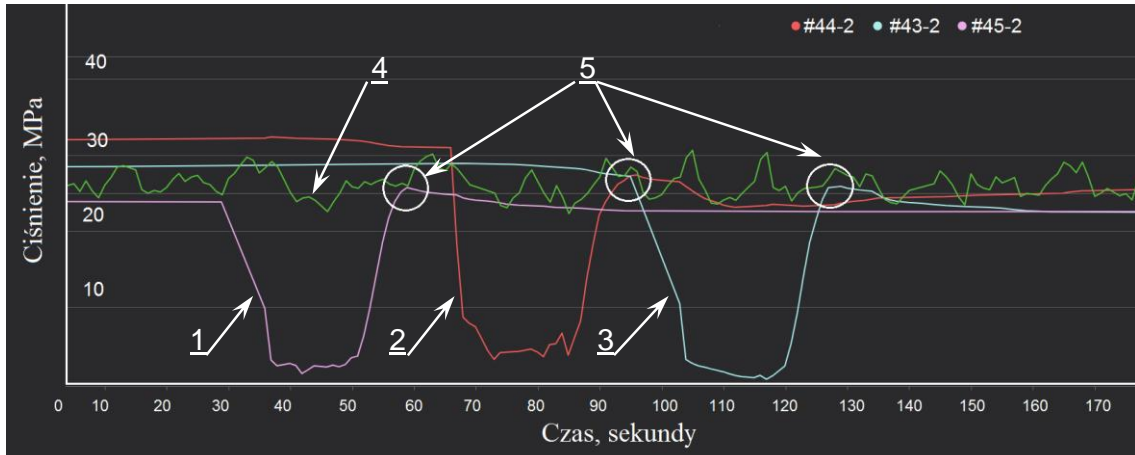
Przeprowadzone badania wykazały, że sekcje są rozpierane do różnych wartości podporności wstępnej i pracują z różną siłą podporności. Na rysunku 10.2 przedstawiono przebieg ciśnienia w przestrzeniach podtłokowych stojaków dla analizowanych sekcji obudowy zmechanizowanej, obejmujący ich dwa kolejne cykle pracy. Jak widać na wykresie, różnice ciśnienia pomiędzy sąsiednimi sekcjami wynoszą około 10 MPa. Co istotne, sekcje oznaczone cyframi 2 oraz 3 nie uzyskały wymaganej wartości podporności. Powyższe może wynikać z przerwania operacji rozpierania przed uzyskaniem wymaganej wartości podporności lub też może być spowodowane chwilowymi spadkami ciśnienia zasilania [109, 111].



Rys. 10.2. Pomiar ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej [111], gdzie: 1 – sekcja nr 43, 2 – sekcja nr 44, 3 – sekcja nr 45, 4 – praca sekcji przy podporności wstępnej, 5 – narastanie siły podporności do wartości roboczej

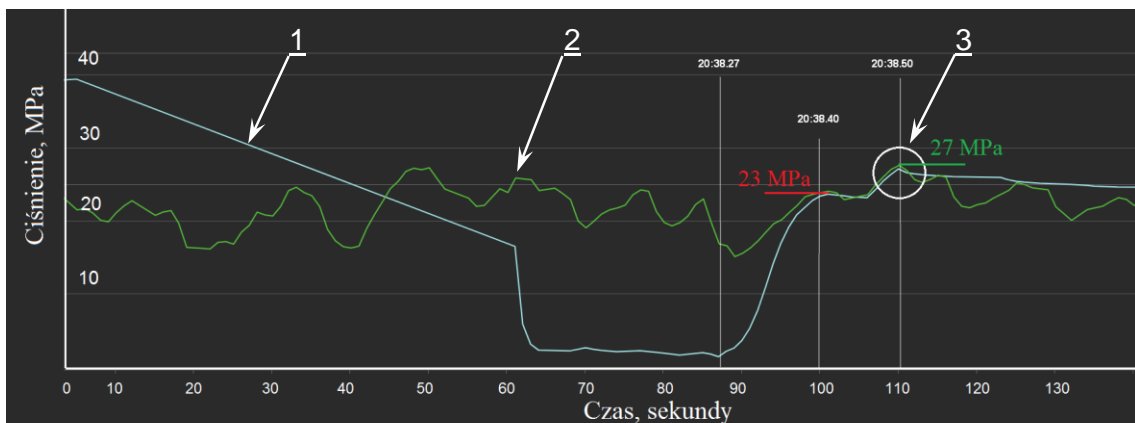
Wartość ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka bezpośrednio po zakończeniu operacji rozpierania zależy od chwilowej wartości ciśnienia w magistrali zasilającej. Zależność tą zobrazowano szczegółowo na rysunku 10.3. Ciśnienie w magistrali jest zmienne w czasie, a wahania ciśnienia sięgają kilkunastu MPa. Spowodowane jest to m.in. charakterystyką pracy agregatów

pompowych, zasilających obudowę zmechanizowaną oraz oporami przepływu medium ze stacji pomp do ściany wydobywczej. Chwilowe spadki ciśnienia zasilania występują także na skutek podłączania do magistrali zasilającej urządzeń z napędem hydraulicznym [109, 111].



Rys. 10.3. Przebieg ciśnienia w stojakach podczas pracy obudowy zmechanizowanej [111], gdzie:
1 – sekcja nr 45, 2 – sekcja nr 44, 3 – sekcja nr 43, 4 – ciśnienie w magistrali zasilającej,
5 – rozparcie sekcji do podpórności wstępnej

Na rysunku 10.4 zobrazowano proces rozpierania sekcji obudowy zmechanizowanej przy chwilowym spadku ciśnienia w magistrali zasilającej. Podczas rozpierania sekcji chwilowa wartość ciśnienia w magistrali zasilającej wynosiła 23 MPa. Zatem sekcja mogła być rozparta maksymalnie do uzyskania ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka o wartości 23 MPa. Dzięki zastosowaniu monitoringu operator obudowy dostał informację o wzroście ciśnienia w magistrali zasilającej. Tym samym mógł on kontynuować operację rozpierania sekcji aż do uzyskania ciśnienia o wartości 27 MPa. Umożliwiło to prawidłowe rozparcie sekcji w wyrobisku ścianowym. Sekcja uzyskała wymaganą podpórność wstępną, ale odbyło się to kosztem wydłużenia czasu operacji rozpierania i wymagało to skrupulatności operatora [109, 111].



Rys. 10.4. Proces rozpierania sekcji obudowy zmechanizowanej [111], gdzie:
1 – przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka sekcji nr 43,
2 – ciśnienie w magistrali zasilającej, 3 – rozparcie sekcji do wymaganej podpórności wstępnej

10.3. Wnioski

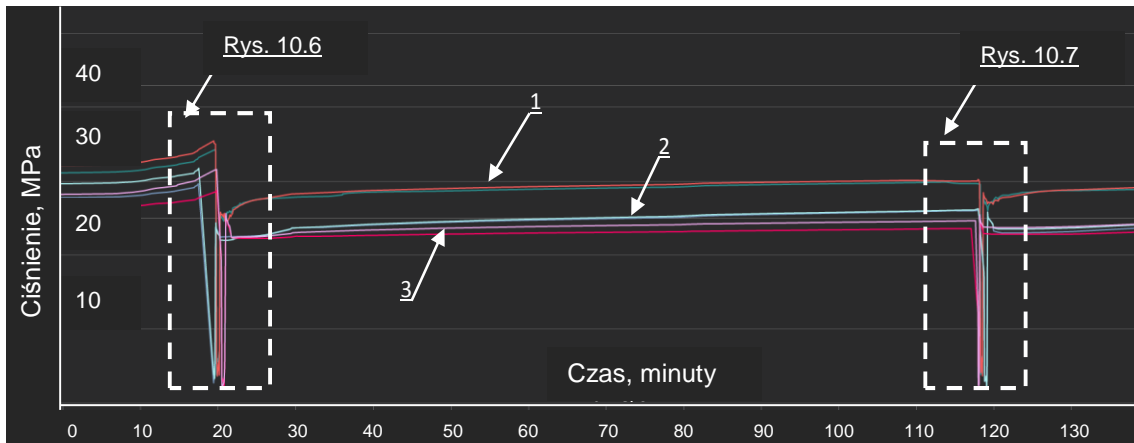
Przeprowadzone badania oraz wykonana analiza pracy obudowy zmechanizowanej wykazały, że sekcje mogą być rozpierane w wyrobisku ścianowym z dużymi różnicami siły podporności wstępnej. Różnice te wynikają głównie z wahań ciśnienia w magistrali zasilającej oraz spadków ciśnienia w krótkim czasie po rozparciu sekcji obudowy. Skutkuje to nierównomiernym podparciem stropu wzdłuż długości ściany, co wpływa niekorzystnie na stateczność wyrobiska ścianowego.

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analizy ich wyników stwierdzono następujące wnioski:

- 1) Bezpośrednio po zakończeniu operacji rozpierania sekcji w stojakach obudowy zmechanizowanej występują spadki ciśnienia wynoszące od 2 do 5 MPa.
- 2) Sekcje obudowy zmechanizowanej rozpierane są do różnych wartości ciśnienia w przestrzeniach podtłokowych stojaków. Tym samym sekcje osiągają różne wartości siły podporności wstępnej i pracują przy różnych wartościach siły podporności.
- 3) Różnice w wartościach siły podporności sekcji wpływają na nierównomierne podparcie stropu wzdłuż długości ściany.
- 4) Wartość ciśnienia do którego zostaje rozparta sekcja, a tym samym jej siła podporności, zależy od chwilowej wartości ciśnienia w magistrali zasilającej.
- 5) Ciśnienie występujące w magistrali zasilającej jest zmienne w czasie, a jego wahania wynoszą do kilkunastu MPa.

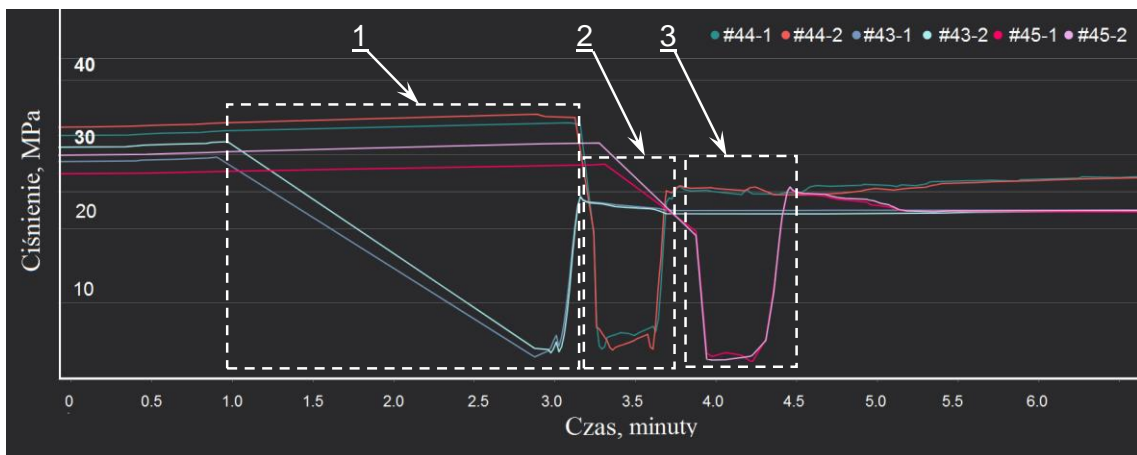
10.4. Analiza uzyskanych wyników badań dla proponowanego układu hydraulicznego z zastosowaniem prototypowego bloku z funkcją doładowania

W celu wyeliminowania przedstawionych wyżej problemów w zakresie uzyskania i utrzymania podporności, zaproponowano zastosowanie w układzie hydraulicznym stojaka funkcji doładowania ciśnienia. Analizując uzyskane pomiary ciśnienia dla układu wyposażonego w opracowany prototypowy blok (rys. 10.5) można zauważyć, że sekcja nr 1 krótko po rozparciu osiągnęła maksymalną wartość ciśnienia magistrali zasilającej powyżej 25 MPa. Ciśnienie w stojakach sekcji nr 2 i 3, po prawidłowym ich rozparciu, zmniejsza się do wartości poniżej 25 MPa. Pomiedzy sekcją 1 a sekcjami 2 i 3 utrzymuje się różnica ciśnienia wynosząca około 5 MPa [109].

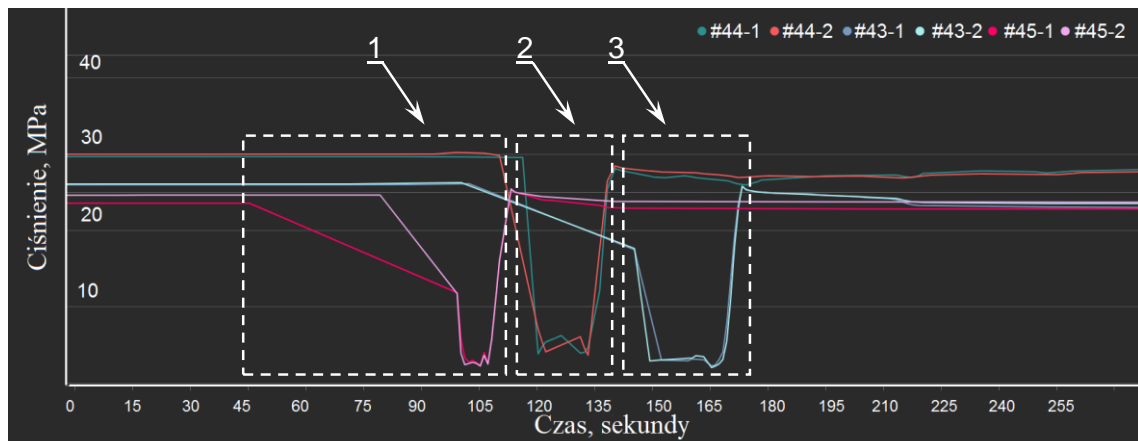


Rys. 10.5. Przebieg wartości ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej dla prototypowego układu, gdzie: 1- sekcja nr 43, 2 - sekcja nr 44, 3- sekcja nr 45

Na rysunkach 10.6 oraz 10.7 szczegółowo zobrazowano, że analizowane sekcje obudowy zmechanizowanej zostały rozparte do prawie takiej samej wartości ciśnienia wstępnego. Praca obudowy jest znacznie bardziej równomierna, a sekcje osiągnęły wymaganą podporność. Proponowany układ hydrauliczny stojaka, z zastosowaniem prototypu bloku, może też wpłynąć na skrócenie czasu rozpierania sekcji obudowy zmechanizowanej. Wyposażając cały kompleks obudowy zmechanizowanej w opracowany prototyp, operator mógłby rozpierać sekcje do minimalnego ciśnienia równego zadanej wartości nastawy zaworu progowego. Wówczas dalsze rozparcie sekcji obudowy zmechanizowanej, do wymaganej podporności wstępnej (powyżej 25 MPa), byłoby realizowane przez funkcję doładowania [109].



Rys. 10.6. Przebieg wartości ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej dla wykonywanego cyklu pracy, przy zastosowaniu prototypowego układu, gdzie: 1 – sekcja nr 43, 2 – sekcja nr 44, 3 – sekcja nr 45



Rys. 10.7. Przebieg wartości ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej dla wykonywanego cyklu pracy, przy zastosowaniu prototypowego układu, gdzie:
1 – sekcja nr 43, 2 – sekcja nr 44, 3 – sekcja nr 45

10.5. Wnioski

Analiza pracy układu hydraulicznego obudowy zmechanizowanej wykazała, że zastosowanie opracowanego prototypowego bloku umożliwiło rozparcie stojaków sekcji do wymaganej wartości siły podporności wstępnej. Proponowany układ eliminuje spadki ciśnienia w stojakach sekcji obudowy występujące krótko po jej rozparciu. Wprowadzenie prototypu bloku do układu hydraulicznego obudowy zmechanizowanej pozwala na znaczne zmniejszenie różnic w wartościach siły podporności dla sąsiednich sekcji. Zapewnia to równomierne podparcie stropu wzdłuż długości ściany oraz stabilną pracę obudowy zmechanizowanej.

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analizy ich wyników stwierdzono następujące wnioski:

- 1) Zastosowanie prototypowego bloku w układzie podpornościowym stojaka obudowy zmechanizowanej umożliwia rozparcie sekcji do wymaganej wartości siły podporności wstępnej, pomimo wahań ciśnienia w magistrali zasilającej.
- 2) Wykorzystanie prototypu z funkcją doładowania eliminuje problem spadków ciśnienia w stojakach sekcji bezpośrednio po jej rozparciu.
- 3) Proponowany układ wyposażony w opracowany prototyp zapewnia stabilną pracę obudowy zmechanizowanej, gdzie sekcje zostają rozparte do zbliżonych wartości siły podporności wstępnej i pracują przy zbliżonych wartościach siły podporności.
- 4) Układ hydrauliczny z wykorzystaniem prototypu jest odporny na wahania ciśnienia w magistrali zasilającej.

11. Wnioski końcowe

Jednym z problemów w eksploatacji zmechanizowanej obudowy ścianowej jest uzyskanie i utrzymanie przez nią wymaganej wartości siły podporności. Z tego względu w ramach pracy doktorskiej zaproponowano zastosowanie w układzie hydraulicznym obudowy zmechanizowanej funkcji doładowania ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka. W tym zakresie przeprowadzono badania modelowe, a na ich podstawie opracowano i przygotowano prototyp, który poddano badaniom stanowiskowym oraz in-situ. Analiza uzyskanych wyników badań potwierdziła przyjętą w niniejszej rozprawie tezę. ***Wprowadzenie do układu hydraulicznego stojaka obudowy zmechanizowanej funkcji doładowania ciśnienia w jego przestrzeni podtłokowej wpływa na poprawę parametrów podpornościowych sekcji obudowy dla utrzymania stateczności wyrobisk ścianowych.*** Jak wykazały przeprowadzone badania, zaproponowana funkcja doładowania zapewnia uzyskanie i utrzymanie wymaganej wartości ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka. Tym samym stojaki pracują przy wymaganej wartości siły podporności, co przekłada się bezpośrednio na poprawę parametrów podpornościowych sekcji obudowy.

Jednocześnie potwierdzone zostały przyjęte w pracy cele użyteczne i szczegółowe. ***Rozszerzenie funkcjonalności układu hydraulicznego obudowy zmechanizowanej o funkcję doładowania ciśnienia zapewniło uzyskanie i utrzymanie wymaganej wartości siły podporności stojaka. Zaproponowana w niniejszej rozprawie zmiana w układzie hydraulicznym stojaka obudowy ścianowej umożliwiła osiągnięcie wymaganej wartości ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka, niezależnie od spadków ciśnienia w magistrali zasilającej oraz możliwych nieszczelności wewnętrznych.*** Zrealizowany został również przyjęty cel naukowy. ***Przeprowadzone badania pozwoliły określić prawidłowości zjawisk występujące w układzie hydraulicznym stojaka obudowy zmechanizowanej dla stabilizacji siły podporności.***

Realizacja powyższych badań pozwoliła sformułować następujące wnioski końcowe:

- 1) Na etapie tworzenia nowego prototypu, modelowanie matematyczne oraz badania symulacyjne pozwalają określić wymagane parametry jego pracy. Opracowany model matematyczny oraz przeprowadzone badania symulacyjne umożliwiły szybką weryfikację poprawności przyjętych założeń konstrukcyjnych. Badania wykazały, że proponowana funkcja doładowania ciśnienia spełnia przyjęte założenia.
- 2) Z przeprowadzonych badań stanowiskowych wynika, że dla uzyskania optymalnych parametrów pracy prototypowego bloku z funkcją doładowania, w magistrali zasilającej powinno być zapewnione ciśnienie o wartości minimum 25 MPa. Podczas badań stanowiskowych nie stwierdzono żadnych problemów w realizacji funkcji doładowania. Zastosowanie prototypu z funkcją doładowania w układzie hydraulicznym stojaka umożliwiło uzyskanie i utrzymanie wymaganej wartości ciśnienia w jego przestrzeni podtłokowej, pomimo wahań ciśnienia

w magistrali zasilającej. Próby stanowiskowe wykazały, że opracowany prototyp osiągnął wymagane parametry pracy, co pozwoliło przejść do badań w warunkach rzeczywistych.

- 3) Przeprowadzone badania w ścianie wydobywczej zweryfikowały przydatność proponowanego rozwiązania w warunkach rzeczywistych. Analiza uzyskanych wyników badań wykazała, że wprowadzenie funkcji doładowania do układu hydraulicznego stojaka umożliwiło jego rozparcie do wymaganej wartości siły podporności wstępnej, nawet gdy operacja rozpierania została wcześniej przerwana przez operatora. Pomimo występującej w stojaku nieszczelności wewnętrznej, ciśnienie w jego przestrzeni podtłokowej utrzymywało się na wymaganym poziomie. Wszystkie zarejestrowane straty ciśnienia uzupełniane były przez układ doładowania. Tym samym można stwierdzić, że prototyp w warunkach rzeczywistych spełnił swoją funkcjonalność, minimalizując skutki nieszczelności wewnętrznej oraz zapewniając uzyskanie i utrzymanie wymaganej siły podporności. Należy jednak mieć na uwadze, że tego typu rozwiązanie może tylko tymczasowo przeciwdziałać problemowi nieszczelności wewnętrznej. Niesprawny stojak powinien zostać wymieniony, gdyż zaniechanie tego może doprowadzić do rozwoju nieszczelności zewnętrznej, a w konsekwencji skutkować całkowitą utratą podporności.
- 4) Analiza uzyskanych wyników badań symulacyjnych, stanowiskowych oraz badań w warunkach rzeczywistych potwierdziła przyjęte założenia funkcji doładowania. Proponowane rozwiązanie umożliwia uzyskanie i utrzymanie wymaganej wartości ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka. Przekłada się to na prawidłową pracę sekcji obudowy zmechanizowanej, przy założonej sile podporności. Zastosowanie prototypu z funkcją doładowania zminimalizowało wpływ czynnika ludzkiego podczas rozpierania sekcji oraz problem spadków ciśnienia w magistrali zasilającej. Uzyskane wyniki badań potwierdziły poprawność zaproponowanych zmian dla wprowadzenia funkcji doładowania do układu hydraulicznego stojaka zmechanizowanej obudowy ścianowej. Ma to znaczenie dla poprawy bezpieczeństwa w ścianie wydobywczej i zwiększenia efektywności eksploatacji.

12. Podsumowanie

W niniejszej rozprawie przedstawiono propozycję zastosowania funkcji doładowania ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej. Opracowanie funkcji doładowania w układzie podpórnościowym stojaka poprzedzone było analizą problemów eksploatacyjnych obudowy zmechanizowanej w warunkach ściany wydobywczej. W tym zakresie przeprowadzone zostały badania ankietowe wśród górników pracujących na co dzień z obudową zmechanizowaną. Ponadto dokonano oceny skali zagrożenia tąpnięciami w polskim górnictwie węgla kamiennego. Zagrożenie to ma największy wpływ na eksploatację obudowy zmechanizowanej. Z przeprowadzonej analizy wynika, że ponad 50% ścian eksploatowanych jest w warunkach zagrożenia tąpnięciami. Skala tego zagrożenia rośnie, a w kopalniach obserwuje się coraz więcej wstrząsów o znacznych energiach. W związku z tym coraz większe wymagania stawia się obudowie zmechanizowanej, która odpowiada za bezpieczeństwo w eksploatowanej ścianie. Górnicy, którzy wzięli udział w badaniach ankietowych, zwrócili uwagę na pogarszające się warunki eksploatacji. Dostrzegają oni potrzebę rozwoju i optymalizacji obudowy zmechanizowanej w celu zwiększenia bezpieczeństwa w ścianie wydobywczej.

Jednym z kierunków poprawy bezpieczeństwa w ścianie wydobywczej jest zapewnienie wymaganej siły podpórności obudowy zmechanizowanej. Powyższe stało się celem niniejszej rozprawy doktorskiej. Dla osiągnięcia założonego celu zaproponowano funkcję doładowania ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej. W tym zakresie opracowano model matematyczny stojaka hydraulicznego dla prowadzenia badań symulacyjnych jego pracy, a w szczególności operacji rozpierania. Model ten zweryfikowano z wynikami badań stanowiskowych. Następnie rozbudowano go o proponowaną funkcję doładowania ciśnienia. W oparciu o badania symulacyjne powstał prototypowy blok zaworowy z funkcją doładowania.

Opracowany i przygotowany prototyp został poddany próbom stanowiskowym. Na potrzeby badań zaprojektowano i wykonano stanowisko badawcze. Do badań wykorzystano specjalistyczne urządzenie pomiarowe, które rejestrowało zmiany ciśnienia w analizowanym układzie hydraulicznym z częstością próbkowania wynoszącą 0,1 ms. Próby stanowiskowe przeprowadzono na stojaku hydraulicznym, w którym w pierwszym etapie badań wywołano nieszczelność. Umożliwiło to weryfikację doładowania po spadkach ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka. Następnie, regulując ciśnienie zasilania, sprawdzono działanie doładowania w procesie rozpierania stojaka. Badania wykazały, że przygotowany prototypowy blok pracuje poprawnie. Spełnił on przyjęte założenia funkcji doładowania. Po każdym spadku ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka, prototypowy blok automatycznie realizował doładowanie. Ponadto zastosowanie prototypu umożliwiło rozparcie stojaka

do uzyskania wymaganej wartości ciśnienia pod jego tłokiem. Uzyskane wyniki badań stanowiskowych pozwoliły na rozpoczęcie badań w warunkach rzeczywistych.

Badania in-situ przeprowadzono w ścianie wydobywczej. Do badań wybrano stojak hydrauliczny obudowy zmechanizowanej, który wykazywał nieszczelność wewnętrzną. Pomiar ciśnienia realizowano za pomocą specjalnych bezprzewodowych czujników. Częstotliwość pomiarów wynosiła 0,01 s. Badania potwierdziły poprawną pracę prototypowego bloku. Wprowadzenie funkcji doładowania do układu hydraulicznego stojaka umożliwiło utrzymanie wymaganej wartości ciśnienia w jego przestrzeni podtłokowej, pomimo występującej nieszczelności. Dzięki temu stojak obudowy zmechanizowanej podczas pracy osiągał wymaganą siłę podporności. Zastosowanie w prototypie dodatkowego zaworu zwrotnego zabezpieczyło zarówno przestrzeń nadtłokową, jak i podtłokową stojaka przed utratą cieczy. W zarejestrowanych przypadkach spadków ciśnienia pod tłokiem stojaka, prototypowy blok każdorazowo realizował doładowanie. Ponadto umożliwił on rozparcie stojaka do wymaganej wartości siły podporności wstępnej, pomimo przerwania tej operacji przez operatora.

Wyniki z przeprowadzonych badań symulacyjnych, stanowiskowych oraz badań in-situ dowiodły słuszności postawionej tezy. Analiza uzyskanych rezultatów badań wykazała, że proponowana funkcja doładowania ciśnienia spełnia przyjęte założenia. Wprowadzenie funkcji doładowania do układu podpornościowego stojaka zmechanizowanej obudowy ścianowej umożliwia uzyskanie i utrzymanie wymaganego ciśnienia w jego przestrzeni podtłokowej. Tym samym zapewniona zostaje wymagana siła podporności stojaka hydraulicznego, co przekłada się na poprawę parametrów podpornościowych sekcji obudowy zmechanizowanej. Ma to znaczenie dla poprawy bezpieczeństwa w ścianie wydobywczej, zachowania ciągłości eksploatacji i zwiększenia efektywności wydobywania. Wyniki wykonanych badań potwierdzają poprawność zaproponowanych zmian. Wprowadzenie proponowanej funkcji doładowania do układu hydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej wpływa na stabilizację siły podporności.

13. Kierunki dalszych badań nad możliwością wdrożenia docelowego rozwiązania

Uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań symulacyjnych, stanowiskowych oraz badań w warunkach rzeczywistych dostarczyły informacji poznawczych na temat zjawisk zachodzących w układzie hydraulicznym stojaka zmechanizowanej obudowy ścianowej. Przyjęte założenia dla opracowania funkcji doładowania w układzie hydraulicznym stojaka, mające na celu zapewnienie wymaganej podporności, zostały potwierdzone powyższymi badaniami. Przygotowany prototyp w postaci bloku zaworowego potwierdził swoją funkcjonalność w badaniach stanowiskowych oraz in-situ.

W celu przyjęcia i wprowadzenia ostatecznego rozwiązania proponuje się opracowanie docelowego układu hydraulicznego z funkcją doładowania dla sekcji obudowy zmechanizowanej produkowanych i modernizowanych przez Zakład Remontowo-Produkcyjny Polskiej Grupy Górniczej S.A. Aby powyższe było spełnione należałoby podjąć następujące kroki:

- 1) Opracowanie modelu i przeprowadzenie badań symulacyjnych w zakresie rozkładu podporności obudowy zmechanizowanej wzdłuż długości ściany dla określenia warunków podparcia stropu wyrobiska ścianowego przy zastosowaniu układu hydraulicznego z funkcją doładowania.
- 2) Przygotowanie docelowego układu hydraulicznego stojaka dla typów sekcji obudowy zmechanizowanej produkowanych i modernizowanych w Zakładzie Remontowo-Produkcyjnym Polskiej Grupy Górniczej S.A.
- 3) Wdrożenie pierwszego kompleksu ścianowego z obudową zmechanizowaną wyposażoną w układ hydrauliczny z funkcją doładowania.
- 4) Opracowanie statystyczne w zakresie uzyskania i utrzymania podporności przez sekcje obudowy zmechanizowanej przy zastosowaniu funkcji doładowania.
- 5) Wprowadzenie do standaryzacji przedmiotowego układu dla wszystkich sekcji produkowanych przez Zakład Remontowo-Produkcyjny na potrzeby kopalń Polskiej Grupy Górniczej S.A.

Literatura

1. Atkinson K., Han W., Stewart D.E. (2009): *Numerical Solution of Ordinary Differential Equations*. Wiley Series in Pure and Applied Mathematics.
2. Babyr N., Babyr K., (2021): *To improve the contact adaptability of mechanical roof support*. E3S Web Conference, 266, 03015.
3. Bajda M., Błażej R., Hardygóra M. (2018): *Optimizing splice geometry in multiply conveyor belts with respect to stress in adhesive bonds*. Mining Science, 25, s. 195–206.
4. Bajda M., Hardygóra M. (2021): *Analysis of Reasons for Reduced Strength of Multiply Conveyor Belt Splices*. Energies, 14, 1512.
5. Bardzinski P., Jurdziak L., Kawalec W., Król R. (2020): *Copper ore quality tracking in a belt conveyor system using simulation tools*. Natural Resources Research, 29(2), 1031-1040.
6. Biliński A. (2005): *Metoda doboru obudowy ścianowych wyrobisk wybierkowych i chodnikowych do warunków pola eksploatacyjnego*. Wydawnictwo CMG KOMAG, Gliwice.
7. Borska B., Szurgacz D., Gil J. (2023): *Development of a charging system ensuring the load-carrying capacity for powered roof support*. Mining Informatics Automation and Electrical Engineering, 551, 3/2022.
8. Borska B. (2023): *Exploitation of powered roof support in variable mining and geological conditions*. IOP Conference Series: Earth Environmental Science, 1189, 012003.
9. Borska B. (2023): *Impact of Natural Hazards on the Operation of Powered Roof Support in Polish Hard Coal Mines*. IOP Conference Series: Earth Environmental Science, 1189, 012001.
10. Borska B., Szurgacz D., Pokorný J., Zhironkin S., Zhironkina O. (2023): *Human Factors in the Development of the Hydraulic System of the Powered Roof Support*. Acta Montanistica Slovaca, Volume 28 (1), s. 27-37.
11. Borska B., Szurgacz D. (2023): *Badania nad rozwojem układu hydraulicznego zapewniającego dolaadowanie podpórności stojaka zmechanizowanej obudowy ścianowej*. Napędy i Sterowanie, 10/2023.
12. Bortnowski P., Gładysiewicz L., Król R., Ozdoba M. (2021): *Energy Efficiency Analysis of Copper Ore Ball Mill Drive Systems*. Energies, 14, 1786.
13. Buyalich G., Byakov M., Buyalich K., Shtenin E. (2019): *Development of Powered Support Hydraulic Legs with Improved Performance*. E3S Web Conference, 105, 3025.
14. Buyalich G., Buyalich K., Byakov M. (2017): *Factors Determining the Size of Sealing Clearance in Hydraulic Legs of Powered Supports*. E3S Web Conference, 21, 3018.
15. Domagała Z. (2009): *Modelowanie i symulacja zjawisk zachodzących w zmechanizowanej obudowie ścianowej*. Maszyny Górnicze, 27, 4, s. 25-30.
16. Domagała Z., Kędzia K. (2017): *Analysis, modelling and verification of the phenomena occurring in a hydraulic prop during dynamic load*. Technical Transactions, 114, s. 139–153.
17. Doległo L. (2012): *Analityczna metoda wyznaczania przeciążeń zmechanizowanej obudowy ścianowej powstałych w wyniku wstrząsów górotworu*. Rozprawa doktorska (niepublikowana), Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
18. Doległo L., Stoiński K., Gil J. (2009): *Analityczna ocena wydajności objętościowej układu hydraulicznego stojaka zmechanizowanej obudowy ścianowej*. Maszyny Górnicze, 27, 4, s. 9-18.
19. Doroszuk B., Król R. (2019): *Analysis of conveyor belt wear caused by material acceleration in transfer stations*. Mining Science, 26, s. 189–201.
20. Gabov V.V., Babyr N.V., Zadkov D.A. (2021): *Mathematical modelling of operation of the hydraulic support system of the powered support sections with impulse-free continuous regulation of its resistance to the roof rock lowering*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1064, 012045.

21. Gabov V.V., Zadkov D.A., Babyr N.V., Xie F. (2021): *Nonimpact rock pressure regulation with energy recovery into the hydraulic system of the longwall powered support*. Eurasian Mining, 36, s. 55-59.
22. Gil J. (2014): *Analiza przepływów w układach ograniczających ciśnienie przestrzeni roboczej stojaka hydraulicznego w zmechanizowanej obudowie ścianowej*. Rozprawa doktorska (niepublikowana), Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.
23. Gil J., Kołodziej M., Szurgacz D., Stoiński K. (2019): *Introduction of standardization of powered roof supports to increase production efficiency of Polska Grupa Górnicza, S.A.* Mining Informatics Automation and Electrical Engineering, 56, 33–38.
24. Gil J., Stoiński K. (2019): *Perspektywy zmechanizowanych obudów ścianowych w świetle doświadczeń własnych ZRP Bieruń PGG SA*. Napędy i Sterowanie nr 7/8, s. 95–99.
25. Gładysiewicz L. (2003): *Teoria i obliczenia przenośników taśmowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
26. Gładysiewicz L., Król R., Kisielewski W., Kaszuba D. (2017): *Experimental determination of belt conveyors artificial friction coefficient*. Acta Montanistica Slovaca, 22(2), s. 206-214.
27. Główny Instytut Górnictwa (2023): *Raport Roczny (2022) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego*. Praca zbiorowa pod kierunkiem Janusza Makówki, Wyd. GIG, Katowice.
28. Góralczyk M., Krot P., Zimroz R., Ogonowski S. (2020): *Increasing Energy Efficiency and Productivity of the Comminution Process in Tumbling Mills by Indirect Measurements of Internal Dynamics—An Overview*. Energies, 13, 6735.
29. Gribble P. (2019): *Integrating ODEs & Simulating Dynamical Systems*. Scientific Computing, dostęp online: <https://gribblelab.org> (dostęp 12.10.2023).
30. Grzesiek A., Zimroz R., Śliwiński P., Gomolla N., Wyłomańska A. (2021): *A Method for Structure Breaking Point Detection in Engine Oil Pressure Data*. Energies, 14, 5496.
31. Gwiazda J.B. (1997): *Górnicza obudowa hydrauliczna odporna na tąpnięcia*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice.
32. Hardygóra M. (1990): *Podstawy racjonalnego doboru parametrów taśm przenośnikowych z uwzględnieniem warunków eksploatacyjnych górniczych przenośników taśmowych*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
33. Hebda-Sobkowicz J., Gola S., Zimroz R., Wyłomańska A. (2019): *Identification and Statistical Analysis of Impulse-Like Patterns of Carbon Monoxide Variation in Deep Underground Mines Associated with the Blasting Procedure*. Sensors, 19, 2757.
34. He T., Yu C., Wu X., Deng H. (2016): *Modeling and Analysis of Single Hydraulic Props in Coal Mines*. Key Engineering Materials, 693, s. 364–372.
35. Horst R., Zdziebko J. (2023): *Maszyny i urządzenia w procesach produkcyjnych Polskiej Grupy Górniczej S.A. Wybrane zagadnienia. VIII Międzynarodowa Konferencja Mechanizacja, Automatyzacja i Robotyzacja w Górnictwie MARG, 14-16.06.2023, Wisła, Polska*.
36. Idziak A. (2000). *Zjawiska sejsmiczne w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym i ich charakterystyka*. W: A. T. Jankowski, U. Myga-Piątek, S. Ostaficzuk (red.), "Środowisko przyrodnicze regionu górnośląskiego - stan poznania, zagrożenia i ochrona : konferencja naukowa, Sosnowiec - Tarnowskie Góry, 19-20 października 2000r." (S. 21-27). Sosnowiec : Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
37. Irresberger H., Grawe F., Migenda P. (2003): *Zmechanizowane obudowy ścianowe (podręcznik dla praktyków)*. Wydawnictwo Tiefenbach Polska Sp. z o.o., Piekary Śląskie 2003.
38. Janus J., Krawczyk J. (2021): *Measurement and Simulation of Flow in a Section of a Mine Gallery*. Energies, 14, 4894.
39. Jaszczuk M. (2004): *Problematyka bezpiecznego użytkowania sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
40. Jaszczuk M. (2007): *Ścianowe systemy zmechanizowane*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice.

41. Juganda A., Strebinger C., Brune J.F., Bogin G.E. (2020): *Discrete modeling of a longwall coal mine gob for CFD simulation*. International Journal of Mining Science and Technology, 30, 463–469.
42. Kasprusz A. (2007): *Optymalizacja konstrukcji hydrauliki sterującej stojaka dla warunków zagrożenia wstrząsami górotworu*. Praca doktorska (niepublikowana), Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
43. Kawalec W., Błazej R., Konieczna M., Król R. (2018): *Laboratory Tests on e-pellets effectiveness for ore tracking*. Mining Science, 25, s. 7-18.
44. Kawalec W., Suchorab N., Konieczna-Fuławka M., Król R. (2020): *Specific energy consumption of a belt conveyor system in a continuous surface mine*. Energies, 13(19).
45. Khayrutdinov M.M., Golik V.I., Aleksakhin A.V., Trushina E.V., Lazareva N.V. Aleksakhina Y.V. (2022): *Proposal of an Algorithm for Choice of a Development System for Operational and Environmental Safety in Mining*. Resources, 11, 88.
46. Kipczak P. (2011): *Badania zaworu szybkoupustowego stojaka hydraulicznego z przepływem wewnętrznym dla upodatnienia obudowy hydraulicznej*. Praca doktorska, AGH Kraków (niepublikowana).
47. Korbiel T., Blaut J. (2014): *Evaluating the effectiveness of mechanical transmission based on the assessment of energy dissipation*. Diagnostyka, 15(4), s. 15–20.
48. Korbiel T., Nowak M., Pawluś M. (2017): *Analysis of the effect of circulating pumps on the vibration of the SOLARIS synchrotron base plate*. Vibroengineering Procedia, 15, s. 30-33.
49. Korbiel T., Stępień B., Batko W., Barański R., Mleczek D., Pawlik P., Blaut J. (2017): *Recognition of the 24-hour Noise Exposure of a Human*. Archives of Acoustics, 42(4), s. 601-607.
50. Kotwica K., Stopka G., Kalita M., Bałaga D., Siegmund M. (2021): *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, 14, 2720.
51. Kotwica K., Stopka G., Prostański D. (2021): *Study and Application of Asymmetrical Disk Tools for Hard Rock Mining*. Energies, 14, 1826.
52. Krasucki K., Kudłacik T., Augustyniak K. (2021): *System monitoringu podporności RUFUS 3G służący do diagnostyki pracy zmechanizowanej obudowy ścianowej*. Mining Informatics Automation and Electrical Engineering, 2 (546).
53. Krause K. (2000): *Urabianie skał kombajnami ścianowymi*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice.
54. Krause K. (2012): *Urabianie skał strugami statycznymi. Podstawy doboru i projektowania kompleksów strugowych*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice.
55. Krauze K., Mucha K., Wydro T., Pieczora E. (2021): *Functional and Operational Requirements to Be Fulfilled by Conical Picks Regarding Their Wear Rate and Investment Costs*. Energies, 14, 3696.
56. Król R., Kisielewski W. (2014): *Research of loading carrying idlers used in belt conveyor-practical applications*. Diagnostyka, 15(1), s. 67-74.
57. Kwaśniewski J., Roskosz M., Witoś M., Molski S. (2018): *Applications of magnetometric sensors based on amorphous materials in diagnostics of wire ropes*. Archives of Mining Sciences 63(1).
58. Markowicz J., Rajwa S., Szweda S. (2016): *Experimental tests of parameters characterizing the cooperation of powered roof support base and floor of low bearing capacity*. Archives of Mining Sciences, Vol. 61, Issue 4, s. 937–948.
59. Musioł M., Szweda S. (2014): *Wpływ modyfikacji konstrukcyjnej tłoka stojaka hydraulicznego na jego podatność*. Maszyny Górnicze, 32, 4, s. 3-10.
60. Oravec M., Lipovský P., Šmelko M., Adamčík P., Witoś M., Kwaśniewski J. (2021): *Low-Frequency Magnetic Fields in Diagnostics of Low-Speed Electrical and Mechanical Systems*. Sustainability, 13, 9197.
61. Patyk M., Bodziony P., Krysa Z. (2021): *A Multiple Criteria Decision Making Method to Weight the Sustainability Criteria of Equipment Selection for Surface Mining*. Energies, 14, 3066.

62. Patyńska R., Stec K. (2017): *Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego a zagrożenie tąpniętami w latach 2001-2015*. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, 97, s. 135-144.
63. Peng S. (2006): *Longwall Mining. Second Edition*. Morgantown, West Virginia, University Press.
64. Peng S.S., Feng D., Cheng J., Yang L. (2019): *Automation in U.S. longwall coal mining: A state-of-the-art review*. International Journal of Mining Science and Technology, 29(2), s. 151-159.
65. Płonka M. (2004): *Metoda doboru zmechanizowanych obudów ścianowych z wykorzystaniem trójwymiarowego modelu górotworu odprężonego*. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, nr 859, Katowice.
66. PN-EN 1804-1:2021-05 – Maszyny dla górnictwa podziemnego. Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej. Część 1: Sekcje obudowy i wymagania ogólne.
67. PN-EN 1804-2:2021-05 – Maszyny dla górnictwa podziemnego. Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej. Część 2: Stojaki i pozostałe siłowniki.
68. PN-EN 1804-3:2021-06 – Maszyny dla górnictwa podziemnego. Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej. Część 3: Hydrauliczne i elektrohydrauliczne układy sterowania.
69. Pola-Micewicz M. (2013): *Badanie zmechanizowanych obudów górniczych ze względu na trwałość zmęczeniową*. Rozprawa doktorska (niepublikowana), Politechnika Opolska, Opole.
70. Prostański D. (2017): *Empirical Models of Zones Protecting Against Coal Dust Explosion*. Archives of Mining Sciences, 62(3), s. 611-619.
71. Prusek S. (2016): *Stateczność wyrobisk ścianowych podczas eksploatacji pokładów węgla kamiennego z zawalem skał stropowych*. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice.
72. Prusek S. (2014): *Czynniki wpływające na powstawanie obwałów skał w ścianach prowadzonych z zawalem skał stropowych*. Przegląd Górniczy, nr 3, s. 71–78.
73. Rajwa S. (2017): *Główne przyczyny utraty stateczności wyrobiska ścianowego*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 3, s. 3–12.
74. Rajwa S., Janoszek T., Prusek S. (2019): *Influence of canopy ratio of powered roof support on longwall working stability—A case study*. International Journal of Mining Science and Technology, 29, s. 591–598.
75. Rajwa S., Janoszek T., Prusek S. (2020): *Model tests of the effect of active roof support on the working stability of a longwall*. Computers and Geotechnics, 118, 103302.
76. Rajwa S., Lubosik Z., Płonka M. (2019): *Bezpieczeństwo eksploatacji ścian zawalowych w świetle danych z systemów monitoringu*. Maszyny Górnicze, 4, s. 24–34.
77. Rajwa S., Masny W., Wrana A. (2017): *Kompleksowa metoda doboru obudowy zmechanizowanej w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu*. Wiadomości Górnicze, nr 1, s. 2–7.
78. Ralston J.C., Hargrave C.O., Dunn M.T. (2017): *Longwall automation: trends, challenges and opportunities*. International Journal of Mining Science and Technology, 27(5), s. 733-739.
79. Ralston J.C., Reid D.C., Dunn M.T., Hainsworth D.W. (2015): *Longwall automation: Delivering enabling technology to achieve safer and more productive underground mining*. International Journal of Mining Science and Technology, 25(6), s. 865-876.
80. Ren H., Zhang D., Gong S., Zhou K., Xi C., He M., Li T. (2021): *Dynamic impact experiment and response characteristics analysis for 1:2 reduced-scale model of hydraulic support*. International Journal of Mining Science and Technology, 31, s. 347–356.
81. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 stycznia 2013 r. w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych. Dz.U. 2013 poz. 230.
82. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U.

- 2017, poz. 1118).
83. Rudzki P., Krot P. (2021): *Dynamics control of powered hydraulic roof supports in the underground longwall mining complex*. IOP Conference Series: Earth Environmental Science, 942 012014.
 84. Smoliński A., Malashkevych D., Petlovanyi M., Rysbekov K., Lozynski V., Sai K. (2022): *Research into Impact of Leaving Waste Rocks in the Mined-Out Space on the Geomechanical State of the Rock Mass Surrounding the Longwall Face*. Energies, 15, 9522.
 85. Smużyński J. (1993): *Obudowy zmechanizowane*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice.
 86. Stec K. (2002): *Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Prace Naukowe GiG, 2/2002.
 87. Stec K. (2007): *Skala zagrożenia sejsmicznego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*. Prace Naukowe GiG, 3/2007.
 88. Stoiński K. (1990): *Metoda badań stojaków hydraulicznych udarem masy*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo, z. 175, Gliwice.
 89. Stoiński K. (1985): *Metody wyznaczania obciążeń dynamicznych stojaków hydraulicznych oraz obudów ścianowych*. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice.
 90. Stoiński K. (2000): *Obudowy górnicze w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
 91. Stoiński K. (2006): *Praktyczne aspekty upodatnienia obudowy zmechanizowanej*. Napędy i Sterowanie, nr 7/8, s. 101–107.
 92. Stoiński K. (1988): *Wybrane problemy współpracy obudowy wyrobisk górniczych z górotworem w warunkach obciążenia dynamicznych – tupań*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo, z. 171, Gliwice.
 93. Stoiński K. (2018): *Zmechanizowane obudowy ścianowe do warunków zagrożenia wstrząsami górotworu*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
 94. Stoiński K., Mika M. (2003): *Dynamics of Hydraulic Leg of Powered Longwall Support*. Journal of Mining Science, 39, 72–77.
 95. Stoiński K., Szurgacz D. (2017): *Analiza przypadku zaistniałych wstrząsów w trakcie eksploatacji ściany w aspekcie pracy obudowy ścianowej*. Przegląd Górniczy, nr 7, s. 8–17.
 96. Szurgacz D. (2017): *Bezpieczeństwo eksploatacyjne zmechanizowanej obudowy ścianowej w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu*. Wiadomości Górnicze, nr 1, s. 13–21.
 97. Szurgacz D. (2017): *Budowa uniwersalnego stanowiska do badań elementów hydrauliki sterowniczej maszyn górniczych*. Napędy i Sterowanie, nr 7/8, s. 110–116.
 98. Szurgacz D. (2015): *Electrohydraulic control systems for powered roof supports in hazardous conditions of mining tremors*. Journal of Sustainable Mining, Vol. 14, Issue 4, s. 157–163.
 99. Szurgacz D. (2011): *Zjawiska dynamiczne w obudowie zmechanizowanej spowodowane wstrząsami górotworu*. Wiadomości Górnicze, nr 10, s. 561–567.
 100. Szurgacz D. (2021): *Dynamic Analysis for the Hydraulic Leg Power of a Powered Roof Support*. Energies, 14, 5715.
 101. Szurgacz D. (2013): *Zmodyfikowana metoda doboru zmechanizowanej obudowy ścianowej do pracy w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu*. Rozprawa doktorska (niepublikowana), Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
 102. Szurgacz D. (2019): *Zmechanizowana obudowa ścianowa w zmiennych warunkach górniczo-geologicznych*. Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
 103. Szurgacz D. (2023): *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, 11, 194.
 104. Szurgacz D. (2022): *Analysis of the Pressure Increase in the Hydraulic Cylinder of the Longwall Powered Roof Support during Use*. Applied Sciences, 12, 8806.

105. Szurgacz D., Borska B., Pospíšil L., Dlouhá D., Pokorný J., Zhironkin S. (2023): *The Process of Developing Model Research for the Technology of Obtaining Energy Resources*. Processes, 11, 2320.
106. Szurgacz D., Borska B., Diederichs R., Spearing A.J.S., Zhironkin S. (2023): *Minimizing Internal Leaks of a Powered Roof Support's Hydraulic Prop Based on Double Block with Charging*. Energies, 16, 1341.
107. Szurgacz D., Borska B., Diederichs R. (2023): *Wstępne badania stanowiskowe nad rozwojem podwójnego bloku z funkcją doładowania dla układu hydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej*. Napędy i Sterowanie, 7/8, 279/280.
108. Szurgacz D., Borska B., Zhironkin S., Diederichs R., Spearing, A.J.S. (2023): *Optimization of the Load Capacity System of Powered Roof Support: A Review*. Energies, 15, 6061.
109. Szurgacz D., Borska B., Diederichs R., Zhironkin S. (2023): *Development of a Hydraulic System for the Automatic Expansion of Powered Roof Support*. Energies, 15, 680.
110. Szurgacz D., Więcek P. (2019): *Realizacja upodatnienia zmechanizowanej obudowy ścianowej*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 6 (298), s. 10–15.
111. Szurgacz, D., Więcek P., Borska, B. (2023): *Analiza zachowania podporności zmechanizowanej obudowy ścianowej w oparciu o badania rzeczywiste*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 10/2022.
112. Szurgacz D., Więcek P., Brodny J. (2020): *Badanie szczelności wewnętrznej stojaka zmechanizowanej obudowy ścianowej*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 8 (312), s. 10–15.
113. Szurgacz D., Zhironkin S., Cehlár M., Vöth S., Spearing S., Liqiang M. (2021): *A Step-by-Step Procedure for Tests and Assessment of the Automatic Operation of a Powered Roof Support*. Energies, 14, 697.
114. Szurgacz D. (2023): *Research of the Performance of a Hydraulic Actuator Based on an Acoustic Power Analysis*. Processes, 11, 3047.
115. Szweda S. (2004): *Identyfikacja parametrów charakteryzujących obciążenie sekcji obudowy zmechanizowanej spowodowane dynamicznym oddziaływaniem górotworu*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, nr 1648, Gliwice.
116. Świątek J., Janoszek T., Cichy T., Stoiński K. (2021): *Computational Fluid Dynamics Simulations for Investigation of the Damage Causes in Safety Elements of Powered Roof Supports—A Case Study*. Energies, 14, 1027.
117. Świątek J., Szurgacz D. (2020): *The identification of the damage causes of the hydraulic control system components in powered roof support by means of tests and calculations*. AIP Conference Proceedings 2209, 020003.
118. Turek M. (2010): *Podstawy podziemnej eksploatacji pokładów węgla kamiennego*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
119. Wajs J., Trybała P., Górniak-Zimroz J., Krupa-Kurzynowska J., Kasza D. (2021): *Modern Solution for Fast and Accurate Inventorization of Open-Pit Mines by the Active Remote Sensing Technique—Case Study of Mikoszków Granite Mine (Lower Silesia, SW Poland)*. Energies, 14, 6853.
120. Witoś M. (2011): *Zwiększenie żywotności silników turbinowych poprzez aktywne diagnozowanie i sterowanie*. Prace Naukowe ITWL, zeszyt 29, s. 1-324.
121. Wodecki J., Góralczyk M., Krot P., Ziętek B., Szrek J., Worsa-Kozak M., Zimroz R., Śliwiński P., Czajkowski A. (2020): *Process Monitoring in Heavy Duty Drilling Rigs—Data Acquisition System and Cycle Identification Algorithms*. Energies, 13, 6748.
122. Wodecki J., Hebda-Sobkowicz J., Mirek A., Zimroz R., Wyłomańska A. (2019): *Combination of principal component analysis and time-frequency representation for P-wave arrival detection*. Shock and Vibration, Article ID 5961073.
123. Woźniak D., Hardygóra M. (2020): *Method for laboratory testing rubber penetration of steel cords in conveyor belts*. Mining Science, 27, 105–117.
124. Wyciszczok S. (2011): *Maszyny i urządzenia górnicze. Podręcznik dla zawodu technik górnictwa podziemnego, część pierwsza*. Wydawnictwo REA, Warszawa.

125. Wyższy Urząd Górniczy (2017): *Ocena stanu bezpieczeństwa pracy, ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego w związku z działalnością górnictwo-geologiczną w 2016 roku (porównanie od roku 2012)*. WUG, Katowice, s. 15-23.
126. Wyższy Urząd Górniczy (2022): *Ocena stanu bezpieczeństwa pracy, ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego w związku z działalnością górnictwo-geologiczną w 2021 roku (porównanie od roku 2017)*. WUG, Katowice, s. 20-32.
127. Xiaozhen W., Jialin X., Weibing Z., Yingchun Li. (2012): *Roof pre-blasting to prevent support crushing and water inrush accidents*. International Journal of Mining Science and Technology, 22(3), 379-384.
128. Zeng Q., Xu P., Meng Z., Ma C., Lei X. (2023): *Posture and Dynamics Analysis of Hydraulic Support with Joint Clearance under Impact Load*. Machines, 11, 159.
129. Zhang Y., Zhang H., Gao K., Zeng Q., Meng F., Cheng J. (2023): *Research on Intelligent Control System of Hydraulic Support Based on Position and Posture Detection*. Machines, 11, 33.
130. Ziętek B., Banasiewicz A., Zimroz R., Szrek J., Gola S. (2020): *A Portable Environmental Data-Monitoring System for Air Hazard Evaluation in Deep Underground Mines*. Energies, 13, 6331.
131. Zimroz P., Trybała P., Wróblewski A., Góralczyk M., Szrek J., Wójcik A., Zimroz R. (2021): *Application of UAV in Search and Rescue Actions in Underground Mine —A Specific Sound Detection in Noisy Acoustic Signal*. Energies, 14, 3725.

Spis rysunków

Rys. 2.1. Zestawienie kopalń należących do Polskiej Grupy Górniczej S.A.	12
Rys. 3.1. Liczba wstrząsów o energii powyżej $1,0 \times 10^5$ J w polskich kopalniach węgla kamiennego na tle wydobywania w latach 2013-2022.....	15
Rys. 3.2. Liczba tąpnięć w polskich kopalniach węgla kamiennego na tle ilości zarejestrowanych wstrząsów wysokoenergetycznych (o energii powyżej $1,0 \times 10^5$ J) w latach 2013-2022.....	17
Rys. 3.3. Liczba tąpnięć oraz liczba wstrząsów o energii powyżej $1,0 \times 10^5$ J w polskim górnictwie węgla kamiennego w latach 1977-2022.....	18
Rys. 3.4. Wydobywanie węgla kamiennego w Polsce z pokładów zagrożonych tąpnięciami na tle wydobywania ogółem w latach 2001-2022	19
Rys. 3.5. Liczba wstrząsów o energii powyżej 10^6 J zarejestrowanych w Polskiej Grupie Górniczej S.A. w okresie od 20.08.2021r. do 20.08.2022r.	20
Rys. 4.1. Widok zmechanizowanego kompleksu ścianowego	25
Rys. 4.2. Widok ściany wydobywczej.....	26
Rys. 4.3. Zmechanizowana obudowa ścianowa	27
Rys. 4.4. Schemat systemu sterowania sekcją wraz z układem zabezpieczającym	28
Rys. 4.5. Cykl pracy sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej	29
Rys. 4.6. Konstrukcja układu funkcji sterujących wykonywanych przez zmechanizowaną obudowę ścianową	30
Rys. 4.7. Przykładowy przebieg ciśnienia w magistrali zasilającej, zarejestrowany w czasie 1 doby.....	32
Rys. 4.8. Przykładowy przebieg ciśnienia w magistrali zasilającej, zarejestrowany w czasie 1,5 godziny	32
Rys. 4.9. Urządzenie firmy Hans Berger Meßtechnik GmbH.....	34
Rys. 4.10. Urządzenie firmy Richard Voß Grubenausbau GmbH	35
Rys. 4.11. Urządzenie typu KDS firmy KOMAG.....	37
Rys. 4.12. Urządzenie typu UDS konstrukcji J. B. Gwiazdy	38
Rys. 4.13. Zmodernizowane urządzenie typu UDS konstrukcji J. B. Gwiazdy	40
Rys. 4.14. Układ aktywnego podtrzymania ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej.....	42
Rys. 5.1. Schemat czynności realizowania pracy doktorskiej.....	47
Rys. 6.1. Układ dynamiczny – masa zawieszona na sprężynie.....	49
Rys. 6.2. Schemat blokowy dla metodologii postępowania przy opracowaniu modelu matematycznego w celu prowadzenia symulacji operacji rozpierania stojaka hydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej	51
Rys. 6.3. Model stojaka hydraulicznego do prowadzenia badań symulacyjnych	52
Rys. 6.4. Schemat operacji rozpierania stojaka obudowy zmechanizowanej	53
Rys. 6.5. Wyniki wstępnej, próbnej symulacji komputerowej dla przyjętego modelu ..	56
Rys. 6.6. Wyniki symulacji komputerowej dla zmodyfikowanego modelu.....	57
Rys. 6.7. Wyniki symulacji komputerowej ze stałą charakterystyką dopływu cieczy ...	58

Rys. 6.8. Wyniki symulacji komputerowej rozpierania stojaka dla pięciu różnych wartości natężenia dopływu cieczy.....	59
Rys. 6.9. Widok stanowiska badawczego przygotowanego na potrzeby weryfikacji modelu matematycznego	60
Rys. 6.10. Wyniki z badań stanowiskowych do weryfikacji modelu.....	60
Rys. 6.11. Weryfikacja modelu matematycznego – porównanie wyników badań symulacyjnych i stanowiskowych w zakresie przebiegów zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka podczas operacji jego rozpierania	61
Rys. 6.12. Wyniki z przeprowadzonej analizy ubytków cieczy w przestrzeni podtłokowej stojaków hydraulicznych obudowy zmechanizowanej.....	62
Rys. 6.13. Zestawienie wyników badań symulacyjnych i empirycznych dla funkcji doładowania ciśnienia w stojaku hydraulicznym	63
Rys. 6.14. Zestawienie wyników badań symulacyjnych i empirycznych dla funkcji doładowania ciśnienia w stojaku hydraulicznym	64
Rys. 6.15. Przebieg funkcji doładowania uzyskany w badaniach empirycznych	64
Rys. 6.16. Przebieg funkcji doładowania uzyskany w badaniach symulacyjnych.....	65
Rys. 7.1. Układ hydrauliczny stojaka obudowy zmechanizowanej	67
Rys. 7.2. Prototyp bloku zaworowego z funkcją doładowania ciśnienia w stojaku hydraulicznym zmechanizowanej obudowy ścianowej.....	68
Rys. 8.1. Przyjęta metodyka postępowania przy stanowiskowej ocenie poprawności pracy prototypu bloku z funkcją doładowania ciśnienia	71
Rys. 8.2. Stanowisko badawcze.....	72
Rys. 8.3. Przenośne urządzenie pomiarowe	73
Rys. 8.4. Stanowisko wraz badanym prototypem	74
Rys. 8.5. Pomiar ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka uwzględniający nieszczelność	75
Rys. 8.6. Pomiar ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka dla weryfikacji poprawności doładowania.....	75
Rys. 8.7. Pomiar ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka dla weryfikacji poprawności doładowania.....	76
Rys. 8.8. Badanie pracy prototypu z funkcją doładowania	76
Rys. 8.9. Badanie pracy prototypowego bloku z funkcją doładowania	77
Rys. 8.10. Badanie prototypowego bloku z funkcją doładowania	77
Rys. 8.11. Wyniki badań stanowiskowych pracy prototypowego bloku.....	78
Rys. 8.12. Wyniki badań stanowiskowych pracy prototypu	79
Rys. 8.13. Wyniki badań stanowiskowych pracy prototypowego bloku dla weryfikacji rozparcia stojaka	79
Rys. 8.14. Wyniki badań stanowiskowych pracy prototypowego bloku dla weryfikacji rozparcia stojaka	80
Rys. 9.1. Schemat ideowy wykorzystania uszczelnień dla zabezpieczenia stojaka hydraulicznego przed nieszczelnością zewnętrzną i wewnętrzną	83

Rys. 9.2. Analiza rozwoju nieszczelności wewnętrznej dla wybranego stojaka obudowy zmechanizowanej.....	84
Rys. 9.3. Ściana wydobywcza, w której prowadzono badania.....	85
Rys. 9.4. Charakterystyka pracy stojaka hydraulicznego z nieszczelnością wewnętrzną w warunkach rzeczywistych, wyposażonego w prototyp bloku z funkcją doładowania ciśnienia, zarejestrowana w okresie 14 dni badawczych.....	86
Rys. 9.5. Przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka dla oceny funkcji doładowania.....	86
Rys. 9.6. Przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka dla oceny funkcji doładowania ciśnienia.....	87
Rys. 9.7. Przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka dla oceny funkcji doładowania ciśnienia.....	88
Rys. 9.8. Przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka dla oceny funkcji doładowania ciśnienia.....	89
Rys. 9.9. Przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka dla oceny funkcji doładowania ciśnienia.....	89
Rys. 9.10. Przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka dla oceny funkcji doładowania ciśnienia.....	90
Rys. 9.11. Analiza podporności badanego stojaka przed doładowaniem (F_r) oraz po doładowaniu (F_{rd}).....	91
Rys. 9.12. Analiza podporności stojaka po doładowaniu w zależności od ciśnienia w magistrali zasilającej.....	92
Rys. 9.13. Funkcja doładowania ciśnienia dla pomiarów przedstawionych na rysunku 9.5.....	92
Rys. 9.14. Funkcja doładowania ciśnienia dla pomiarów przedstawionych na rysunku 9.6.....	93
Rys. 9.15. Funkcja doładowania ciśnienia dla pomiarów przedstawionych na rysunku 9.10.....	93
Rys. 9.16. Proces rozwoju nieszczelności zewnętrznej w stojaku hydraulicznym.....	94
Rys. 9.17. Analiza funkcji doładowania przy rozwijającej się nieszczelności zewnętrznej w stojaku.....	95
Rys. 9.18. Analiza funkcji doładowania przy rozwijającej się nieszczelności zewnętrznej w stojaku.....	95
Rys. 9.19. Analiza funkcji doładowania przy rozwijającej się nieszczelności zewnętrznej w stojaku.....	96
Rys. 9.20. Analiza funkcji doładowania przy rozwijającej się nieszczelności zewnętrznej w stojaku.....	97
Rys. 9.21. Analiza funkcji doładowania przy rozwijającej się nieszczelności zewnętrznej w stojaku.....	98
Rys. 9.22. Analiza funkcji doładowania przy rozwijającej się nieszczelności zewnętrznej w stojaku.....	98

Rys. 9.23. Analiza funkcji doładowania przy rozwijającej się nieszczelności zewnętrznej w stojaku.....	99
Rys. 9.24. Przebieg ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka z nieszczelnością zewnętrzną	99
Rys. 9.25. Przebieg zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego z nieszczelnością wewnętrzną podczas operacji jego rozpierania.....	100
Rys. 9.26. Przebieg zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego z nieszczelnością wewnętrzną podczas jego pracy uzyskany w badaniach rzeczywistych	101
Rys. 10.1. Pomiar ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej w trakcie wykonywanego cyklu pracy	104
Rys. 10.2. Pomiar ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej.....	104
Rys. 10.3. Przebieg ciśnienia w stojakach podczas pracy obudowy zmechanizowanej.....	105
Rys. 10.4. Proces rozpierania sekcji obudowy zmechanizowanej	105
Rys. 10.5. Przebieg wartości ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej dla prototypowego układu	107
Rys. 10.6. Przebieg wartości ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej dla wykonywanego cyklu pracy, przy zastosowaniu prototypowego układu.....	107
Rys. 10.7. Przebieg wartości ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej dla wykonywanego cyklu pracy, przy zastosowaniu prototypowego układu.....	108

Spis tabel

Tabela 3.1. Kształtowanie się ilości wstrząsów i tąpnięć na tle wydobywania w polskich kopalniach węgla kamiennego w latach 2013-2022	15
Tabela 3.2. Zdarzenia tąpnięcia w polskich kopalniach węgla kamiennego w latach 2013-2022	16
Tabela 3.3. Ilość wstrząsów o energii powyżej 10^6 J, zarejestrowanych w okresie od 20.08.2021r. do 20.08.2022r. w kopalniach Polskiej Grupy Górniczej S.A	20
Tabela 8.1. Charakterystyka techniczna stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej do badań stanowiskowych.....	73

Wykaz symboli

- A – pole powierzchni czynnej tłoka
 B – moduł sprężystości cieczy
 d – średnica robocza stojaka
 f_s – współczynnik tarcia lepkiego
 F – siła
 F_n – podporność nominalna
 F_r – podporność robocza
 F_R – podporność robocza stojaka
 F_{RD} – podporność robocza stojaka po doładowaniu
 F_{sb} – siła bezwładności
 F_{sh} – siła działająca na tłok
 F_{st} – siła tarcia
 F_w – podporność wstępna
 g – przyspieszenie ziemskie
 k – stała związana ze sztywnością sprężyny
 m – masa
 m_{tl} – masa tłoka
 p_{nom} – ciśnienie nominalne
 p_{pt} – ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego
 $p_{pt(t)}$ – ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka w czasie
 p_{rob} – ciśnienie robocze
 p_{wst} – ciśnienie wstępne
 p_z – ciśnienie zasilania
 t – czas
 t_d – czas doładowania
 Q – natężenie przepływu cieczy
 Q_c – natężenie przepływu związane ze ściśliwością cieczy
 Q_s – natężenie przepływu związane z ruchem tłoka
 x – położenie masy/tłoka
 \dot{x} – prędkość masy/tłoka
 \ddot{x} – przyspieszenie masy/tłoka
 x_{gr} – graniczne położenie tłoka (maksymalny wysuw tłoka)
 x_p – położenie początkowe tłoka
 $x(t)$ – przemieszczenie tłoka w czasie
 ΔF – wzrost podporności w wyniku doładowania ciśnienia
 \emptyset – średnica
 $\sum \Delta p$ – suma strat ciśnienia