

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

Rozprawa doktorska

**Opracowanie metody badania obudowy
zmechanizowanej w celu określenia wytycznych
dla systemu monitorującego parametry jej pracy**

mgr inż. Konrad Trzop

Promotor:

dr hab. inż. Jarosław Brodny, prof. PŚ

Politechnika Śląska

Opiekun pomocniczy:

dr hab. inż. Dawid Szurgacz

Polska Grupa Górnicza S.A

Gliwice, 2025

Składam Serdeczne podziękowania:

Panu dr hab. inż. Jarosławowi Brodnemu oraz Panu dr hab. inż. Dawidowi Szurgaczowi za ich nieoceniony wkład merytoryczny i praktyczny w badania realizowane w czasie pracy doktorskiej.

Dziękuję również Polskiej Grupie Górniczej S.A. i Centrum Hydrauliki DOH z Bytomia za umożliwienie prowadzonych badań, wsparcie techniczne oraz zgodę na wykorzystanie wyników badań w poniższej pracy.

Duże podziękowania należą się także moi najbliższym, w szczególności żonie za wsparcie podczas całej pracy.

Spis treści

Streszczenie.....	5
Abstract	8
1. Wprowadzenie	11
2. Uzasadnienie celowości podjęcia tematu pracy	18
2.1. Rola i znaczenie zmechanizowanej obudowy ścianowej w procesie produkcji węgla kamiennego	20
2.1.1. Etapy rozwoju zmechanizowanej obudowy ścianowej	21
2.1.2. Rola i znaczenie obudowy wyrobisk ścianowych	23
2.2. Sposób projektowania i doboru obudowy zmechanizowanej	28
2.3. Charakterystyka pracy i sposobu sterowania obudową zmechanizowaną	34
2.4. Podsumowanie	36
3. Cel i zakres pracy	39
4. Metodyka postępowania badawczego	42
5. Badania modelowe sekcji obudowy zmechanizowanej	46
5.1. Wyznaczanie parametrów wytrzymałościowych niezbędnych do przeprowadzenia badań modelowych elementów sekcji obudowy	47
5.2. Etapy badań modelowych sekcji obudowy zmechanizowanej	52
5.2.1. Opracowanie modelu do analizy	53
5.3. Podsumowanie badań modelowych	60
6. Badania zmian ciśnienia w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej	62
6.1. Określenie obszaru badawczego	63
6.2. Wyniki przeprowadzonych badań	65
6.3. Podsumowanie	78
7. Opracowanie systemu monitorującego parametry geometryczne zmechanizowanej obudowy ścianowej (badania stanowiskowe) - I etap	81
7.1. Budowa czujnika do pomiaru geometrii sekcji	82
7.2. Określenie parametrów geometrycznych sekcji obudowy	85
7.3. Wyniki badań stanowiskowych – I etap	90
7.4. Podsumowanie	96
8. Badania prototypowego systemu monitorującego parametry pracy obudowy zmechanizowanej w warunkach rzeczywistych – I etap	98
8.1. Badania kątów nachylenia elementów sekcji w warunkach rzeczywistych	98
8.2. Wyniki przeprowadzonych badań w warunkach rzeczywistych – I etap	102
8.3. Podsumowanie	110

9. Badania parametrów geometrycznych sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej - II etap badań stanowiskowych i w warunkach rzeczywistych.....	111
9.1. Charakterystyka metody wyznaczania kątów pochylenia elementów sekcji obudowy	112
9.2. Przebieg II etapu badań stanowiskowych i w warunkach rzeczywistych	117
9.2.1. Badania stanowiskowe - II etap	117
9.2.2. Badania w warunkach rzeczywistych – II etap	121
9.3. Podsumowanie	130
10. Metoda badania obudowy zmechanizowanej wraz z wytycznymi systemu dla monitorowania parametrów jej pracy.....	132
10.1. Metoda badania obudowy zmechanizowanej	132
10.2. Określenie wytycznych dla wdrożenia systemu monitorującego i diagnozującego parametry pracy obudowy ścianowej	135
11. Podsumowanie i wnioski końcowe oraz kierunki przyszłych badań	137
Literatura	142
Spis rysunków	152
Spis tabel	157
Wykaz symboli	158

Streszczenie

Praca podejmuje bardzo ważny i aktualny problem, jakim jest przystosowanie obudowy zmechanizowanej do praktycznego zastosowania systemu monitoringu jej pracy. Ważną częścią tego procesu jest opracowanie metody badania sekcji obudowy zmechanizowanej pod kątem określenia wytycznych dla wdrożenia takiego systemu. Każdy z przeprowadzonych etapów niniejszej pracy obejmował szereg analiz opartych o badania modelowe, stanowiskowe i w warunkach rzeczywistych.

Proponowane rozwiązania mają bowiem ograniczyć obecne trudności w eksploatacji obudowy zmechanizowanej w kompleksie ścianowym, zwłaszcza w trudnych warunkach geologiczno – górniczych. W szczególności dotyczy to kwestii ograniczenia udziału obsługi w pracy obudowy oraz poprawy jej współpracy z górotworem i pozostałymi maszynami zmechanizowanego kompleksu ścianowego.

W rozdziale drugim określono rolę i znaczenie obudowy zmechanizowanej w zakresie budowy i eksploatacji stosowanych kiedyś i dzisiaj sekcji obudowy ścianowej. Zdefiniowano warunki pracy i współpracę obudowy zmechanizowanej z górotworem oraz wynikających z tego rodzajów obciążeń, jakie mogą na nią działać. Określono warunki geologiczno - górnicze, które mają znaczący wpływ na stan pracy obudowy zmechanizowanej, zobrazowano sposób projektowania sekcji obudowy zmechanizowanej oraz jej wpływ na efektywność i bezpieczeństwo pracy całego kompleksu ścianowego.

W rozdziale trzecim zdefiniowano cel naukowy oraz użyteczny pracy. Określona została wielowymiarowość i interdyscyplinarność podjętego tematu.

Rozdział czwarty przedstawia opracowaną metodykę postępowania badawczego, która jest wynikiem realizacji prowadzonych badań z wykorzystaniem poszczególnych metod badawczych. Prezentowana metodyka prezentuje tok postępowania badawczego, kluczowego dla osiągnięcia założonych celów pracy.

W rozdziale piątym przedstawiono badania modelowe, na podstawie których dokonano analizy stanów naprężeń i odkształceń elementów obudowy zmechanizowanej. Przeprowadzone symulacje komputerowe pozwoliły określić obszar, gdzie oddziałują największe naprężenia oraz wyznaczyć miejsca, które należałoby wykluczyć podczas montażu czujników monitorujących parametry jej pracy. Efektem przeprowadzonych badań było wyznaczenie wstępnych miejsc montażu czujników przy

jednoczesnym wykluczeniu ich kolizji z podstawowymi elementami konstrukcji obudowy ścianowej.

W rozdziale szóstym opisano przebieg badań w warunkach rzeczywistych, które obejmowały pomiary wartości ciśnienia w stojakach podczas wstrząsów wysokoenergetycznych. W przeprowadzonych badaniach określono zmienne wartości ciśnienia w ścianie wydobywczej dla 63 wstrząsów wysokoenergetycznych. Zdefiniowano obszary badawcze dla potrzeb porównawczych analizowanych wstrząsów w danej strefie. Obszary badawcze zlokalizowane były na początku, środku i końcu wyrobiska ścianowego. Na podstawie tych badań określono wpływ wstrząsów w trakcie biegu ściany, sprawność systemu oraz procentowo zdefiniowano reakcje systemu na zachodzące zmiany.

Dla rozwoju układu pomiarowo - rejestrującego parametry geometryczne pracy sekcji obudowy ścianowej podjęto badania stanowiskowe, które składały się z dwóch etapów. W pierwszym etapie zainstalowano prototypy czujników na sekcji obudowy zmechanizowanej i sterowano sekcją odzwierciedlając cykl jej pracy w warunkach rzeczywistych. Potwierdzono brak kolizji tych czujników z elementami konstrukcyjnymi obudowy zmechanizowanej.

Następnie po przeprowadzonych badaniach na powierzchni kopalni opracowano stanowisko badawcze na hali technologicznej. Cykl przeprowadzonych badań zaprezentowano w rozdziale siódmym. W czasie tych badań określono komunikację czujników oraz zdefiniowano wzór obliczeniowy, na podstawie którego wyznaczono parametry nachylenia poprzecznego, podłużnego i wysokości pracy obudowy zmechanizowanej. Dodatkowo doprecyzowano miejsca montażu czujników. Tak przygotowany prototyp układu pomiarowo – rejestrującego został zabudowany na podstawowych elementach sekcji obudowy zmechanizowanej. Wykonane badania stanowiskowe umożliwiły przeprowadzenie wstępnych badań w warunkach rzeczywistych w ścianie wydobywczej.

W rozdziale ósmym opisano przebieg tych badań. Początkowo czujniki przymocowano na magnesach do trzech sekcji. Z przeprowadzonych badań określono nachylenie poprzeczne i podłużne tych sekcji oraz wysokość roboczą w czasie procesu urabiania węgla dla 18 zmian wydobywczych (6 dni). W trakcie badań doprecyzowano sposób montażu czujników i kalibracji, który wymagał wprowadzenia zmian w układzie pomiarowo – rejestrującym i konstrukcji obudowy ścianowej. W tym celu podjęto powtórne badania na stanowisku badawczym w hali technologicznej.

W rozdziale dziewiątym zaprezentowano przebieg drugiego etapu badań stanowiskowych, których celem było doprecyzowanie miejsc montażu czujników i określenie sposobu kalibracji układu. Na podstawie przeprowadzonych badań wprowadzone zostały dodatkowe elementy konstrukcyjne, przeznaczone do montażu czujników w postaci uchwytów montażowych. Wprowadzone uchwyty montażowe stanowiły integralną część konstrukcji sekcji obudowy ścianowej. Wpłynęły one na prawidłowy sposób montażu czujników jednocześnie ułatwiając ich serwisowanie oraz kalibrację w warunkach dołowych. Przystosowany układ pomiarowy i sekcje obudowy zmechanizowanej umożliwiły rozpoczęcie powtórnych badań w warunkach rzeczywistych. Badania te miały na celu potwierdzenie miejsc montażu czujników oraz kompatybilności układu z konstrukcją obudowy zmechanizowanej. Monitorowaniem objęto pięć sekcji obudowy zmechanizowanej, które komunikowały się bezprzewodowo, przekazując informacje do stanowiska wizualizacji w wyrobisku przyścianowym. Następnie za pośrednictwem infrastruktury zakładu górniczego przesyłano dane na stanowisko w dyspozytorni energomaszynowej, gdzie były archiwizowane i diagnozowane.

W czasie badań określono parametry geometryczne pracy obudowy na stanowisku badawczym i w ścianie wydobywczej. Opracowano metodę prowadzonych badań, która pozwoliła zrealizować założone cele pracy doktorskiej. Badania pozwoliły opracować wytyczne dla systemu monitorującego oraz konstrukcji sekcji obudowy ścianowej. Opracowany system monitoringu parametrów sekcji obudowy ścianowej został przygotowany do wdrożenia w branży wydobywczej. Dla wdrożenia rozwiązania opracowano dokumentację techniczno - ruchową, instrukcje obsługi i uzyskano opinie jednostki certyfikującej. W pracy wskazano kierunek prowadzenia dalszych badań w celu udoskonalenia już istniejących rozwiązań oraz opracowania nowych.

Słowa kluczowe: proces produkcji górniczej, maszyny górnicze, bezpieczeństwo pracy, systemy monitoringu, obudowa górnicza, efektywność procesu, zdalne sterowanie.

Abstract

The thesis addresses a highly important and current problem, namely, the adaptation of powered roof supports for the practical application of a system for monitoring their operation. An important part of this process is the development of a method for testing the powered roof support section to determine guidelines for implementing such a system. Each of the completed stages of this work included several analyses based on model and bench tests, as well as under real conditions.

The proposed solutions are to reduce the current difficulties in the operation of powered roof supports in the longwall complexes, especially in difficult geological and mining conditions. In particular, this concerns the issue of limiting the participation of the operator in the functioning of the supports and the improvement of their interaction with the rock mass and the other machines of the mechanised longwall complex.

The second chapter defines the role and importance of powered roof supports in the construction and operation of longwall support sections used today and in the past. The working conditions and the interaction of powered supports with the rock mass are defined, as well as the resulting types of loads that can be exerted on them. The geological and mining conditions that have a significant impact on the operational state of powered roof supports are identified. The process of designing powered roof support sections is illustrated, along with their impact on the efficiency and safety of the entire longwall complex.

The third chapter defines the scientific and practical objectives of the work. The multidimensional and interdisciplinary character of the topic is identified.

The fourth chapter presents the developed research methodology, which is the result of the research carried out using specific research methods. The presented methodology presents the course of research proceedings, which are crucial for achieving the assumed objectives of the research.

The fifth chapter presents model studies on the basis of which stress and deformation states of powered support elements were analysed. Computer simulations made it possible to identify the areas exposed to the greatest stresses and to designate locations that should be excluded when installing sensors monitoring the operational parameters of the supports. The result of the research was to determine the initial mounting locations of the sensors while simultaneously preventing collisions with basic elements of the longwall support.

The sixth chapter describes the course of tests under actual conditions, which involved measurements of leg pressure values during high-energy shocks. In the conducted studies, variable pressure values in the longwall face were determined for 63 high-energy shocks. Research areas were defined for the comparative needs of the analysed shocks in a given zone. The research areas were located at the beginning, middle and end of the wall excavation. Based on these studies, the impact of shocks during the longwall's advance, the system's efficiency, and the system's response to changes were determined in percentage terms.

For the development of the measurement and recording system for geometrical parameters of the powered roof support operation, bench testing research was undertaken, which consisted of two stages. In the first stage, sensor prototypes were installed on the powered roof support section and the section was controlled, reflecting its operating cycle under actual conditions. It was confirmed that these sensors did not collide with the structural elements of the powered roof support.

Subsequently, after tests on the mine surface, a test bench was developed in the technological hall. The cycle of the conducted research is presented in Chapter 7. During these tests, sensor communication was determined and a calculation formula was defined, on the basis of which parameters of transverse and longitudinal inclinations and the working height of the powered roof support were determined. In addition, the locations for mounting the sensors were refined. The prototype of the measuring and recording system prepared in this way was built on the basic elements of the powered roof support section. The conducted bench tests enabled preliminary tests to be carried out in actual conditions in the longwall face.

Chapter eight describes the course of these tests. Initially, the sensors were attached by magnets to three sections. The study determined the transverse and longitudinal inclination of these sections and the operating height during the coal mining process for 18 mining shifts (6 days). During the research, the method of mounting sensors and calibration was refined, which required changes in the measurement and recording system and the construction of the longwall support. For this purpose, repeated tests were carried out on the test bench in the technological hall.

The ninth chapter presents the course of the second stage of bench tests, the purpose of which was to refine the sensor mounting locations and determine the method of system calibration. On the basis of the conducted tests, additional structural elements were introduced, intended for mounting sensors in the form of mounting brackets. The

introduced mounting brackets constituted an integral part of the longwall support sections. They influenced the correct mounting of the sensors while facilitating their maintenance and calibration in underground conditions. The adapted measuring system and the powered roof support section enabled conducting repeated tests in actual conditions. These tests were aimed at confirming the sensor's mounting locations and the compatibility of the system with the powered roof support construction. The monitoring covered five sections of the powered support, which communicated wirelessly, passing information to the visualization station in the longwall excavation. Then, through the mining plant's infrastructure, data was sent to the station in the power-machine control room, where they were archived and diagnosed.

During the tests, the geometric parameters of the support operation were determined on the test bench and in the longwall face. A research method was developed that enabled the realisation of the stated objectives of the doctoral thesis. The research made it possible to develop guidelines for the monitoring system and the construction of the longwall support sections. The developed system for monitoring the parameters of the longwall support sections has been prepared for implementation in the mining industry. For the implementation of the solution, technical and operating documentation as well as operating instructions were developed and the opinions of certification bodies were obtained. The thesis indicated the direction of conducting further research in order to improve already existing solutions and develop new ones.

Keywords: mining production process, mining machinery, work safety, monitoring systems, roof supports, process efficiency, remote control.

1. Wprowadzenie

Mimo dużych i zachodzących bardzo dynamicznie zmian gospodarczych, z jakimi mamy do czynienia w ostatnich latach, w szczególności w sektorze energetycznym, węgiel w dalszym ciągu stanowi podstawowy surowiec energetyczny na świecie. Jego pozycja jest szczególnie ważna i istotna dla gospodarki naszego kraju, której system energetyczny mimo wspomnianych zmian w dalszym ciągu opiera się na tym surowcu. Należy także zaznaczyć, że węgiel jest strategicznym surowcem przy produkcji koksu oraz szeroko wykorzystywany w innych branżach, np. chemii. Transformacja energetyczna, a w szczególności strategia The European Green Deal powodują, że kraje Unii Europejskiej istotnie zmniejszają wykorzystaniem surowców konwencjonalnych szczególnie w energetyce. Alternatywą jest energetyka jądrowa oraz energia pozyskiwana z odnawialnych źródeł energii (OZE). W przypadku Polski procesy transformacyjne przebiegają zdecydowanie wolniej niż w pozostałych krajach UE, między innymi ze względu na ich ogromne koszty (ekonomiczne i społeczne), co powoduje że węgiel w dalszym ciągu stanowi podstawę krajowego mixu energetycznego. Rola i znaczenie tego surowca wynika głównie z faktu posiadania przez Polskę sporych jego zasobów, co szczególnie ze strategicznego punktu widzenia ma ogromne znaczenie. Potwierdził to konflikt w Ukrainie, który jednoznacznie wykazał, że własne zasoby surowców energetycznych są w stanie zapewnić bezpieczeństwo energetyczne, kluczowe dla rozwoju społecznego i gospodarczego. Zatem złożona sytuacja geopolityczna w świecie bardzo korzystnie wpływa na sposób postrzegania węgla, jako surowca energetycznego i do produkcji stali. Jak już bowiem wskazano, węgiel jest podstawowym surowcem do produkcji koksu, bez którego nie ma możliwości produkcji stali. Z tego też względu węgiel koksujący uznawany jest w Unii Europejskiej jako surowiec strategiczny [17, 58]. Wykorzystanie węgla w gospodarce jest znacznie szersze, dotyczy bowiem także przemysłu chemicznego, farmaceutycznego i wielu innych, co pozycjonuje ten surowiec, jako jeden z najważniejszych dla naszej gospodarki. W przypadku Polski ogromne znaczenie mają także aspekty społeczne. Górnictwo podziemne ma bowiem ogromne tradycje w Polskim społeczeństwie, a dla kilku regionów stanowiło przez szereg dekad podstawę rozwoju społecznego i gospodarczego. Również obecnie stanowi bardzo

znaczący sektor gospodarki narodowej zatrudniający bezpośrednio w przedsiębiorstwach górniczych oraz około górniczych ponad 100 tys. osób [64].

Należy także zaznaczyć, że rozwój energetyki odnawialnej oraz ogólnie gospodarki powoduje, że znaczenie szeroko rozumianego górnictwa, także z punktu widzenia pozyskiwania surowców metalicznych, chemicznych i skalnych zdecydowanie rośnie i stanowi obszar o bardzo dużym potencjale rozwojowym. W niedalekiej przyszłości górnictwo może zostać rozszerzone także o nowe obszary wydobywania surowców, np. z dna morskiego i kosmosu [128, 67].

Zasadnym zatem jest prowadzenie badań, odnośnie poprawy efektywności [24, 48, 61] i bezpieczeństwa oraz zachowania ciągłości procesów produkcji górniczej [135 - 137]. Osiągnięcie tych celów nie jest jednak proste. Proces produkcji górniczej, szczególnie w obszarze podziemnej eksploatacji jest bowiem bardzo złożony oraz niebezpieczny. Wynika to przede wszystkim z nieprzewidywalnego zachowania środowiska, w którym jest on realizowany. Podziemna eksploatacja górotworu zaburza stan jego równowagi generując szereg zagrożeń, które powodują że proces eksploatacji jest nieprzewidywalny i bardzo często niebezpieczny. Również eksploatacja pokładów węgla zlokalizowana w coraz bardziej złożonych warunkach geologiczno – górniczych powoduje intensyfikację różnego typu zagrożeń, w szczególności naturalnych. Stan ten powoduje konieczność podejmowania różnego typu działań w celu zapewnienia bezpiecznego środowiska pracy w tych procesach i to zarówno dla załóg jak i wyposażenia technicznego.

Z tego też względu, szczególnie w zakresie podziemnej eksploatacji tak wielką uwagę poświęca się stworzeniu bezpiecznych warunków pracy dla załogi oraz eksploatowanych urządzeń. Wśród tych urządzeń szczególne znaczenie ma zmechanizowany kompleks ścianowy, wykorzystywany w wysokowydajnych ścianach do bezpośredniego urabiania górotworu oraz transportu urobku ze strefy przodkowej. Kompleksy te z kombajnem ścianowym jako główną maszyną urabiającą są obecnie dominującymi zestawami maszynowymi wykorzystywanymi w procesie podziemnego urabiania górotworu w procesie produkcji węgla [5, 39, 43, 128].

Maszyny wchodzące w skład tego kompleksu, ze względu na bardzo trudne warunki środowiskowe, w których są eksploatowane muszą charakteryzować się wysoką jakością wykonania, niezawodnością oraz być przyjaznymi w obsłudze.

Spośród maszyn wchodzących w skład zmechanizowanego kompleksu ścianowego szczególne istotne znaczenie ma zmechanizowana obudowa ścianowa. Jej zadaniem jest, z jednej strony zabezpieczenie przestrzeni roboczej w której odbywa się proces urabiania górotworu, a z drugiej umożliwienie przemieszczania się maszyny urabiającej (kombajn lub strug) oraz przenośnika ścianowe i innych urządzeń współpracujących. Te główne zadania powodują, że cały proces urabiania oraz bezpieczeństwo zaangażowanych środków technicznych i załogi w dużej mierze zależne jest od poprawności pracy tej obudowy. Rola i znaczenie obudowy ma zatem kluczowy wpływ na ciągłość procesu urabiania jego bezpieczeństwo i efektywność.

Pogarszające się warunki podziemnej eksploatacji powodują, że wymagania co do bezpieczeństwa oraz niezawodności pracy obudowy rosną. W szczególności dotyczy to zapewnienia odpowiedniej stabilności i stateczności oraz bezpieczeństwa w trakcie procesu jej eksploatacji [61, 107, 109, 110].

W przypadku obudowy zmechanizowanej, która zbudowana jest z niezależnych sekcji (od kilkudziesięciu do ponad stu pięćdziesięciu), bardzo istotne znaczenie ma system sterowania i kontroli parametrów pracy tych sekcji, a co za tym idzie całej obudowy. Wynika to z faktu, że obudowa ta zabezpiecza przestrzeń roboczą od strony urabianego górotworu oraz musi zapewnić odpowiednią wielkość tej przestrzeni, w celu obsługi pozostałych maszyn oraz bezpieczeństwa wentylacyjnego. Bardzo istotne znaczenie ma także współpraca poszczególnych sekcji i całej obudowy z górotworem. W szczególności dotyczy to stropu i spągu, co ma istotny wpływ na powstawanie zjawisk geomechanicznych oraz efektywność samego procesu urabiania. Dodatkowo, występujące w procesie produkcji górniczej zagrożenia, w szczególność naturalne stawiają przed poszczególnymi sekcjami oraz całą obudową bardzo wysokie wymagania. Jej współpraca z górotworem oraz stateczność ma zatem bardzo istotny wpływ na efektywność pracy pozostałych maszyn.

Poprawna praca zmechanizowanej obudowy górniczej ma fundamentalne znaczenie dla zapewnienia ciągłości, bezpieczeństwa oraz efektywności całego procesu produkcji górniczej. Obecnie stosowane w Polsce zmechanizowane obudowy ścianowe charakteryzują się dużym zróżnicowaniem w zakresie ich parametrów mechanicznych, konstrukcji oraz sposobów sterowania i kontroli parametrów pracy [28, 32, 34]. To powoduje, że praktycznie dla każdej

eksploatowanej ściany stosuje się inne zestawy obudów o różnych systemach obsługi, co utrudnia, a czasami wręcz ogranicza skuteczny i efektywny nadzór nad pracą takiej obudowy. Powoduje to ograniczenie możliwości doskonalenia procesu jej eksploatacji oraz optymalizacji parametrów pracy. Problemem jest między innymi brak kompleksowego systemu do bieżącej oceny parametrów pracy obudowy zmechanizowanej (jej podporności oraz stateczności i współpracy z górotworem), monitoringu wartości tych parametrów oraz sterowania jej pracą. Sytuacja ta bardzo często powoduje zaburzenia w realizacji procesu eksploatacji oraz negatywnie wpływa na jego efektywność i bezpieczeństwo załogi.

Ten stan powoduje, że w pełni zasadne stało się podjęcie prac obejmujących badania obudowy zmechanizowanej pod kątem opracowania skutecznego systemu monitorującego jej parametry pracy.

Opracowanie takiego systemu jest o tyle istotne, że jak już wspomniano pogarszające się warunki geologiczno – górnicze, w których prowadzona jest podziemna eksploatacja powodują, że obudowa zmechanizowana oraz obsługująca ją załoga pracują w coraz trudniejszych warunkach środowiskowych [25, 29, 86]. Warunki te utrudniają efektywne wykorzystanie potencjału obudowy, co prowadzi często do problemów w procesie podziemnej eksploatacji. W pełni zasadnym staje się zatem poszukiwanie innowacyjnych rozwiązań, które umożliwiłyby poprawę efektywności eksploatacji tej obudowy oraz lepszą ochronę pracowników. Opracowanie i zastosowanie nowych systemów do monitorowania parametrów pracy obudowy, w zakresie jej podporności i stateczności stanowi zatem oczekiwany kierunek badań, który powinien także wpłynąć na udoskonalenie procesu sterowania jej pracą. Ciągły dostęp do aktualnych wartości parametrów pracy obudowy oraz możliwość jej zdalnego sterowania powinny wpłynąć na poprawę bezpieczeństwa pracy oraz umożliwić bardziej efektywne jej wykorzystanie. W tej kwestii szczególnie ważne jest monitorowanie parametrów związanych ze statecznością sekcji obudowy i ich powiązania ze zmianami ciśnienia w stojakach tych sekcji, co dotychczas stanowi nierozwiązany problem.

Przedstawione problemy występujące w trakcie podziemnej produkcji węgla kamiennego oraz eksploatacji obudów zmechanizowanych stanowiły inspirację do podjęcia prac, których zasadniczym celem było opracowanie nowej metody badania zmechanizowanej obudowy górniczej, umożliwiającej skuteczne monitorowanie parametrów jej pracy w trakcie procesu eksploatacji podziemnej.

Problem badawczy pracy dotyczył zatem określenia cech konstrukcyjnych oraz identyfikacji parametrów pracy obudów niezbędnych do opracowania systemu monitorującego ich pracę. Istotną częścią pracy było także określenie możliwości technicznych pozyskiwania wybranych danych diagnostycznych do projektowanego systemu. W procesie określania wytycznych dla budowy i eksploatacji takiego systemu oraz jego potencjalnego wdrożenia konieczne było uwzględnienie także możliwości technicznych obecnie stosowanych obudów. Założono bowiem, że opracowane rozwiązania będą stanowiły integralną część układu zdalnego sterowania pracą obudowy.

Wykorzystanie parametrów pracy oraz cech konstrukcyjnych obudowy zmechanizowanej do określenia wytycznych dla budowy skutecznego systemu monitorującego jej pracę, a w dalszej kolejności także układu zdalnego sterowania ograniczającego udział czynnika ludzkiego w trakcie eksploatacji stało się jednym z głównych celów prowadzonych prac.

Istotną częścią przeprowadzonych prac była analiza obecnego stanu wiedzy odnośnie badania i sterowania obudową zmechanizowaną oraz możliwościami wykorzystania parametrów diagnostycznych do efektywniejszego jej użytkowania. Pozyskana wiedza umożliwiła opracowanie metodyki prowadzenia badań tej obudowy, której podstawą było połączenie badań modelowych i stanowiskowych oraz w warunkach rzeczywistych. Dodatkowo prowadzone były także badania elementów sekcji obudowy oraz wyposażenia badawczego. Złożoność podjętej tematyki oraz szeroki zakres badań, niezbędny do realizacji przyjętych celów wymusił interdyscyplinarne podejście do tej problematyki.

Przeprowadzone w szerokim zakresie badania umożliwiły sformułowanie wytycznych, jakie powinien spełniać system monitorujący parametry pracy obudowy, w tym w szczególności położenia sekcji tej obudowy w trakcie jej pracy. Opracowane założenia i wymagania stanowiąc będą podstawę do budowy i wdrożenia systemu monitoringu i sterowania obudową zmechanizowaną, co stanowi bardzo istotne i oczekiwane rozwiązanie dla branży zajmującej się podziemnym wydobyciem węgla kamiennego.

Opracowany i wykorzystany w trakcie realizacji zakres pracy wraz z jej poszczególnymi etapami stanowi nowe i niestosowane w sektorze górnictwa podejście do doskonalenia pracy maszyn stosowanych w procesie produkcji górniczej. Badania łączące parametry pracy obudowy z warunkami geologiczno -

górnictwem oraz parametrami pracy całego kompleksu ścianowego także stanowią nowe i kompleksowe podejście do problematyki doboru i eksploatacji obudów zmechanizowanych. W szczególności odnosi się to do sformułowania wytycznych dla opracowania założeń do systemu monitorującego wybrane parametry pracy zmechanizowanej obudowy ścianowej, a także wytycznych odnośnie konstrukcji sekcji obudowy dla osiągnięcia kompatybilności z systemem monitoringu.

Opracowana metodyka badawcza oraz sformułowane wytyczne i uzyskane wyniki z różnego typu badań, w istotny sposób zwiększają bazę wiedzy w zakresie monitorowania i diagnozowania stanu pracy obudowy zmechanizowanej. Wiedza ta powinna zostać wykorzystana do rozwoju innowacyjnych systemów monitoringu pracy obudowy zmechanizowanej, a poprzez to do poprawy bezpieczeństwa i efektywności pracy tej obudowy. Takie wykorzystanie tych wyników będzie także stanowiła przykład zastosowania badań naukowych do rozwiązania praktycznego problemu i wdrożenia tych wyników w praktyce.

Wskazane czynniki świadczące o dużej roli i znaczeniu węgla kamiennego w gospodarce krajowej i światowej oraz ważności obudowy zmechanizowanej dla efektywności procesu podziemnej eksploatacji tego surowca, a także zauważalna luka badawcza w zakresie sterowania i monitoringu parametrów pracy tej obudowy, w pełni uzasadniają podjęcie tematyki dysertacji.

Praca składa się z dziesięciu rozdziałów, w których, po wstępie (rozdział pierwszy), przedstawiono uzasadnienie celowości podjęcia tematyki badań (rozdział drugi), cel i zakres przeprowadzonych prac (rozdział trzeci) oraz opracowaną metodykę badawczą (rozdział czwarty). W kolejnym rozdziale (piątym) omówiono rolę i znaczenie badań modelowych w pracach nad nowymi rozwiązaniami sekcji obudowy zmechanizowanej. Z kolei w rozdziale szóstym przedstawiono i scharakteryzowano badania zmian ciśnienia w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej, a w rozdziale siódmym omówiono sposób badania parametrów geometrycznych pracy sekcji obudowy. Prace dotyczące tych kwestii obejmowały badania modelowe, stanowiskowe i w warunkach rzeczywistych. Ich efektem było opracowanie zupełnie nowej konstrukcji czujnika do pomiaru geometrii położenia elementów sekcji obudowy oraz systemu do rejestracji tych danych. W kolejnym ósmym rozdziale pracy przedstawiono wyniki badań opracowanych rozwiązań w warunkach rzeczywistych (w eksploatowanej ścianie). Badania te objęły prototypowy system monitorujący parametry pracy obudowy zmechanizowanej

w warunkach rzeczywistych. Opracowaną metodę badania obudowy zmechanizowanej celem określenia wytycznych dla systemu monitorowania parametrów jej pracy wraz z wytycznymi dotyczącymi wdrożenia systemu monitorującego i diagnozującego parametry pracy obudowy ścianowej przedstawiono w rozdziale dziewiątym. Treść tego rozdziału obejmuje zasadniczą i utylitarną część wdrożeniową pracy. Podsumowanie i wnioski końcowe wraz z kierunkami przyszłych badań przedstawiono w rozdziale dziesiątym.

Opracowana metodyka i przeprowadzone badania oraz będące ich wynikiem rozwiązania praktyczne stanowią nowe podejście do problemu badania obudów zmechanizowanych oraz monitorowania parametrów ich pracy. Stwarzają bardzo dogodne warunki do ich praktycznego wykorzystania, co powinno wpłynąć na poprawę bezpieczeństwa i efektywności procesu produkcji górniczej. Praca została zrealizowana w ramach programu „doktorat wdrożeniowy” i stanowi bardzo dobry przykład współpracy między środowiskiem akademickim (Politechnika Śląska), przedsiębiorstwem przemysłowym (Polska Grupa Górnicza SA) w oparciu o projekt rządowy.

2. Uzasadnienie celowości podjęcia tematu pracy

W rozdziale przedstawiono główne czynniki, które zdecydowały o podjęciu prac odnośnie opracowania metody badania obudów zmechanizowanych pod kątem określenia wytycznych dla systemu monitorowania wybranych parametrów ich pracy w procesie podziemnej produkcji węgla kamiennego.

Jako, że proces podziemnej produkcji węgla kamiennego jest bardzo złożony, to także kwestie związane z eksploatacją obudowy górniczej, jako jednej z kluczowych maszyn wchodzących w skład zmechanizowanego kompleksu ścianowego stanowią problem wielowymiarowy i interdyscyplinarny. Stan ten powoduje konieczność identyfikacji czynników determinujących zasadność podjęcia tematyki pracy.

Podstawowym czynnikiem, uzasadniającym podjęcie tematyki pracy jest w dalszym ciągu istotna rola i znaczenie węgla kamiennego, jako kluczowego surowca dla energetyki i do produkcji koksu oraz surowca stosowanego w innych sektorach gospodarczych. Uwzględniając obecną sytuację geopolityczną świata oraz rosnącą rolę surowców naturalnych, w tym także tych wydobywanych systemem podziemnej eksploatacji można stwierdzić, że takie sposoby pozyskiwania surowców będą dalej rozwijane i doskonalone. Z tymi działaniami nierozzerwalnie związany jest rozwój i doskonalenie wszelkiego typu urządzeń, w tym w szczególności maszyn wykorzystywanych w tych procesach. Aby osiągnąć akceptowalną efektywność tych procesów konieczne jest zapewnienie im odpowiedniego stanu bezpieczeństwa, w którym wszelkiego rodzaju obudowy mają kluczowe znaczenie. Zatem w procesie podziemnej eksploatacji surowców kwestie zapewnienia bezpiecznego środowiska pracy stają się priorytetowymi. W górnictwie węgla kamiennego ma to szczególnie ważne znaczenie gdyż proces podziemnej eksploatacji, na chwilę obecną nie może obejść się bez udziału załogi. Zatem zapewnienie jej bezpieczeństwa staje się kluczowym wyzwaniem, z jakim musi poradzić sobie organizator takiego przedsięwzięcia (czyli kopalnia, spółka węglowa). W tym obszarze, uwzględniając obecny stan rozwoju nauki oraz procesów związanych z automatyzacją i robotyzacją, zasadne staje się podejmowanie prac w celu ograniczenia, a docelowo eliminacji obecności pracowników w strefach najbardziej zagrożonych w czasie realizacji tych procesów. Uwzględniając rolę i znaczenie podziemnej eksploatacji dla gospodarki narodowej

oraz kwestie związane z koniecznością bezpieczeństwa realizacji tych procesów można stwierdzić, że obie te kwestie w pełni uzasadniają podjęcie tematyki badań.

W przypadku zmechanizowanej obudowy górniczej ważnym czynnikiem jest także jej rola i znaczenie dla samego procesu urabiania górotworu oraz efektywnej eksploatacji całego zmechanizowanego kompleksu. Otóż obudowa ta stanowi podstawę konstrukcyjną dla montażu i pracy pozostałych maszyn tego kompleksu, czyli ścianowego przenośnika zgrzeblowego, kombajnu (lub struga) oraz kruszarek i innego wyposażenia. Przemieszczanie oraz odpowiednie pozycjonowanie i stateczność tych maszyn zależy od skuteczności pracy obudowy. To potwierdza jej rolę i znaczenie, jednocześnie wskazując na konieczność skutecznego doskonalenia i automatyzacji procesu jej eksploatacji przy wykorzystaniu najnowszych osiągnięć techniki. Odpowiednie i poprawne sterowanie i monitoring pracy obudowy zapewnia efektywną i bezpieczną pracę pozostałych maszyn oraz ma pozytywny wpływ na sam proces urabiania górotworu i utrzymania stateczności wyrobiska ścianowego. Te działania mają bardzo istotny wpływ na efektywność i ciągłość procesu urabiania oraz całego procesu produkcji górniczej.

Omówione kwestie jednoznacznie wskazują, że rola i znaczenie zmechanizowanej obudowy górniczej, zarówno pod względem technicznym jak i organizacyjnym i ekonomicznym ma ogromne znaczenie dla ciągłości i efektywności oraz bezpieczeństwa procesu podziemnej eksploatacji węgla kamiennego. Przedstawiony stan i oczekiwania odnośnie pracy tej obudowy wskazują zatem na konieczność wdrażania nowych rozwiązań technicznych i organizacyjnych w celu doskonalenia i poprawy skuteczności jej eksploatacji.

Wskazane obszary zdecydowanie potwierdzają rolę i znaczenie obudowy zmechanizowanej w całym procesie produkcji górniczej, a w szczególności w jego części realizowanej w środowisku podziemnym. Odnosząc się do tej problematyki, w niniejszym rozdziale szerzej niż we wstępie omówiono rolę i znaczenie obudowy zmechanizowanej w procesie produkcji górniczej oraz sposoby jej projektowania i doboru, a także odniesiono się do bardzo ważnego problemu jakim jest sterowanie jej pracą.

2.1. Rola i znaczenie zmechanizowanej obudowy ścianowej w procesie produkcji węgla kamiennego

Górnictwo węgla kamiennego to jedna z najważniejszych gałęzi polskiej gospodarki. Pod względem rocznego wydobycia węgla Polska zajmuje dziesiątą pozycję w świecie oraz pierwsze miejsce w Unii Europejskiej [17]. Dla gospodarki naszego kraju węgiel kamienny stanowi podstawowy surowiec do produkcji energii elektrycznej oraz ciepła, dając gwarancję bezpieczeństwa energetycznego [119]. Natomiast zachodzące z coraz większą dynamiką zmiany w gospodarce światowej, głównie w obszarze ochrony środowiska powodują, że przyszłość energetyki konwencjonalnej musi być oparta o niskoemisyjne technologie oraz efektywność ekonomiczną. Z tym wiąże się także konieczność kształtowania bezpiecznego środowiska pracy w górnictwie.

Uwzględniając jednak warunki geologiczno - górnicze, można stwierdzić, że praca w podziemnych zakładach górniczych należy do niezwykle trudnych i niebezpiecznych [58, 62, 76]. Skomplikowane warunki naturalne (środowiskowe) powodują, że proces eksploatacji węgla nierozzerwalnie wiąże się z zagrożeniami zarówno naturalnymi jak i technicznymi [63, 99, 119]. Nagromadzenie negatywnych czynników, takich jak: metan, tąpnięcia, zagrożenie wyrzutami gazów i skał, itd., wymusza konieczność podejmowania działań w celu poprawy warunków oraz komfortu pracy [119]. Ponadto, podziemna eksploatacja górnicza bardzo negatywnie wpływa na środowisko zewnętrzne, w tym naturalne, a także na infrastrukturę znajdującą się na powierzchni. Są to wszelkiego rodzaju deformacje, zwane szkodami górniczymi wywołane przez zaburzenie równowagi w górotworze. Efektem tego są różnego typu zjawiska, o charakterze statycznym i/lub dynamicznym, których skutki mogą i często są uciążliwe dla środowiska naturalnego [12, 33]. W celu poprawy tego stanu i zapewnienia bezpieczeństwa i komfortu pracy, ograniczenia negatywnego wpływu górnictwa na środowisko oraz utrzymania efektywności eksploatacji stosuje się coraz bardziej nowoczesne technologie [10, 11, 13, 65] oraz niezawodne środki techniczne, a w szczególności zaawansowane maszyny i różnego typu urządzenia [84, 85, 32, 38]. W szczególności dotyczy to samego procesu urabiania górotworu, który prowadzony jest w bardzo trudnym środowisku podziemnym. Kluczowe znaczenie ma w tym przypadku zabezpieczenie wyrobisk ścianowych, w których kumulują się różnego typu zagrożenia, co powoduje, że skutki ewentualnych zdarzeń z nich wynikających mogą być bardzo negatywne dla załogi oraz wyposażenia technicznego. Uwzględniając

tematykę pracy, w kolejnych podrozdziałach omówiono wybrane kwestie związane z rozwojem, projektowaniem i doбором zmechanizowanej obudowy oraz jej sterowaniem.

2.1.1. Etapy rozwoju zmechanizowanej obudowy ścianowej

Górnictwo węgla kamiennego od początku swojej działalności stawiało wysokie wymagania związane z podnoszeniem efektywności, zmniejszeniem pracochłonności oraz zapewnieniem bezpieczeństwa prac związanych z wydobywaniem węgla [45, 47, 64]. Uwzględniając te wartości konieczne stało się inwestowanie w rozwój maszyn i urządzeń branżowych dostosowanych do zmieniających się systemów i organizacji procesów podziemnej eksploatacji [50, 59]. Stosowane systemy wybierania węgla począwszy od zabierkowych, komorowo-filarowych do systemów ścianowych, które do dnia dzisiejszego stosowane są w górnictwie, ujawniły wiele problemów [37, 131]. Jednym z nich, który w zasadzie dotyczył wszystkich tych systemów, był problem związany z zabezpieczeniem przestrzeni roboczej w wyrobiskach eksploatacyjnych [78 - 80]. Stosowano różne systemy zabezpieczenia tych wyrobisk, ale najlepsze wyniki zaczęto osiągać poprzez stosowanie obudów zmechanizowanych. Stosowane początkowo obudowy zmechanizowane niczym nie przypominały obecnie wykorzystywanych rozwiązań pod względem konstrukcyjnym oraz jakościowym [30, 47, 89]. Na przestrzeni lat obudowy te ulegały dynamicznemu procesowi doskonalenia i dostosowywania do panujących warunków [30, 34].

Uwzględniając materiał z jakiego wykonywano obudowy górnicze, to historycznie rzecz ujmując możemy wyróżnić:

- obudowy drewniane,
- obudowy mieszane (stalowo-drewniane),
- obudowy metalowe (stalowe).

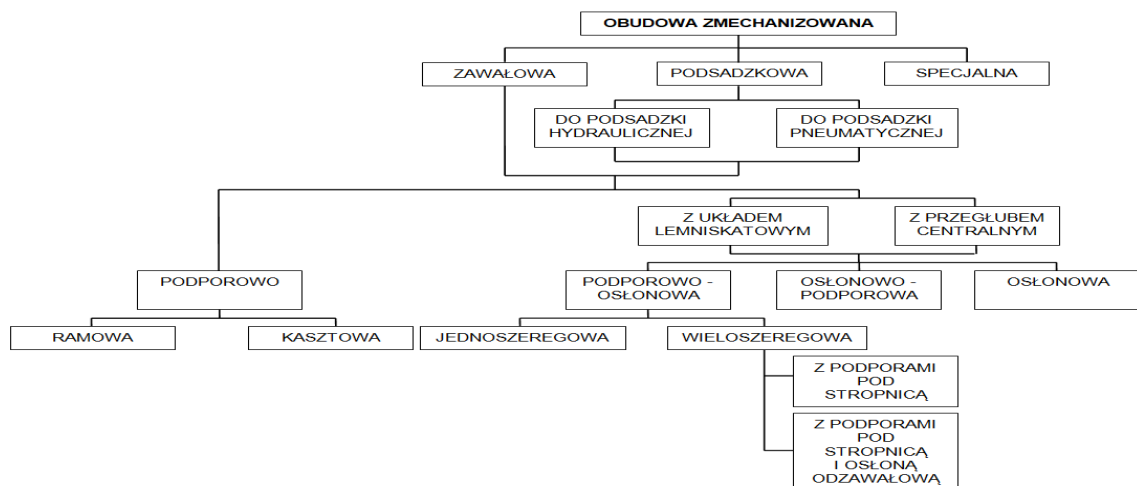
Natomiast ze względu na ich konstrukcję, stosowane były i są obudowy:

- indywidualne,
- zmechanizowane.

Dobór obudów do wyrobisk był ściśle związany ze stosowanym systemem eksploatacji oraz maszynami wykorzystywanymi w tych procesach. Należy podkreślić, że również w tej kwestii następowały szybkie zmiany w branży [71]. Kluczowe dla obecnego stanu wyposażenia i eksploatacji mają zmiany jakie zaszły w początkach XX wieku. W tym okresie nastąpił rozwój mechanizacji różnych procesów, co skutkowało

także chęcią wprowadzenia takich rozwiązań w górnictwie [71]. Rozpoczęto stosowanie wysokowydajnych systemów do urabiania i transportu urobku. Z tym związane było także wykorzystywanie sekcji obudowy zmechanizowanej, które tworzyły dwa podwójne zestawy stojaków ciernych połączonych ze sobą poprzecznie i wzdłużnie tworząc ramę, która podtrzymywała strop wyrobiska [71]. Można zatem przyjąć, że duże zapotrzebowanie na węgiel oraz rozwój techniki przyczyniły się do wprowadzenia różnych zmian w procesie urabiania górotworu i zabezpieczania wyrobisk górniczych.

Zmiany te, doskonalone przez kolejne dekady doprowadziły do obecnego stanu zaawansowania konstrukcji obudów zmechanizowanych, z których najczęściej obecnie wykorzystuje się obudowy podporowo-osłonowe. W praktyce stosuje się także obudowy indywidualne metalowe, które uzupełniają i/lub wzmacniają, głównie rejony skrzyżowań ścian z wyrobiskami podścianowymi, we wnękach, itp. Powszechność stosowania obudów zmechanizowanych wynika z ich bardzo skutecznego zabezpieczania wyrobisk ścianowych oraz współpracy z całym kompleksem zmechanizowanym, dzięki czemu możliwe są do osiągnięcia wysokie wydajności urabiania górotworu [49]. Zastosowanie obudów zmechanizowanych zapewnia także odpowiedni stan bezpieczeństwa pracy, co znajduje potwierdzenie w zapisach w odpowiednich przepisach górniczych [87, 88]. Występujące w procesie podziemnej eksploatacji zagrożenia wymuszają konieczność zapewnienia bezpieczeństwa, komfortu pracy oraz poprawy efektywności procesów w czym niewątpliwie pomagają nowoczesne obudowy zmechanizowane. Podział obudów zmechanizowanych z uwzględnieniem różnych kryteriów związanych z ich przeznaczeniem oraz konstrukcją przedstawiono na rys. 2.1 [69]:



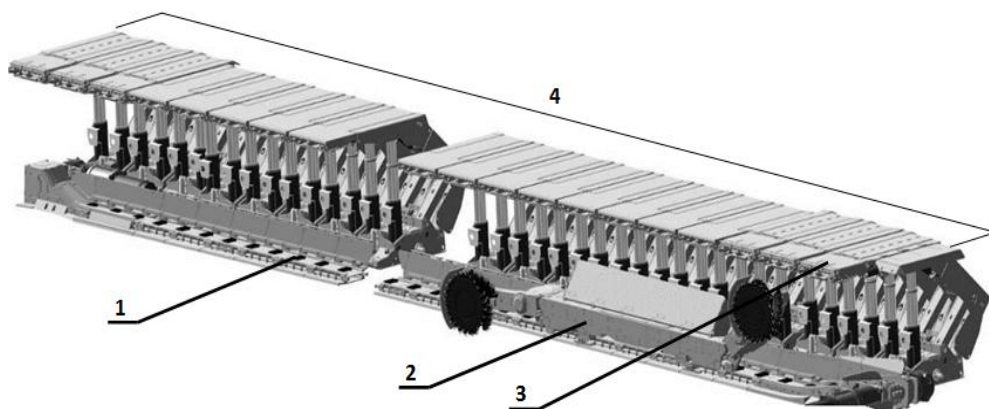
Rys.2.1. Klasyfikacja obudów zmechanizowanych [69]

Przedstawiony podział pokazuje różnorodność stosowanych obudów zmechanizowanych i to zarówno pod względem ich zastosowania jak i cech konstrukcyjnych. Dodatkowo należy jeszcze uwzględnić różne ich zakresy stosowalności, co powoduje że mamy bardzo wiele ich typów. Z tym związane są także kwestie ich doboru, obsługi i sterowania. W pełni zasadnym wydaje się zatem ograniczenie tej liczby do grupy najczęściej stosowanych [96] i dla nich opracowanie skutecznych systemów sterowania i monitorowania parametrów pracy. Natomiast przy opracowaniu takiego systemu, który ma mieć charakter uniwersalny konieczne jest uwzględnienie przedstawionej różnorodności typów obudów i w związku z tym uwzględnienie uniwersalnych parametrów diagnostycznych.

2.1.2. Rola i znaczenie obudowy wyrobisk ścianowych

Zadaniem zmechanizowanej obudowy ścianowej jest zabezpieczenie przestrzeni roboczej, w której prowadzona jest eksploatacja (urabianie górotworu) oraz wspomaganie pracy całego kompleksu zmechanizowanego [67, 68]. Kompleks ten stanowi zestaw maszyn, w skład którego wchodzi kombajn lub strug, przenośniki ścianowy i podścianowy, kruszarki i sama obudowa zmechanizowana.

Na rysunku 2.2 przedstawiono widok kompleksu ścianowego z zaznaczonymi jego częściami składowymi. Z niezawodnościowego punktu widzenia maszyny te tworzą system szeregowy, co powoduje, że rola i znaczenie każdej z nich dla całego systemu jest bardzo duża [3].



Rys. 2.2. Schemat zmechanizowanego kompleksu ścianowego składającego się z przenośnika zgrzeblowego (1), kombajnu ścianowego (2), poszczególnych sekcji obudowy zmechanizowanej (3) i całej obudowy ścianowej (4) [44]

W przypadku obudowy zmechanizowanej, która zbudowana jest z niezależnych sekcji (od kilkudziesięciu do ponad stu pięćdziesięciu), bardzo

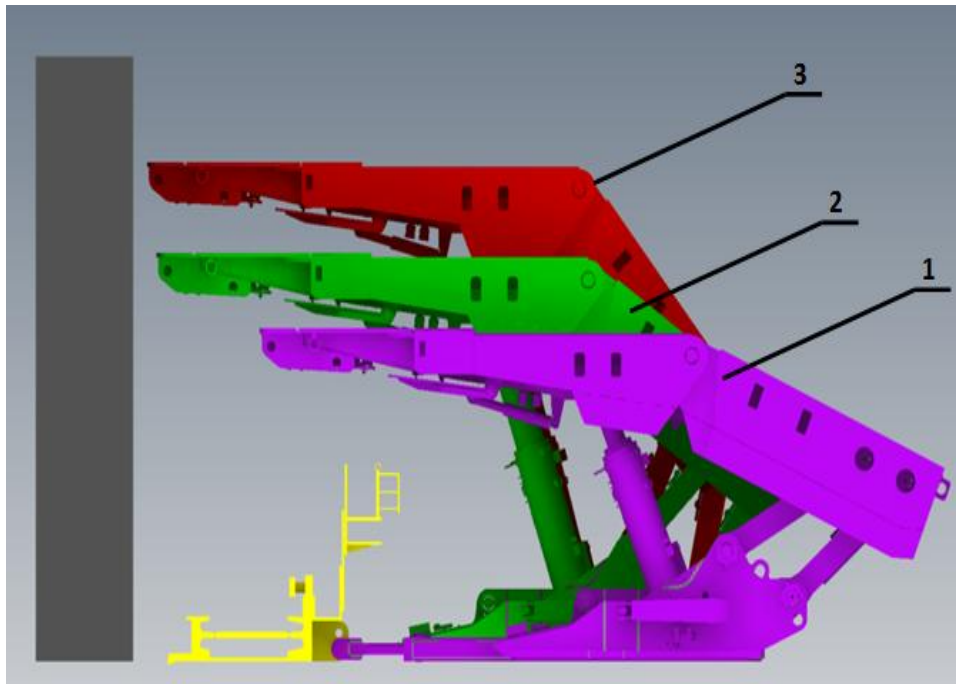
istotne znaczenie ma system sterowania i kontroli parametrów pracy tych sekcji, a co za tym idzie także całej obudowy [39 - 41]. Wynika to z faktu, że obudowa ta zabezpiecza przestrzeń roboczą od strony górotworu oraz musi zapewnić odpowiednią wielkość tej przestrzeni w celu obsługi pozostałych maszyn, a także zapewnić bezpieczeństwo wentylacyjne [125, 126]. Występujące w procesie produkcji górniczej zagrożenia, w szczególność naturalne stawiają przed sekcjami obudowy oraz całą obudową bardzo wysokie wymagania [77, 93, 120]. Jej współpraca z górotworem ma także wpływ na efektywność pracy pozostałych maszyn, w tym głównie maszyny urabiającej [14, 15,]. Jak już wspomniano zmechanizowana obudowa ścianowa (w kompleksie ścianowym) składa się z kilkudziesięciu sekcji, które mają za zadanie ochronić przestrzeń roboczą wyrobiska ścianowego w trakcie procesu urabiania górotworu oraz umożliwić realizację tego procesu przez zmechanizowany kompleks ścianowy. Ma zatem kluczowe znaczenie dla zapewnienia ciągłości, bezpieczeństwa i efektywności procesu produkcji górniczej [11, 12, 91]. Widok rzeczywistego wyrobiska ścianowego, w trakcie procesu urabiania górotworu przez zmechanizowany kompleks ścianowy przedstawiono na rysunku 2.3.



Rys. 2.3. Widok wyrobiska ścianowego z sekcjami obudowy ścianowej (1), kombajnem ścianowym (2), przenośnikiem zgrzeblowym (3) oraz drogą przejścia załogi (4)

Sekcje obudowy zmechanizowanej zabezpieczają wyrobisko ścianowe przed opadem skał stropowych tworząc przestrzeń do swobodnego poruszania się załogi, transportu

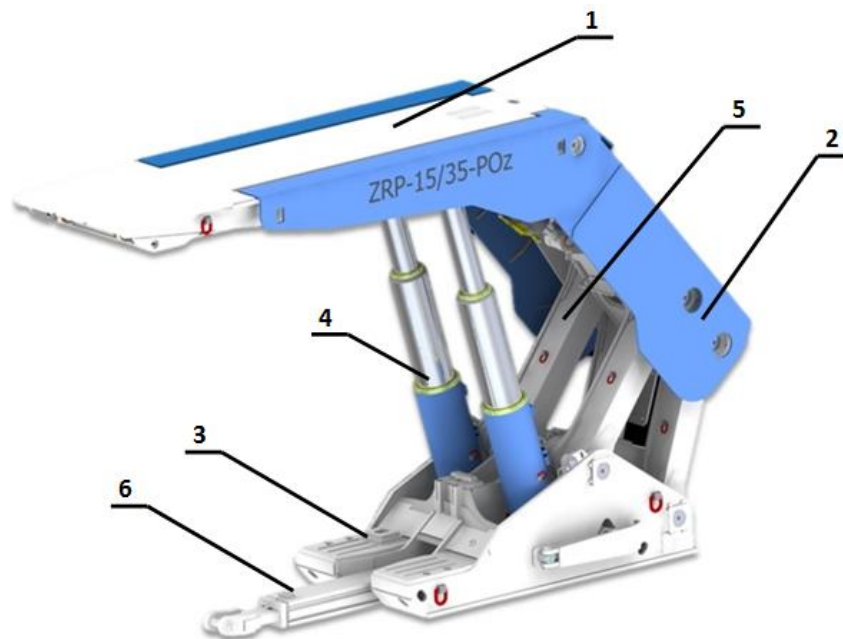
urobku oraz przemieszczania maszyny urabiającej wzdłuż calizny węglowej [7, 82, 83]. Oczywistym jest także fakt, iż współpraca pomiędzy maszynami wchodzącymi w skład kompleksu ścianowego wymaga wzajemnej komunikacji [6, 37]. Połączenie mechaniczne i informacyjne między tymi maszynami umożliwia efektywną pracę całego kompleksu, wykluczając przerwy w cyklach produkcyjnych. Praca całego kompleksu ścianowego przebiega bowiem wg określonego schematu. W zależności od stosowanego sposobu urabiania możemy mieć do czynienia z jednostronnym lub dwustronnym urabianiem górotworu. W obu przypadkach występują fazy zawrębiania i urabiania oraz praktycznie ciągły proces załadunku urobku [66, 45]. W przypadku obudów ich praca także przebiega cyklicznie i obejmuje fazy rabowania sekcji, przesuwu i rozpierania oraz pracy zasadniczej. Poszczególne stany pracy sekcji przedstawiono na rysunku 2.4.



Rys. 2.4. Stany pracy sekcji obudowy zmechanizowanej: stan podczas rabowania sekcji (1), podczas jej rozpierania i posuwu (2) oraz w trakcie pracy zasadniczej (rozparcia) (3)

Jak już wspomniano obudowa zmechanizowana składa się z szeregu współpracujących sekcji obudowy. Sekcje te składają się z elementów podstawowych i wyposażenia dodatkowego. Elementami podstawowymi są wszystkie części przenoszące obciążenia wywołane deformacyjnym oddziaływaniem górotworu [52, 71 - 73]. Natomiast wyposażenie dodatkowe to wszystkie elementy nieprzenoszące obciążenia, ale niezbędne do funkcjonowania obudowy [66 - 68].

Budowę przykładowej sekcji obudowy zmechanizowanej przedstawiono na rysunku 2.5.



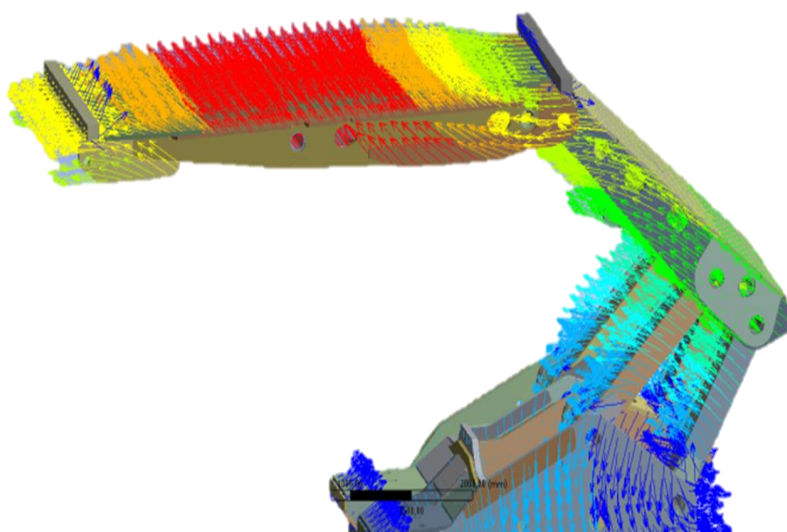
Rys. 2.5. Podstawowe elementy sekcji obudowy zmechanizowanej: stropnica (1), osłona odzawałowa (2), spągnica (3), siłownik hydrauliczny (4), łącznik przedni układu lemniskatowego (5), belka układu przesuwne (6)

Jednym z elementów mających bezpośredni kontakt z górotworem jest stropnica (1), która ma za zadanie osłanianie wyrobiska ścianowego od strony stropu oraz przenoszenie sił wywołanych naciskiem skał stropowych. Z kolei spągnica przenosi obciążenia wywołane naciskiem spągu [69 - 671] oraz zabezpiecza wyrobisko ścianowe od tej strony. Spągnica ma także poprzez belkę (6) łączyć sekcje obudowy z pozostałymi częściami kompleksu ścianowego. Kolejnym elementem sekcji mającym bezpośredni kontakt z górotworem jest osłona od zawałowa (2). Osłania ona przestrzeń roboczą od strony zrobów i w związku z tym przejmuje obciążenia od rumowiska skalnego, któremu towarzyszy najczęściej zawał chaotyczny [69 - 71].

Stropnica (1), spągnica (3) i osłona odzawałowa (2) połączone są ze sobą za pomocą układu łączników (sworzni). Z kolei stojaki hydrauliczne (4) są elementami, które przenoszą zasadnicze obciążenie górotworu, decydując o podporności sekcji obudowy. Łączniki lemniskaty (5) łączą osłonę odzawałowa ze spągnicą przy pomocy układu kinematycznego zapewniającego zachowanie prawie stałej odległości układu stropnicowego od czoła wyrobiska (dla całego zakresu wysokości zestawu). Belka układu przesuwne (6) łączy spągnicę z przenośnikiem odstawczymi i służy do przesuwania sekcji obudowy lub przenośnika odstawczego [69 - 71].

Do wyposażenia dodatkowego zaliczamy m.in. układ przesuwu, osłonę czoła ściany, zespół stropnicy przedniej, urządzenia ustalające położenie przenośnika, urządzenia monitorujące oraz sterujące pracą sekcji obudowy.

Przedstawione sekcje tworzą obudowę całego wyrobiska ścianowego, a jednym z ich głównych zadań jest przenoszenie deformacyjnego oddziaływania górotworu. Oddziaływanie to może mieć charakter statyczny lub dynamiczny, co determinuje różny stan obciążenia poszczególnych sekcji. Przykładowy rozkład sił działających na elementy sekcji obudowy zmechanizowanej pod wpływem zewnętrznego obciążenia (wyznaczony na podstawie badań modelowych) przedstawiono na rysunku 2.6.



Rys. 2.6. Rozkłady sił działających na elementy sekcji obudowy zmechanizowanej wyznaczone na podstawie badań modelowych

W przypadku ścian o wysokości większej niż 2,4m, sekcje obudowy zmechanizowanej wyposaża się w urządzenia chroniące załogę przed opadającymi bryłami górotworu, a w przypadku nachylenia większego niż 18° i wysokości większej niż 1,7m, w hydrauliczne sterowane osłony oddzielające przejścia od pola maszynowego. Konstrukcja sekcji obudowy dodatkowo przystosowana jest do zabudowy oświetlenia, instalacji elektrycznej oraz wyposażona jest w uchwyty do mocowania urządzeń pomocniczych, uchwyty transportowe i montażowe [69 - 71].

Jak już wspomniano, podstawowym zadaniem całego zmechanizowanego kompleksu ścianowego jest efektywne i bezpieczne urabianie górotworu. Proces ten bez skutecznego zabezpieczenia warstw nadległych oraz spągu nie może być prowadzony, co potwierdza ogromne znaczenie i rolę obudowy górniczej. Kompleks ścianowy jest bowiem tak skonstruowany, aby zapewnić możliwość efektywnego urabiania górotworu

oraz zabezpieczania wyrobiska ścianowego przed deformacyjnym oddziaływaniem tego górotworu.

Te funkcje potwierdzają ogromną rolę i znaczenie w procesie urabiania górotworu obudowy zmechanizowanej, jako maszyny odpowiedzialnej za bezpieczeństwo oraz skuteczną pracę całego kompleksu zmechanizowanego. Jej prawidłowa eksploatacja ma ogromny wpływ na cały proces urabiania górotworu, a zatem także na efektywność całego procesu produkcji górniczej. W procesie tej eksploatacji kluczową rolę odgrywa sterowanie poszczególnymi fazami pracy obudowy, które stanowi sumę sekwencyjnych procesów obsługi poszczególnych sekcji. Bardzo ważnym czynnikiem jest też odpowiedni dobór sekcji obudowy zmechanizowanej do warunków w jakich ma być eksploatowana. Ten proces wraz z projektowaniem obudowy zostanie skrótowo omówiony w kolejnym podrozdziale.

2.2. Sposób projektowania i doboru obudowy zmechanizowanej

W procesie eksploatacji obudowy zmechanizowanej kluczowe znaczenie ma jej projektowanie i dobór do określonych warunków geologiczno – górniczych. Sam proces projektowania opiera się na doborze odpowiednich rozwiązań technicznych i określeniu wspólnych zależności pomiędzy nimi celem uzyskania efektu finalnego. Znaczenie słowa „projektowanie” definiujemy jako proces, który przewodzi działalności ludzkiej od punktu wyjściowego do punktu końcowego, czyli oczekiwanego satysfakcjonującego wyniku [114, 116].

Można zatem przyjąć, że proces ten obejmuje szereg powiązanych ze sobą działań dotyczących różnych obszarów (w zależności od projektowanego obiektu) w celu osiągnięcia założonego celu. W przypadku obudowy górniczej obejmuje zarówno elementy konstrukcyjne jak i hydrauliczne oraz elektryczne. Każdy z tych elementów projektuje się z uwzględnieniem warunków geologiczno - górniczych, eksploatacyjnych oraz technicznych w jakich będzie pracowała obudowa. Proces projektowania jest odniesiony do tych warunków oraz maszyn jakie zostaną w danym procesie (ścianie) wykorzystane. Można zatem przyjąć, że projektowanie zmechanizowanej obudowy jest ściśle powiązane z jej doбором do tych warunków pracy [61, 106].

Działania z tym związane realizuje się na podstawie szeregu informacji i analiz związanych z warunkami pracy obudowy. Obejmują one:

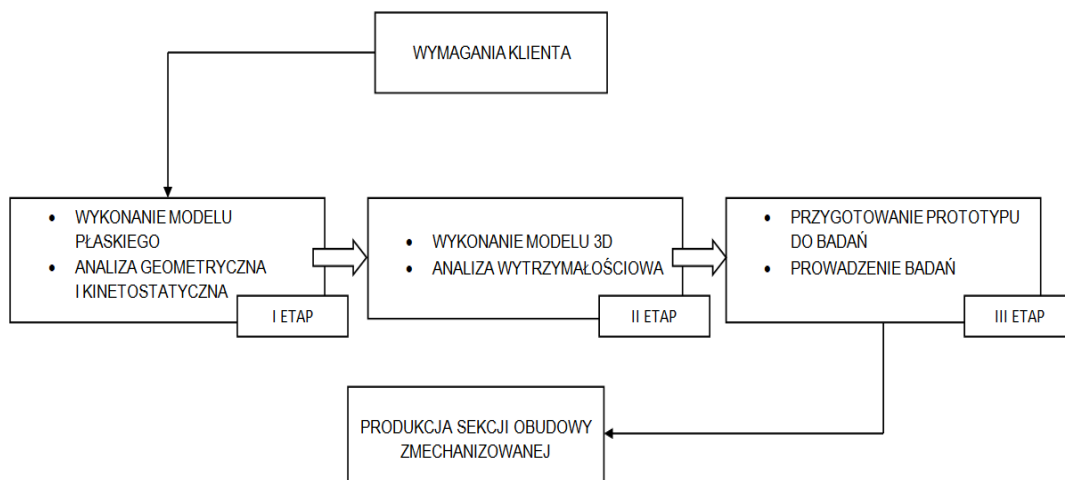
- analizę warunków geologiczno – górniczych, które uwzględniają rozciągłość warstw w rejonie projektowanej ścian, miąższość pokładu wg wyników badań

- otworów geologicznych, wytrzymałość R_c węgla, zagrożenia oraz warunki eksploatacyjne ścian prowadzonych w bezpośrednim otoczeniu,
- sposób prowadzenia ściany,
 - przewidywane dane geometryczne obudowy zmechanizowanej,
 - rekonsolidację zrobów zawałowych (wpływ na ten proces ma głębokość eksploatacji, wilgotność, zawartość skał typu ilastego, zawartość w gruzowisku klasy ziarnowej $<1,0\text{mm}$, czasie rekonsolidacji),
 - ocenę stanu zagrożenia tąpnięciami,
 - ocenę stanu odprężenia górotworu na polu ścianowym,
 - ocenę stanu obciążenia wyrobiska ścianowego,
 - ocenę utrzymania stanu wyrobiska przez przewidzianą do zastosowania obudowę zmechanizowaną (obejmuje to wyznaczenie podporności obudowy zmechanizowanej oraz obliczenia wskaźnika nośności stropu „g”),
 - upodatkowanie przewidzianych do zastosowania obudów zmechanizowanych w warunkach prognozowanych dociążeń.

W głównej mierze wskazane działania związane są z doбором obudowy do warunków geologiczno – górniczych w danym rejonie eksploatacyjnych w oparciu o wskaźnik „g” nośności stropu [8]. Czynnikiem z tym związanym jest także kwestia upodatkowania sekcji obudowy zmechanizowanej, co ma istotny wpływ na sposób współpracy tej obudowy z górotworem [81].

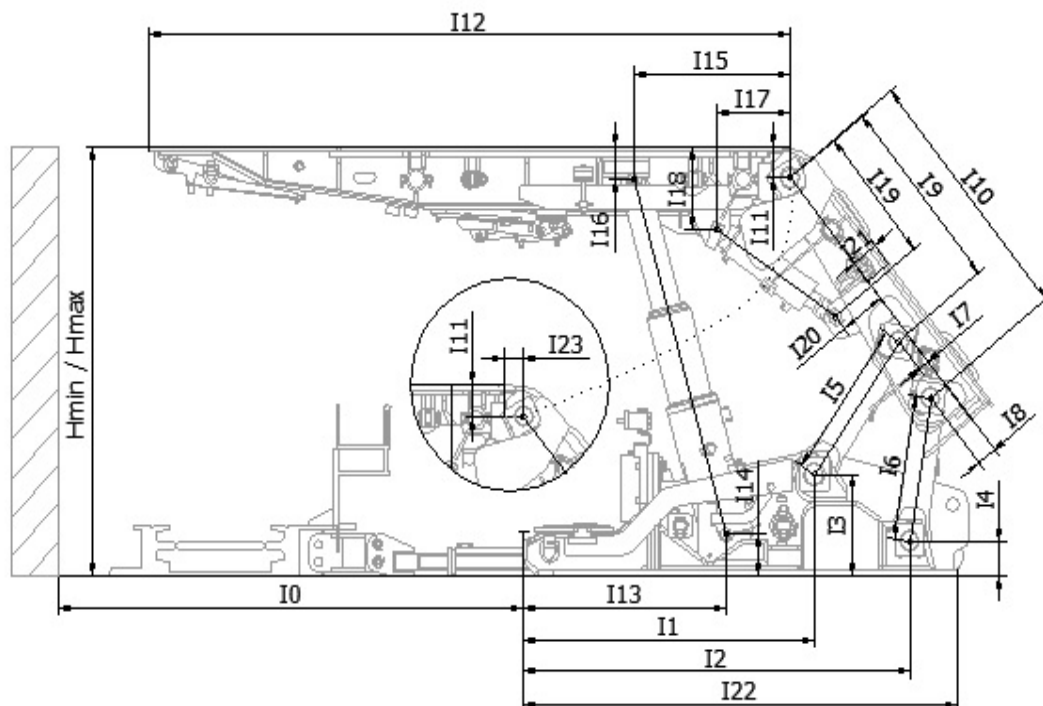
Bardzo ważnym etapem procesu projektowania jest identyfikacja obciążenia oddziałującego na obudowę zmechanizowaną w jej naturalnym środowisku pracy. Na podstawie identyfikacji potencjalnego zewnętrznego obciążenia (sił zewnętrznych) dobierana jest postać konstrukcyjna obudowy oraz parametry jej pracy. Do opracowania takiego projektu wykorzystuje się różne narzędzia i metody. Jedną z bardzo często obecnie stosowanych są badania modelowe oparte o metodę elementów skończonych (MES). Ich zastosowanie daje duże możliwości analizy różnych stanów obciążenia sekcji i jej elementów, a przez to dostosowanie jej konstrukcji do rzeczywistych warunków pracy. Proces projektowania i konstruowania, a także modernizacji i remontu obudów zmechanizowanych, wspomagany jest także przez inne systemy, takie jak np.: CAD, MES (Ansys) czy też branżowe systemy typu PrsLAB (oprogramowanie własne ZRP PGG S.A.).

Proces projektowania sekcji obudowy składa się zatem z kilku etapów, których przykładowy ogólny schemat przedstawiono na rysunku 2.7 [27].



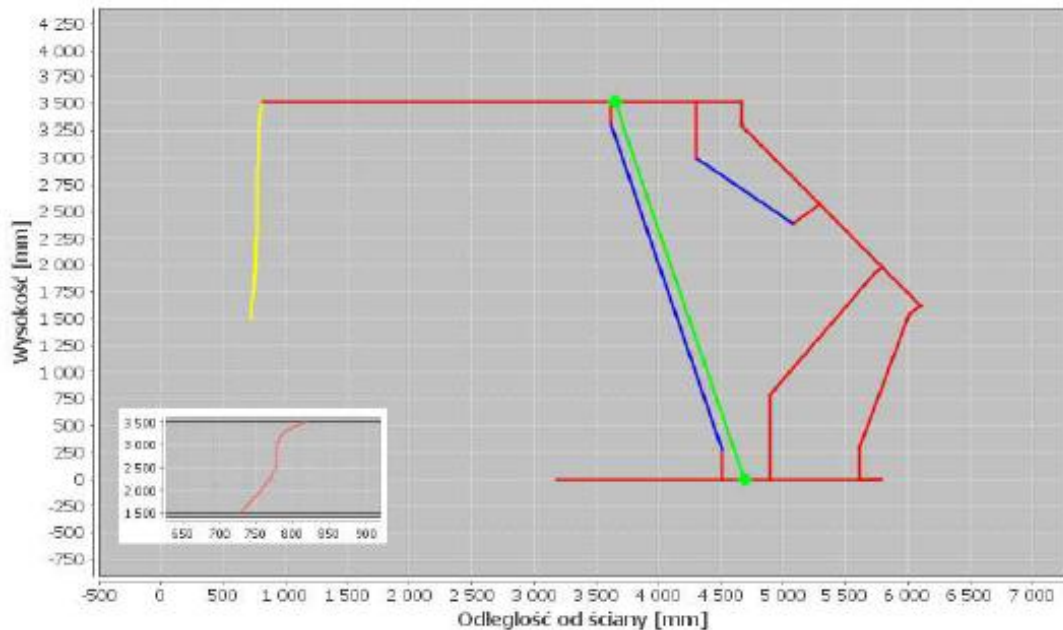
Rys. 2.7. Etapy procesu projektowania sekcji obudowy zmechanizowanej [27]

Pierwszy etap tego procesu obejmuje wykonanie modelu płaskiego, który poddany jest analizie, celem określenia cech geometrycznych i kinostatycznych sekcji. Przeprowadzona analiza musi uwzględniać założenia konstrukcyjne, a dane poddawane interpretacji muszą odpowiadać rzeczywistym parametrom badanych sekcji, np. być zgodne z łańcuchem kinematycznym (rys. 2.8).



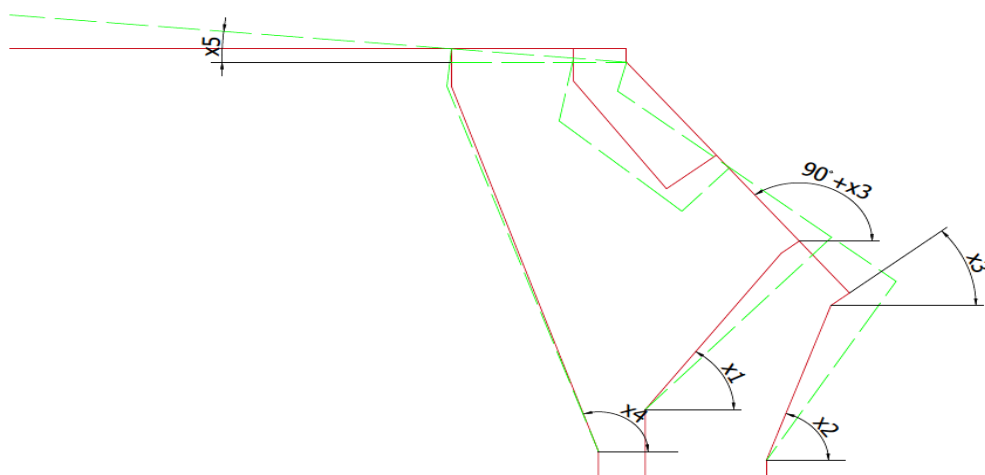
Rys. 2.8. Zwymiarowane elementy łańcucha kinematycznego sekcji obudowy
(program PrsLAb)

Po określeniu wymiarów konstrukcji, uwzględniając zakres roboczy pracy sekcji, przechodzi się do sprawdzenia i obliczenia geometrii łańcucha kinematycznego obudowy (rys. 2.9).



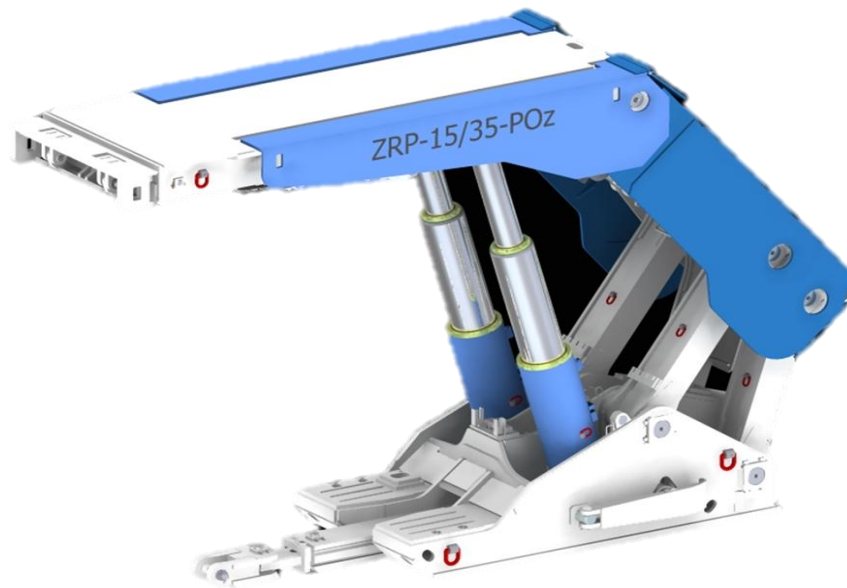
Rys. 2.9. Schemat łańcucha kinematycznego modelu wejściowego z zaznaczoną ścieżką otwarcia stropu w pełnym zakresie pracy (program PrsLAb)

Po wyznaczeniu geometrii łańcucha kinematycznego i danych podpornościowych stojaka i podpory określone zostają parametry fizyczne obudowy, czyli jej podporność, siły wewnętrzne działające w elementach obudowy, kąt nachylenia stropnicy, kąt tarcia lub siły oddziaływujące na elementy konstrukcyjne (rys. 2.10).



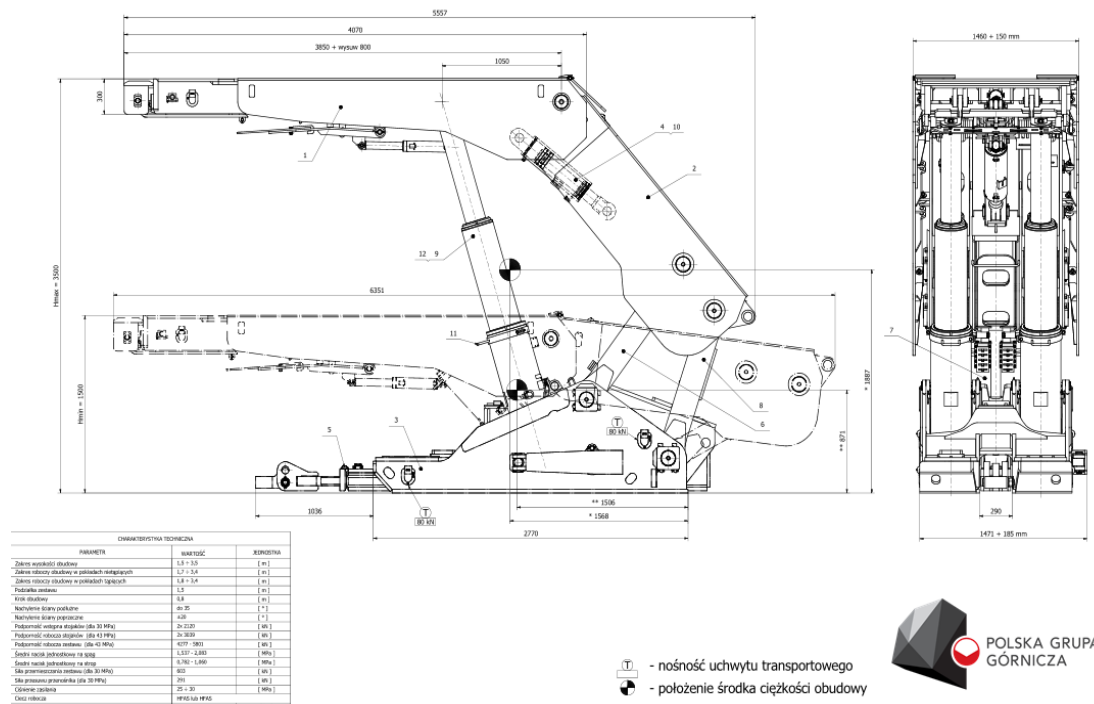
Rys. 2.10. Przykład wyznaczania kąta nachylenia stropnicy

W kolejnym etapie prac generowany jest model 3D sekcji, dla określenia cech konstrukcyjnych obudowy (rys. 2.11).



Rys. 2.11. Przykładowy model 3D sekcji obudowy zmechanizowanej

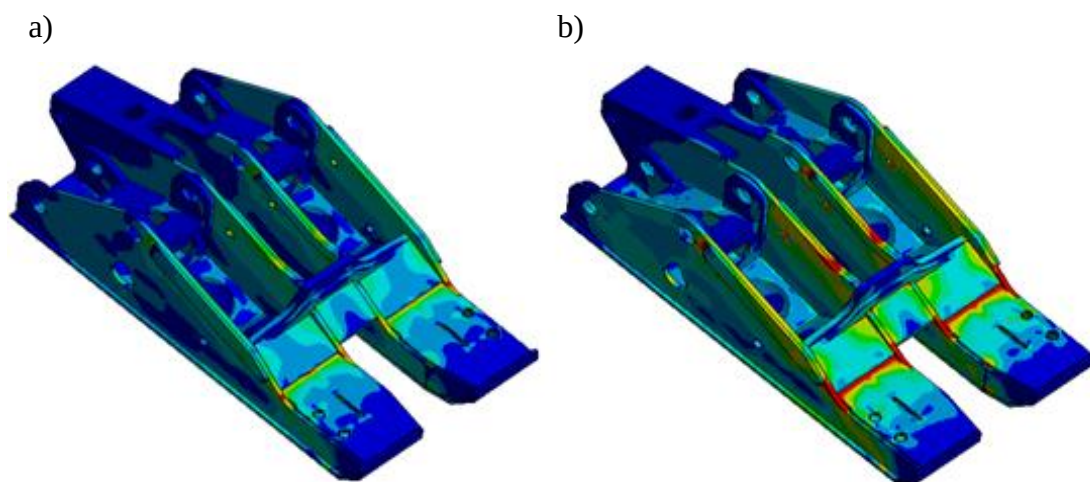
Tak opracowany model można poddać dodatkowym analizom, np. w celu wykluczenia kolizji pomiędzy poszczególnymi elementami obudowy oraz innymi maszynami kompleksu ścianowego. Wykonuje się także kontrolę pracy obudowy w pełnym jej zakresie. Efektem tej części prac jest przygotowanie dokumentacji konstrukcyjnej (rys. 2.12), która jest podstawą do wykonania prototypu sekcji obudowy zmechanizowanej.



Rys. 2.12. Przykład dokumentacji konstrukcyjnej sekcji obudowy zmechanizowanej

W kolejnym etapie prac przeprowadza się dodatkowe analizy wytrzymałościowe (rys.2.13) oraz określa warunki brzegowe. Tak przygotowany model można poddać badaniom symulacyjnym w celu analizy stanów naprężenia i odkształcenia jego elementów w trakcie pracy. Proces ten przeprowadza się jako klasyczne zadanie wytrzymałościowe w zakresie analiz liniowych lub nieliniowych (w zależności od potrzeb). Wynikiem tych prac są mapy naprężeń oraz odkształceń elementów sekcji. W zależności od wymagań i rodzaju analizy mogą obejmować pojedyncze jej elementy lub zespoły, aż do analizy pracy całej sekcji. Możliwe jest także poszerzenie badań, np. o analizy zmęczeniowe [114].

Przykładowe rozkłady naprężeń zredukowanych w spągnicy sekcji obudowy zmechanizowanej, będący wynikiem tych badań, przedstawiono na rysunku 2.13.



Rys. 2.13. Rozkłady naprężeń zredukowanych w spągnicy sekcji obudowy zmechanizowanej dla dwóch stanów jej obciążenia (a i b)

Zastosowanie badań modelowych daje bardzo szerokie możliwości analizy różnych stanów obciążenia sekcji obudowy. Przedstawione na rysunku 2.13 rozkłady pokazują dwa przypadki takich stanów. Takie badania dają możliwość rozpatrzenia różnych scenariuszy obciążeń, a przez to analizę ich skutków. Niewątpliwie ogranicza to koszty projektowania obudów i poszerza wiedzę w zakresie ich pracy.

Na końcowym etapie prac, w oparciu o wyniki badań wykonuje się prototyp sekcji czy też jej elementów i poddaje badaniom stanowiskowym lub w dalszym etapie badaniom w warunkach rzeczywistych. Wskazane jest aby badania te były prowadzone zgodnie z wymaganiami dyrektywy maszynowej [33 – 36]. Pozytywny wynik tych badań stanowi podstawę do wystąpienia do Jednostki Certyfikującej o certyfikat

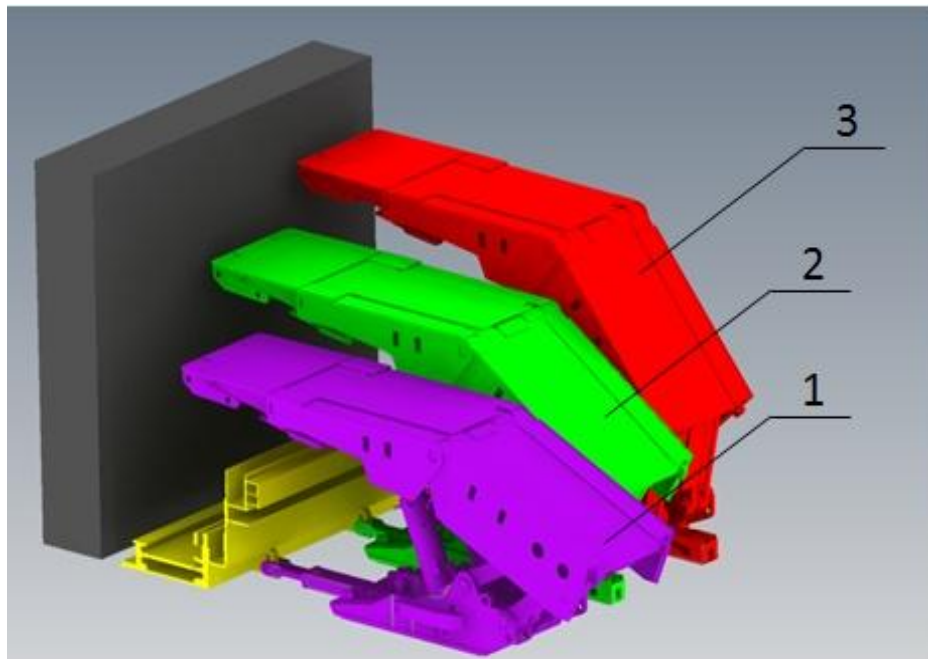
badanych elementów czy też całej sekcji. Pozwala to stwierdzić, że obudowa wykonana została zgodnie z dokumentacją i spełnia wymagania pod względem bezpieczeństwa.

Przedstawione etapy projektowania z uwzględnieniem procedury dopuszczenia do użytkowania stanowią podstawę do wprowadzania modyfikacji i doskonalenia konstrukcji obudowy. Przedstawiony tok postępowania został wykorzystany w pracy do modyfikacji elementów konstrukcyjnych obudowy celem jej dostosowania do wykorzystania opracowanych rozwiązań dotyczących rejestracji parametrów jej pracy. W szczególności dotyczyło to procesu montażu czujników do rejestracji geometrii sekcji.

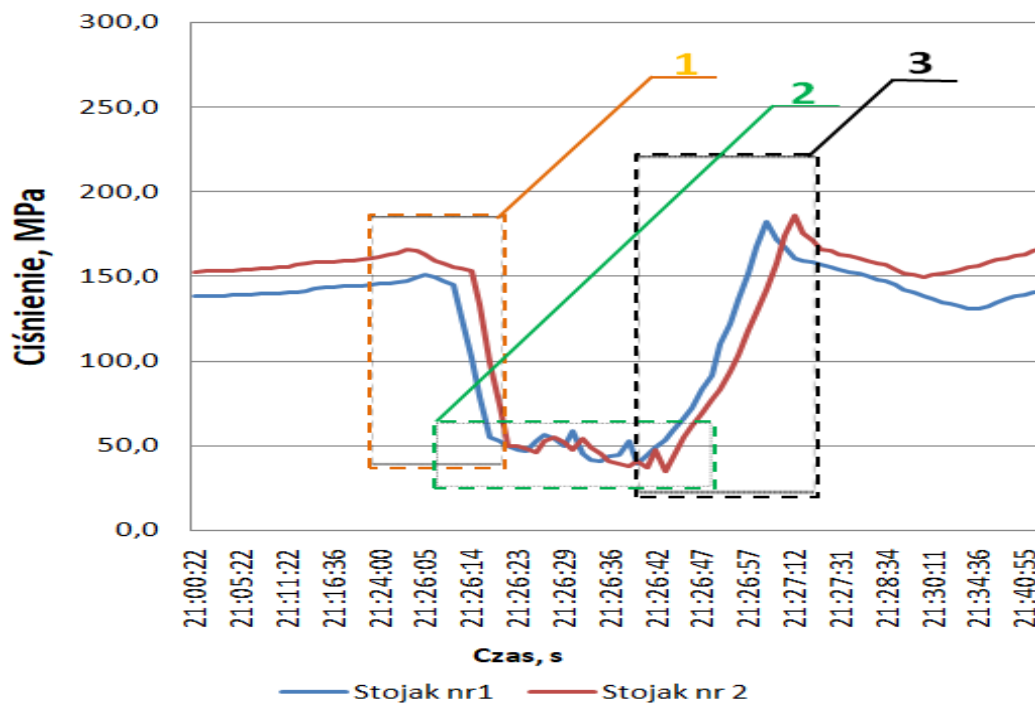
2.3. Charakterystyka pracy i sposobu sterowania obudową zmechanizowaną

Praca obudowy zmechanizowanej charakteryzuje się cyklicznymi ruchami obudowy, które można podzielić na trzy fazy. Każda z tych faz wykonywana jest celem jak najlepszej pracy całego kompleksu ścianowego. Pierwsza faza związana jest z rabowaniem obudowy, która charakteryzuje się spadkiem ciśnienia w stojakach poszczególnych sekcji obudowy. W tym stanie nacisk skał stropowych przenoszony jest przez sąsiednie sekcje obudowy ścianowej. W drugiej fazie ciśnienie w stojakach kształtuje się na stałym poziomie, gdyż następuje przesunięcie obudowy wzdłuż sąsiedniej sekcji w kierunku calizny węglowej. Ta faza realizowana jest z wykorzystaniem przenośnika ścianowego, gdyż to sąsiednie sekcje uniemożliwiają jego cofanie się dając tym samym możliwości przesunięcia się obudowy w kierunku urabianej calizny. W trzeciej fazie pracy następuje znaczny wzrost ciśnienia w stojakach, ponieważ następuje proces jej rozparcia w wyrobisku ścianowym. W tej fazie obudowa ścianowa przenosi obciążenia związane z naciskiem skał stropowych i umożliwia realizację podobnego cyklu sąsiedniej sekcji obudowy zmechanizowanej [35, 36]. Na rysunku 2.14 przedstawiono fazy pracy sekcji obudowy zmechanizowanej (rys. 2.14a) w odniesieniu do zmian wartości ciśnienia w stojakach hydraulicznych (rys. 2.14b).

a)



b)



Rys. 2.14. Położenie sekcji obudowy zmechanizowanej w poszczególnych fazach jej pracy (a) wraz ze zmianami ciśnienia w stojakach hydraulicznych (b), gdzie oznaczono: fazy rabowania (1), przesuwu sekcji (2) i jej rozparcia (3)

Sterowanie poszczególnymi sekcjami obudowy ścianowej odbywa się głównie ręcznie, co powoduje że cały proces eksploatacji obudowy jest niebezpieczny i trudny do kontroli oraz utrzymania odpowiednich parametrów pracy. W przypadku braku

monitorowania parametrów ciśnienia w stojakach, operator na podstawie własnego doświadczenia określa prawidłowy tok pracy obudowy oraz jej stateczność w wyrobisku ścianowym. To powoduje że w trakcie eksploatacji może dojść do zaburzeń pracy poszczególnych sekcji, co jest niebezpieczne dla załogi, utrzymania stropu i spągu, a co za tym idzie utrudnia proces eksploatacji. Obciążenia na elementy obudowy powinny mieć charakter symetryczny, aby zachować równomierne podparcie stropu wyrobiska podczas eksploatacji. Dlatego tak ważne jest aby zachować odpowiednie parametry geometryczne w postaci równoległości pracy spągnicy i stropnicy oraz utrzymania stałych parametrów ciśnienia w stojakach hydraulicznych. Łącząc te parametry diagnostyczne (ciśnienie w stojakach i równoległość położenia spągnicy i stropnicy), można założyć, że praca sekcji jest prawidłowa i stabilizuje proces urabiania i transportu urobku.

W tym kontekście w pełni zasadnym jest zatem badanie obudowy pod kątem możliwości zastosowania systemów monitoringu parametrów jej pracy (w oparciu o sygnały diagnostyczne – ciśnienie w stojakach oraz jej położenie). Takie badania powinny umożliwić zastosowanie sterowania półautomatycznego i automatycznego pracą sekcji. Podjęcie tematyki pracy staje się w tym kontekście bardzo zasadne, ważne i aktualne.

2.4. Podsumowanie

W procesie podziemnej eksploatacji górniczej, obudowa zmechanizowana jest jedną z głównych maszyn stanowiących o jakości, efektywności i bezpieczeństwie pracy całego kompleksu ścianowego. Jej rola i znaczenie w tym procesie wymaga ciągłego doskonalenia w obszarze jej projektowania, funkcjonowania oraz monitoringu parametrów pracy i środowiska. Te działania są niezbędne ze względu na występujące zagrożenia oraz konieczność utrzymania rentowności całego procesu produkcji górniczej.

W tych kwestiach szczególnie istotne znaczenie ma ograniczenie obecności załogi w strefach szczególnie niebezpiecznych, jakimi niewątpliwie są wyrobiska ścianowe oraz poprawy pracy całego kompleksu zmechanizowanego. W tych przypadkach ogromne znaczenie ma efektywna, skuteczna i bezpieczna praca obudowy górniczej.

Aby tak się stało konieczne jest wdrażanie nowych rozwiązań, które powinny odnieść się zarówno do kwestii poprawy bezpieczeństwa pracy obudowy jak i jej efektywnej współpracy z kompleksem ścianowym. Kluczowe w tych przypadkach jest

ograniczenie działań załogi na rzecz szerszego wykorzystania systemów automatyki i sterowania. Tematyka i cele niniejszej pracy idealnie się w to wpisują. Odnoszą się bowiem do poprawy stanu bezpieczeństwa i efektywności pracy obudowy poprzez zastosowanie nowoczesnych metod badawczych oraz innowacyjnych rozwiązań technicznych. Ważne jest także aby branża górnicza, postrzegana jako bardzo zachowawcza, w większym zakresie i bardziej otwarcie podchodziła do nowych rozwiązań, dających szansę na poprawę stanu bezpieczeństwa oraz efektywności realizowanych procesów. Szerokie wykorzystanie parametrów diagnostycznych obudowy zmechanizowanej otwiera nowe podejście do problemu diagnozowania i monitorowania jej stanów technicznych oraz realizowanych procesów eksploatacyjnych. Prowadzone badania nad doskonaleniem obudowy zmechanizowanej i procesu jej eksploatacji w procesie produkcyjnym, znacznie wzbogacą wiedzę w zakresie jej współpracy z górotworem oraz wpływu podporności obudowy na proces urabiania. Te zagadnienia mają kluczowe znaczenie dla energochłonności całego procesu oraz jego efektywności. Prowadzone badania potwierdzają ogromne możliwości i potencjał obudowy ścianowej w zakresie wspomagania procesu urabiania górotworu. Można bowiem powiązać oddziaływanie górotworu na obudowę z jakością prowadzenia stropu i spągu oraz efektywnością procesu urabiania. Osobną, już wielokrotnie wskazywaną i bardzo ważną kwestią są także sprawy bezpieczeństwa, podstawowe z punktu widzenia funkcjonalności obudowy.

Należy zauważyć, że coraz szersza automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych, w coraz większym stopniu korzystająca z technologii informatyczno-informacyjnych powoduje, że również w górnictwie konieczne jest wprowadzanie rozwiązań uwzględniających te zmiany. Wprowadzanie takich rozwiązań wymaga jednak specjalistycznych badań celem doskonalenia maszyn i urządzeń wykorzystywanych w górnictwie. Z tego też względu tak szeroki, proponowany w pracy zakres badań. Wyniki uzyskane z badań modelowych, stanowiskowych i w warunkach rzeczywistych są nieodzownym elementem rozwoju parku maszynowego w górnictwie w Polsce i na świecie.

Reasumując, można zatem stwierdzić, że w obecnym stanie rola i znaczenie obudowy ścianowej w procesie produkcji węgla kamiennego jest znacząca i to zarówno z perspektywy poprawy efektywności jak i bezpieczeństwa realizowanych procesów. W szczególności dotyczy to rejestrowania parametrów jej pracy i ich analizy pod kątem interakcji obudowy z kompleksem ścianowym oraz górotworem.

Oczywistym jest bowiem, że wyniki prowadzonych badań powinny stanowić ważne źródło wiedzy wspomagającej zarządzanie procesem podziemnej eksploatacji górniczej.

Podsumowując można przyjąć, że do podjęcia prac, w celu opracowania metody badania obudowy zmechanizowanej dla określenia wytycznych dla systemu monitorowania parametrów jej pracy, skłoniły autora dwie ważne przyczyny: poznawcza, mająca na celu wyjaśnienie procesów zachodzących podczas cyklu pracy obudowy pod kątem jej stateczności w tym także geometrii oraz użyteczna, której celem jest dążenie do poprawy bezpieczeństwa pracy i efektywności procesu eksploatacji.

Zdaniem autora powyższe przesłanki w pełni uzasadniają celowość podjęcia tematyki badań.

3. Cel i zakres pracy

Tematyka pracy dotyczy ważnego i aktualnego problemu, jakim jest opracowanie metody badań oraz wytycznych dla systemu monitorowania parametrów pracy zmechanizowanej obudowy ścianowej. Głównymi zadaniami tej obudowy jest zabezpieczenie środowiska pracy, w trakcie procesu urabiania górotworu oraz wspomaganie prac pozostałych maszyn zmechanizowanego kompleksu ścianowego. Ta ważna i istotna dla całego procesu podziemnej eksploatacji węgla rola i znaczenie obudowy zmechanizowanej powodują, że rozwiązanie wskazanego problemu może mieć bardzo pozytywne znaczenie dla zapewnienia ciągłości, bezpieczeństwa i efektywności realizacji tego procesu.

Wyniki analizy literatury oraz doświadczenia własne Autora odnośnie realizacji procesu produkcji górniczej, wskazują na konieczność opracowania nowej metody do badania obudowy zmechanizowanej pod kątem zastosowania systemu monitoringu i zdalnego sterowania jej pracą. Analiza ta wskazuje także, że obecnie występuje istotna luka badawcza w zakresie metodyki takich badań oraz brak wytycznych odnośnie zbudowania skutecznego i efektywnego systemu do monitorowania parametrów pracy obudowy. Taki system stworzyłby bardzo dogodne warunki do sterowania pracą obudowy oraz minimalizował udział czynnika ludzkiego w tym procesie, co zarówno z punktu widzenia ekonomicznego jak i bezpieczeństwa pracy powinno wpłynąć korzystnie na cały badany proces.

Problem badawczy podjęty w pracy dotyczy zatem braku kompleksowego systemu do bieżącej oceny parametrów pracy obudowy zmechanizowanej (jej podporności oraz stateczności i współpracy z górotworem), monitoringu wartości tych parametrów oraz sterowania jej pracą, co często powoduje zaburzenie realizacji procesu eksploatacji oraz negatywnie wpływa na jego efektywność i bezpieczeństwo załogi. Problemem jest także brak kompleksowej metody badania obudowy zmechanizowanej pod kątem określenia wytycznych dla rozwoju systemu monitorującego parametry jej pracy. Ten stan jednoznacznie wskazuje na istnienie luki badawczej, którą realizowana praca powinna wypełnić. Proponowane rozwiązania mają bowiem na celu ograniczyć obecne trudności w eksploatacji obudowy zmechanizowanej w kompleksie ścianowym, szczególnie w trudnych warunkach geologiczno – górniczych. W szczególności dotyczyć to ma kwestii

ograniczenia udziału obsługi w pracy obudowy oraz poprawy jej współpracy z górotworem i pozostałymi maszynami zmechanizowanego kompleksu ścianowego.

Uwzględniając ważność i istotność zidentyfikowanego problemu badawczego oraz wnioski wynikające z przeprowadzonej kwerendy literatury, a także wiedzę branżową Autora nabytą w trakcie swojej pracy, a dotyczącą omawianego problemu sformułowano cele naukowy oraz użyteczny pracy.

Celem naukowym pracy jest opracowanie metody badania zmechanizowanych obudów górniczych pod kątem monitorowania parametrów ich pracy w trakcie procesu eksploatacji z wykorzystaniem badań modelowych, stanowiskowych i w warunkach rzeczywistych.

Sformułowany cel poznawczy determinuje cel użyteczny pracy, który został odniesiony do rosnących wymagań, co do poprawy stanu bezpieczeństwa i efektywności procesu produkcji górniczej. Osiągnięcie tego celu będzie wynikiem praktycznego wdrożenia wiedzy pozyskanej w trakcie realizacji części naukowej pracy.

Celem użytecznym pracy jest opracowanie wytycznych i założeń do budowy systemu monitorującego parametry pracy zmechanizowanej obudowy ścianowej. System ten będzie stanowił podstawę do bieżącej oceny pracy tej obudowy oraz opracowania założeń dla systemu sterującego tą pracą.

Monitoring parametrów pracy obudowy, a w szczególności ciśnienia w stojakach i geometrii sekcji oraz ich rejestracja i analiza powinny umożliwić bieżącą diagnozę stanu pracy obudowy, wpłynąć na poprawę bezpieczeństwa pracy, a także na współpracę tej obudowy z górotworem. Wszystkie te elementy mają za zadanie poprawić efektywność pracy kompleksu ścianowego oraz całego procesu produkcji węgla.

Wielowymiarowość i interdyscyplinarność podjętego tematu oraz jego złożoność wymuszają szeroki zakres pracy, obejmujący zarówno rozważania teoretyczne w zakresie prowadzenia badań modelowych i stanowiskowych oraz w warunkach rzeczywistych, jak i oceny możliwości praktycznego wdrożenia efektów pracy. Z tego też względu zakres pracy obejmuje:

1. Przeprowadzenie krytycznej kwerendy literatury w zakresie:
 - projektowania, budowy i eksploatacji obudowy zmechanizowanej,
 - obecnie stosowanych systemów monitorowania pracy obudowy oraz kierunków ich rozwoju,

- metodyki badań stanowiskowych, modelowych oraz w warunkach rzeczywistych obudów.
 - wymagań, jakie powinna spełniać obudowa zmechanizowana do realizacji swoich funkcji oraz niezbędnych do wdrożenia systemu monitoringu parametrów jej pracy.
2. Opracowanie metodyki prowadzenia badań sekcji obudowy zmechanizowanej z uwzględnieniem badań modelowych, stanowiskowych oraz w warunkach rzeczywistych.
 3. Opracowanie sposobu montażu czujników i rejestracji parametrów pracy sekcji obudowy zmechanizowanej.
 4. Przeprowadzenie badań modelowych, stanowiskowych i w warunkach rzeczywistych dla osiągnięcia założonych celów pracy.
 5. Opracowanie wyników badań pod kątem ich wykorzystania do określenia wytycznych i założeń do budowy systemu monitorowania parametrów pracy zmechanizowanej obudowy ścianowej oraz diagnostyki stanu jej pracy.
 6. Opracowanie wytycznych dla systemu monitorującego parametry pracy obudowy zmechanizowanej oraz dokumentacji techniczno ruchowej dla tego systemu.
 7. Przeprowadzenie procesu certyfikacji opracowanego systemu i jego wdrożenie.
 8. Sformułowanie wniosków końcowych oraz kierunków przyszłych badań.

Aktualność, ważność i istotność przedstawionego problemu badawczego oraz proponowane oryginalne jego rozwiązanie w pełni uzasadniają celowość podjętej problematyki, a przedstawiony zakres realizacji pracy powinien umożliwić osiągnięcie założonych jej celów.

Opracowana metodyka oraz wytyczne, a także nabyte doświadczenie i pozyskana wiedza w wyniku realizacji niniejszej pracy, powinny przyczynić się do rozwoju innowacyjnych systemów monitoringu pracy oraz modernizacji konstrukcji obudowy zmechanizowanej. Sposób oraz zakres zastosowanych do badań metod ma charakter uniwersalny, co powoduje, że doświadczenia zdobyte w trakcie ich realizacji będą także stanowiły cenne źródło informacji odnośnie równoległego stosowania badań modelowych, stanowiskowych i w warunkach rzeczywistych.

4. Metodyka postępowania badawczego

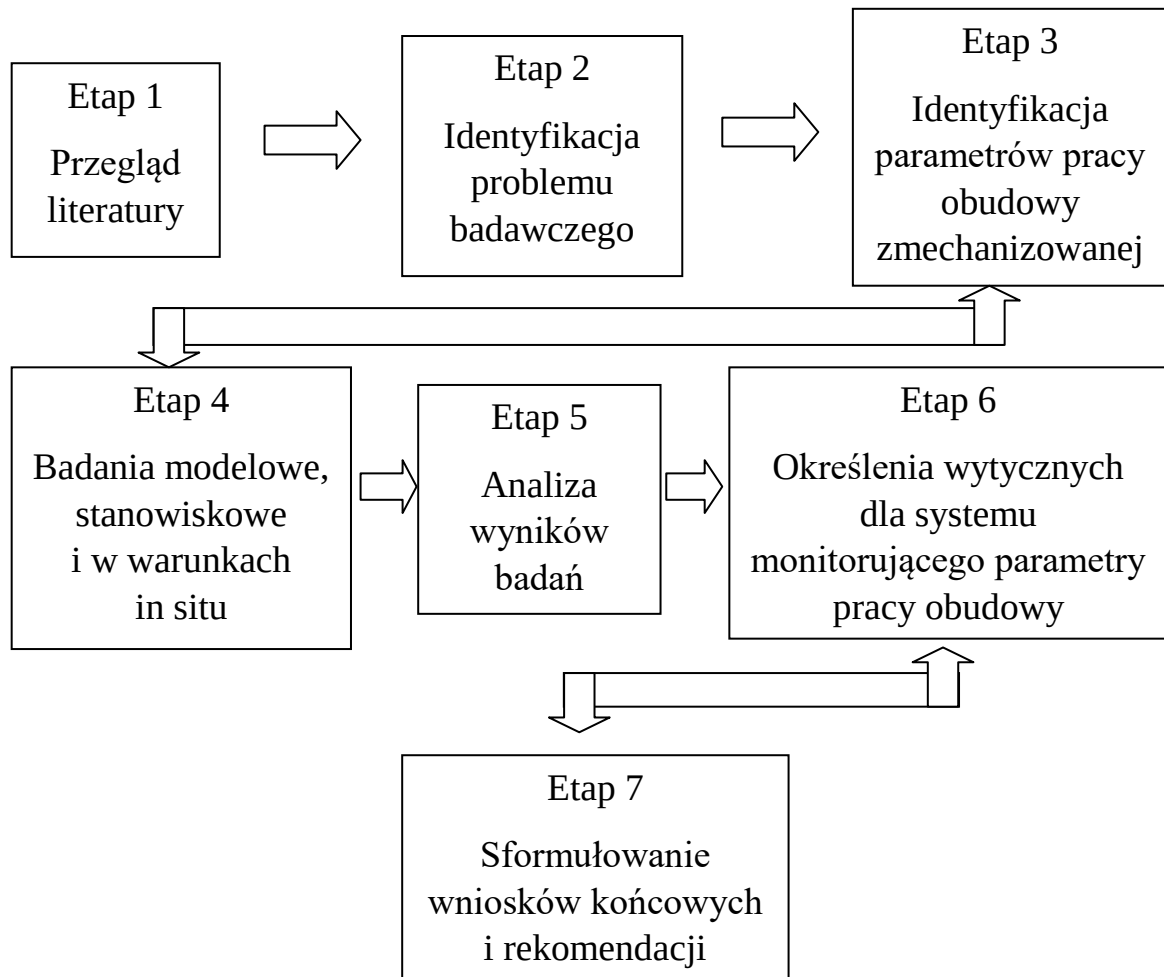
Dla osiągnięcia założonych celów oraz uwzględniając przyjęty zakres pracy opracowano metodykę postępowania badawczego. Obejmuje ona zbiór działań wraz z wykorzystanymi w trakcie ich realizacji metodami badawczymi niezbędnymi do rozwiązania wskazanego w pracy problemu badawczego oraz osiągnięcia założonego celu pracy. Metodyka ta jest adekwatna do koncepcji pracy ujętej w indywidualnym planie badawczym, stanowiącym podstawę wszczęcia i zatwierdzania kolejnych etapów realizacji pracy. Zgodnie z tym planem na pierwszym etapie prac przeprowadzono krytyczną kwerendę literatury w zakresie dotyczącym szeroko rozumianej tematyki pracy. W szczególności dotyczyło to:

- budowy i eksploatacji obudowy zmechanizowanej oraz warunków w jakich ta obudowa ma być eksploatowana,
- współpracy obudowy zmechanizowanej z górotworem oraz wynikających z tego rodzajów obciążeń jakie mogą na nią działać,
- metodyki prowadzenia badań stanowiskowych, modelowych oraz w warunkach rzeczywistych obudów zmechanizowanych ich sekcji i poszczególnych części,
- budowy i projektowania sekcji obudowy zmechanizowanej,
- stosowanych systemów monitorowania pracy obudowy oraz kierunków rozwoju tych systemów,

Wyniki przeglądu literatury stanowiły podstawę do sformułowania celów pracy, jej zakresu oraz opracowania metodyki postępowania badawczego, w tym ram czasowych dla części teoretyczno-analitycznej i praktycznej. Drugi etap pracy objął analizę doboru obudowy do określonych warunkach geologiczno - górniczych i stanów jej pracy oraz identyfikację parametrów eksploatacyjnych niezbędnych do monitorowania procesu jej eksploatacji. Określono także wymagania oraz możliwości techniczne odnośnie rejestracji parametrów pracy obudowy i kompleksu ścianowego, a także plan i zakres koniecznych dalszych badań.

W kolejnym etapie przeprowadzono badania modelowe, stanowiskowe i w warunkach rzeczywistych sekcji obudowy oraz jej wybranych części. Celem tych badań było wyznaczenie parametrów istotnych dla procesu monitorowania pracy sekcji oraz określenie ich znaczenia dla diagnozowania i prognozowania stanów jej pracy oraz całego kompleksu zmechanizowanego. Przeprowadzono także ocenę możliwości konstrukcyjnych sekcji w zakresie stosowania systemu monitoringu.

Na ostatnim etapie pracy nastąpiła weryfikacja uzyskanych wyników oraz opracowanie wytycznych i założeń niezbędnych do wdrożenia systemu monitorowania parametrów pracy obudowy (analiza wyników badań, przygotowanie dokumentacji oraz wytycznych do wdrożenia). Sformułowano także wnioski końcowe wynikające z przeprowadzonych prac. Ogólny schemat opracowanej metodyki badawczej przedstawiono na rysunku 4.1.



Rys. 4.1. Ogólny schemat opracowanej metodyki badawczej

Realizacja pracy, zgodnie z przedstawionym schematem (rys. 4.1) umożliwiła osiągnięcie założonych jej celów, a w szczególności opracowanie wytycznych dla systemu monitorowania parametrów pracy obudowy wraz z dokumentacją techniczno-ruchową tego systemu i jego certyfikacją.

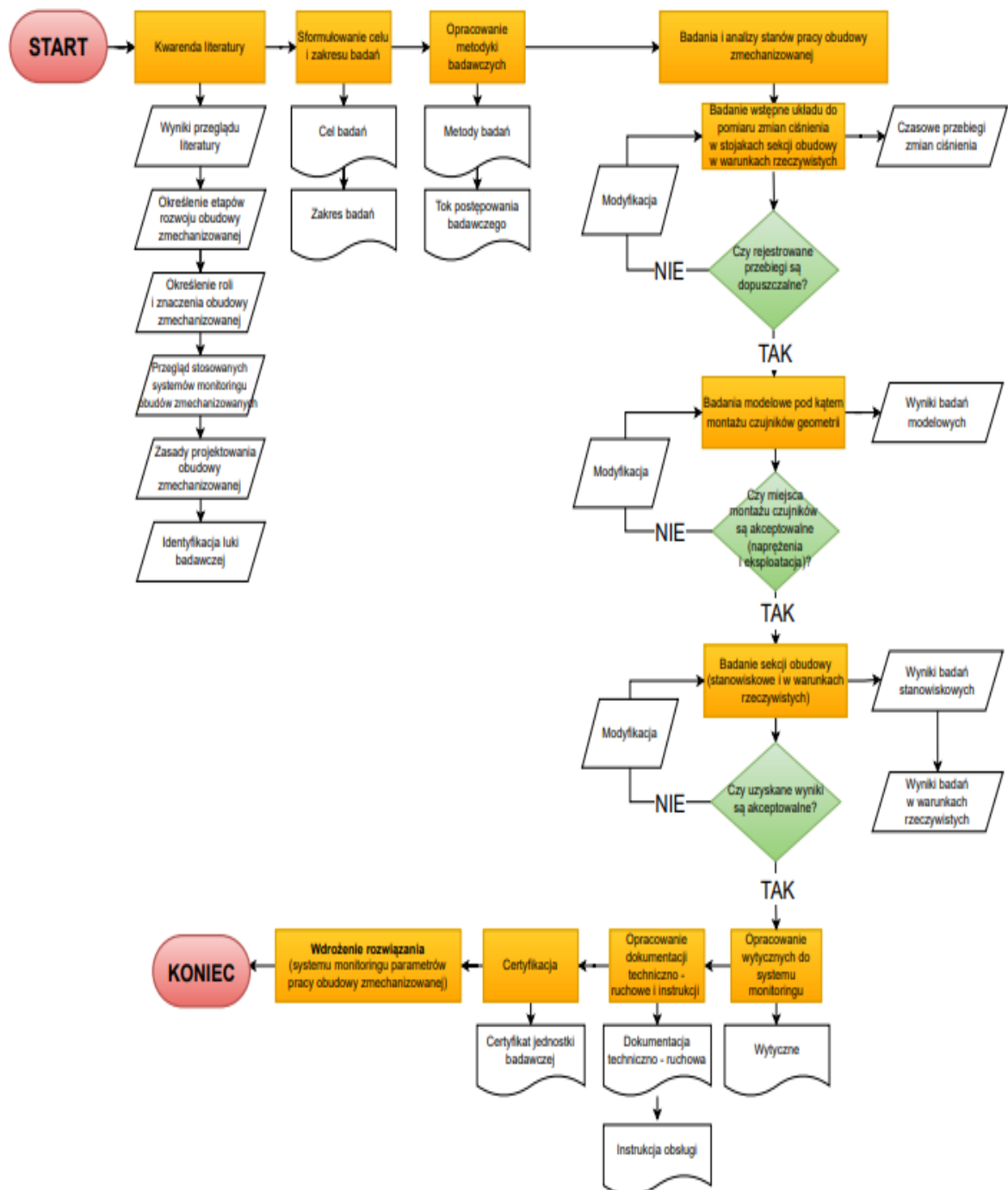
Opracowana metodyka badawcza była realizowana z wykorzystaniem następujących metod badawczych:

- systematyczny przegląd literatury, który wykorzystano do analizy materiałów źródłowych dotyczących tematyki pracy,

- metoda elementów skończonych, którą zastosowano do przeprowadzenia badań modelowych konstrukcji sekcji obudowy zmechanizowanej,
- badania stanowiskowe na obiektach rzeczywistych, którym poddano sekcje obudowy zmechanizowanej oraz wybrane jej części.
- badania w warunkach rzeczywistych wraz z pomiarem własności fizycznych badanego obiektu, które objęły sekcje obudowy zmechanizowanej eksploatowane w warunkach rzeczywistych,
- metody analityczne (statystyczne) obróbki danych wraz z analizą niepewności pomiarowej,
- metody analizy i syntezy uzyskanych wyników (danych diagnostycznych), w celu pozyskania informacji i wiedzy w zakresie badanej problematyki.

Każda z powyższych metod była dostosowana do specyfiki badanego problemu (obiektu) i stanowiła część opracowanej i zastosowanej metodyki. Szczegółowy tok postępowania badawczego, wynikający z opracowanej metodyki przedstawiono na rysunku 4.2.

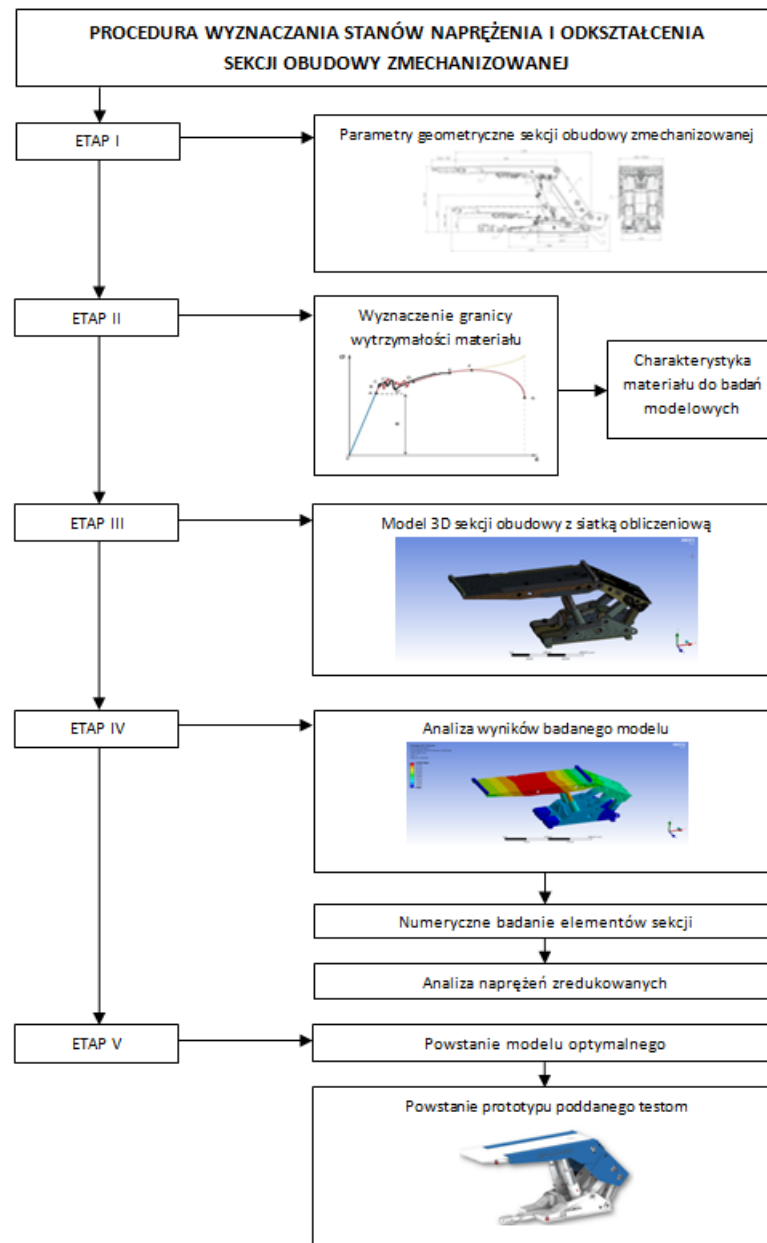
Zgodnie z przedstawionym na rysunku 4.2 tokiem postępowania badawczego kluczowe znaczenie dla osiągnięcia założonych celów pracy miała jej część obejmująca badania modelowe oraz prowadzone w warunkach rzeczywistych i stanowiskowych. Prace z tym związane, realizowane były w ramach działań ujętych w czwartym etapie opracowanej metodyki badawczej (rys. 4.1.) i obejmowały szereg działań doskonalących i modyfikujących konstrukcję i sposób pomiaru parametrów pracy obudowy. Szczególnie w obszarze badań stanowiskowych i w warunkach rzeczywistych konieczne było wprowadzenie wielu udoskonaleń oraz działań korygujących i modyfikujących w systemie monitorującym pracę sekcji. Opracowany tok postępowania badawczego (rys. 4.2) wraz z przyjętą metodyką (rys. 4.1) stanowił podstawę do realizacji pracy w celu osiągnięcia przyjętych celów.



Rys. 4.2. Szczegółowy tok postępowania badawczego

5. Badania modelowe sekcji obudowy zmechanizowanej

Proces projektowania zmechanizowanej obudowy ścianowej jest niezwykle złożony i wymaga szeregu działań związanych z powstaniem maszyny kompletnej, jaką bez wątpienia jest sekcja obudowy zmechanizowanej [114, 116]. Wykonanie obudowy spełniającej założenia producenta i użytkownika, w myśl obowiązujących przepisów wymaga szeregu badań i analiz, w tym w szczególności analiz wytrzymałościowych na etapie projektowania tej maszyny. Zastosowanie badań modelowych, w procesie opracowywania metody badania obudowy zmechanizowanej dla określenia wytycznych dla systemu monitorowania parametrów jej pracy miało na celu wyznaczenie stanów naprężenia i odkształcenia w jej elementach mechanicznych. Celem tych prac była przede wszystkim identyfikacja potencjalnych miejsc, w których mogą być zainstalowane czujniki do pomiaru parametrów geometrycznych sekcji obudowy zmechanizowanej. Proces projektowania konstrukcji obudowy, dla wyznaczenia parametrów wytrzymałościowych można podzielić na kilka etapów, których schemat przedstawiono na rysunku 5.1. Z kolei w kolejnych podrozdziałach omówiono poszczególne etapy tego procesu.



Rys. 5.1. Etapy realizacji badań modelowych sekcji obudowy zmechanizowanej celem wyznaczenia stanów naprężenia i odkształcenia jej elementów

5.1. Wyznaczanie parametrów wytrzymałościowych niezbędnych do przeprowadzenia badań modelowych elementów sekcji obudowy

Obciążenia zewnętrzne działające na rzeczywiste ciało (np. elementy sekcji obudowy), są przyczyną powstawania stanu naprężenia i odkształcenia w tym ciele. W przypadku osiągnięcia obciążeń przekraczających wartości dopuszczalne poszczególnych elementów konstrukcji może dojść do ich trwałych odkształceń lub nawet zniszczenia. Stan naprężenia i odkształcenia pod wpływem zewnętrznych obciążeń zależy od wielu czynników, z których najistotniejszymi są: rodzaj

materiału, wielkość sił działających na konstrukcję, warunki środowiskowe oraz stan eksploatowanej maszyny [21, 114, 116].

W celu analizy stanów naprężenia i odkształcenia poszczególnych elementów maszyn (obudowy), z dużym powodzeniem stosuje się badania modelowe oparte o różne metody analityczne. W przypadku elementów mechanicznych sekcji obudowy szczególnie skuteczne są metody oparte o teorie elementów skończonych. Dają one duże możliwości symulacji stanów obciążenia jej elementów, a zatem także analizy stanów odkształcenia i naprężenia. Uzyskane wyniki można porównywać z obowiązującymi normami i przepisami oraz zaleceniami producenta czy też użytkownika [69 - 71]. Wszystkie te działania mają zagwarantować bezpieczeństwo oraz ograniczyć ewentualne problemy w trakcie eksploatacji danej maszyny (obudowy), a co za tym idzie minimalizować straty ekonomiczne [116]. Badania modelowe, oparte o metodę elementów skończonych, w głównej mierze wykorzystują zasady mechaniki ciała stałego [1]. Modele fizyczne i matematyczne takich procesów opisują wpływ obciążeń na dany obiekt określając jego stan odkształceń i naprężeń oraz wzajemnych oddziaływań, uwzględniając jego własności materiałowe [16, 20, 31, 114, 116].

Należy także przyjąć, zgodnie z założeniami wytrzymałości materiałów, że ciało, na które działają siły zewnętrzne ulega odkształceniom, które mogą mieścić się w zakresie sprężystych i/lub plastycznych (czyli trwałych). W przypadku odkształceń plastycznych występują odkształcenia trwałe, które powodują zmianę kształtu (geometrii), co należy uwzględnić w procesie jej eksploatacji [114]. Należy także mieć na uwadze fakt, iż taki stan może doprowadzić do uszkodzenia konstrukcji, ograniczając jej funkcjonalność [114]. Prowadząc zatem analizy wytrzymałościowe oparte o badania modelowe konieczne staje się uwzględnienie w nich odpowiednich charakterystyk materiałów. W pełni zasadnym jest zatem wykorzystywanie stanów sprężysto-plastycznych, które w określonych zakresach odkształceń trwałych nie powinny negatywnie wpływać na funkcjonalność konstrukcji sekcji obudowy. Intensywność odkształcenia będąca miarą deformacji (zmiany parametrów geometrycznych), określa zmiany wymiarów długości „ l ” wyrażonych zależnością [16]:

$$\varepsilon = \lim_{l \rightarrow 0} \frac{\Delta l}{l} \quad (1)$$

gdzie:

$\mathcal{E}$ – odkształcenie (wydłużenie względne)

l – odległość pomiędzy założonymi punktami przed odkształceniem materiału,

Δl – suma odległości pomiędzy punktami powstała po odkształceniu materiału.

Zmiany odkształcenia postaciowego, występujące w tym procesie określa się na podstawie zmiany wymiarów kątowych:

$$\gamma = \lim_{CE \rightarrow 0, DE \rightarrow 0} CDE - C'D'E' \quad (2)$$

gdzie:

γ – wartość kąta odkształcenia,

CDE – punkty wyznaczone na elemencie przed odkształceniem,

$C'D'E'$ – różnica położenia punktów po procesie odkształcenia.

Stan odkształcenia opisywany jest zatem przy pomocy składowych stanu odkształcenia obejmujących względne zmiany wymiarów długościowych i kątów odkształcenia postaciowego [16, 49]. Dodatkowo odkształcenia te można rozpatrywać także z punktu widzenia czysto objętościowego, przy jednoczesnym spełnieniu warunków [16]:

$$\gamma_{xy} = \gamma_{yz} = \gamma_{xx} = 0 \quad (3)$$

gdzie:

$\gamma_{xy, yz, xx}$ – miary kątów składowych.

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z = \varepsilon \quad (4)$$

gdzie:

$\mathcal{E}_{x, y, z}$ – składowe stanu odkształcenia.

oraz czysto postaciowych przy spełnieniu warunków:

$$\cos \gamma_{xy} = \cos \gamma_{yz} = \cos \gamma_{xx} \rightarrow 1 \text{ czyli } \Delta V = 0 \quad (5)$$

gdzie:

$\cos \gamma_{xy, yz, xx}$ – kosinusy kątów składowych odkształceń,

ΔV – suma przemieszczenia.

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z = \varepsilon \quad (6)$$

gdzie:

$\mathcal{E}_{x, y, z}$ – składowe stanu odkształcenia.

W przypadku sekcji obudowy zmechanizowanej mamy do czynienia z konstrukcją, która musi przenieść deformacyjne oddziaływanie górotworu. Najlepszym stanem jej obciążenia jest taki, aby jej elementy pracowały w zakresie odkształceń sprężystych. Natomiast odkształcenia trwałe, jeśli już wystąpią, to nie powinny ograniczać jej funkcjonalności. Osiągnięcie takiego stanu, przy bardzo losowym i trudnym do przewidzenia oddziaływaniu górotworu nie jest proste, co powoduje że konstrukcja sekcji obudowy zmechanizowanej musi być odpowiednio zaprojektowana i wykonana. W szczególności dotyczy to doboru odpowiednich współczynników bezpieczeństwa, które powinny uwzględniać losowy charakter jej obciążenia. Jest to szczególnie istotne w przypadku wystąpienia obciążenia dynamicznego czy też zmiennego w czasie, których charakter, a zatem i skutki zupełnie odbiegają od obciążeń statycznych.

Oczywiste jest zatem, że w trakcie analizy wytrzymałościowej elementów i całych sekcji obudowy, szczególnie w trakcie badań modelowych konieczne jest uwzględnienie wielu scenariuszy możliwych kombinacji obciążenia [114, 116]. Dotyczy to także badań mających na celu określenie miejsc montażu uchwytów na czujniki do pomiaru zmiany geometrii sekcji. Ich rozmieszczenie nie powinno zaburzać stanu naprężenia i odkształcenia sekcji niezbędnych do realizacji funkcji jej pracy.

W związku z tym, w procesie konstruowania, a w szczególności prowadzenia badań modelowych bardzo ważne jest przyjęcie odpowiednich parametrów wytrzymałościowych dobranego materiału. Ważne jest żeby uwzględnić w tym procesie zależność między stanem odkształcenia i naprężenia, z uwzględnieniem charakterystyk materiałowych. Zatem w pełni zasadny jest zapis [16, 49]:

$$\Sigma=f(\varepsilon) \quad (7)$$

gdzie:

Σ – wartości naprężeń,

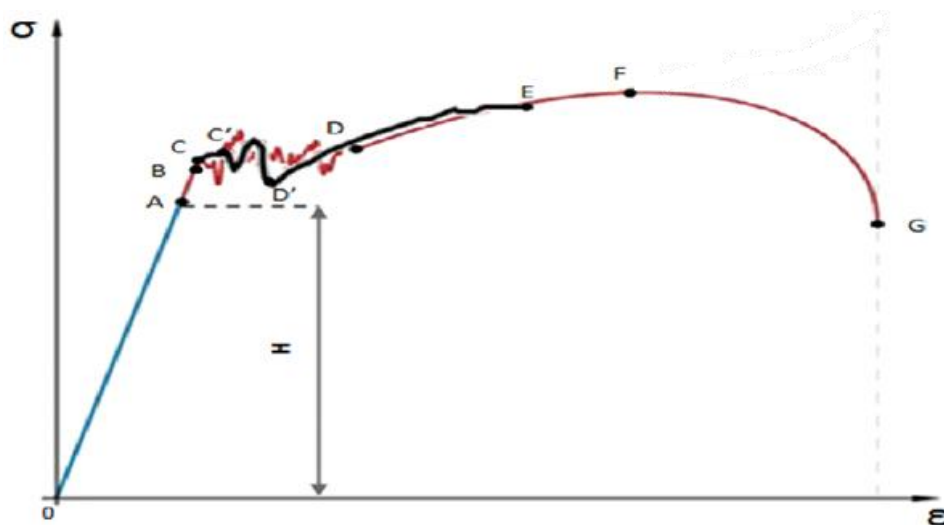
$f(\varepsilon)$ – wartości funkcji odkształceń.

Dane o funkcjach f wzajemnych zależności Σ od ε uzyskuje się przez odpowiednie próby wytrzymałościowe zgodnie z normami i przepisami bezpieczeństwa użytkowania maszyn i urządzeń [69, 70, 71, 87, 88].

Aby wyznaczyć te parametry, materiały z jakich wykonuje się elementy sekcji poddaje się szeregom badań wytrzymałościowych, pod obciążeniem stycznym (np.

próby statycznego rozciągania i ściskania oraz zginania), a także dynamicznym. Przeprowadza się także próby zmęczeniowe dla różnych typów cykli obciążenia [69 - 71]. Uzyskane na podstawie badań stanowiskowych i laboratoryjnych wyniki stanowią podstawę do przyjęcia parametrów wytrzymałościowych w badaniach modelowych.

Opracowanie modelu obliczeniowego uwzględniającego wyznaczone na podstawie badań laboratoryjnych granice sprężystości i plastyczności pozwala uzyskać na etapie projektowania wartości, które w sposób bardzo wiarygodny odwzorowują rzeczywisty stan odkształcenia i naprężenia w badanych elementach. Przekroczenie granicy plastyczności prowadzi do odkształceń trwałych, w wyniku których może dojść do wystąpienia stanów awaryjnych maszyny, co może ograniczyć możliwość jej dalszego funkcjonowania w wyrobisku ścianowym. Przykładowy wykres rozciągania stali, z której wykonane są elementy sekcji obudowy zmechanizowanej (kolor czarny), nałożony dla wykres rozciągania dla stali wzorcowej wraz z zaznaczonymi granicami przedstawiono na rysunku 5.2.



Rys. 5.2. Wykres rozciągania stali wraz z zaznaczonymi granicami wytrzymałościowymi, gdzie poszczególne punkty oznaczają: A – granica proporcjonalności, B – granica sprężystości, C – granica plastyczności dla stali wzorcowej, C' – granica plastyczności dla badanej stali, D – umocnienie wzorcowego materiału, D' – umocnienie badanej stali, E – wytrzymałość doraźna badanej stali, F – wytrzymałość doraźna dla stali wzorcowej, H – wartość naprężeń na granicy ważności prawa Hooke'a

Na rysunku 5.2 granicę proporcjonalności określa wartość naprężeń i odkształceń w punkcie A, który stanowi także granicę ważności prawa Hooke'a. Natomiast punkt B definiuje parametry wytrzymałościowe na granicy sprężystości. Widać wyraźnie, że mimo zachowania sprężystego charakteru zmian ich zależność

od naprężeń ma charakter nieliniowy. W dalszym ciągu jednak materiał zachowuje swój sprężysty charakter. Granicę plastyczności oznaczono jako punkt C. Od tego momentu wzrost naprężeń powoduje pojawienie się trwałych odkształceń. Punkt C' charakteryzuje granicę plastyczności dla stali badanej, tj. stal, z której produkowana jest obudowa zmechanizowana. Kolejny fragment wykresu oznacza część dużych odkształceń, tzw. obszar płynięcia materiału. Od punktu D obserwujemy strefę umocnienia materiału dla próbki wzorcowej, lecz dla stali badanej znajduje się ona w punkcie D'. Z kolei w punkcie F (dla próbki wzorcowej) i E (dla stali badanej) obserwujemy maksymalną wytrzymałość badanego materiału, a w punkcie G następuje jego zniszczenie. Przedstawiony wykres przedstawia klasyczny wykres rozciągania materiału sprężysto-plastycznego z umocnieniem. Taki materiał (stal) stosowany jest na elementy sekcji obudowy i gwarantuje prezentowany przebieg odkształceń. Daje zatem, w przeciwieństwie do materiałów bardziej kruchych, możliwość pewnych deformacji elementów sekcji, koniecznych z punktu widzenia jej podatności i dostosowania się do deformacyjnego oddziaływania górotworu. Podatność konstrukcyjna sekcji ma także znaczenie dla poprawnej współpracy między obudową, a górotworem.

5.2. Etapy badań modelowych sekcji obudowy zmechanizowanej

Po wyznaczeniu parametrów wytrzymałościowych materiałów z jakich są wykonywane elementy sekcji obudowy (rozdział 5.1) oraz uwzględniając przyjęte dane projektowanej obudowy zmechanizowanej (tabela 5.1) realizowane są kolejne etapy badań modelowych. Badania te omówiono na przykładzie dwustojakowej podporowo-osłonowej sekcji z lemniskatowym mechanizmem prowadzenia stropnicy.

Tabela 5.1. Parametry badanej sekcji obudowy zmechanizowanej

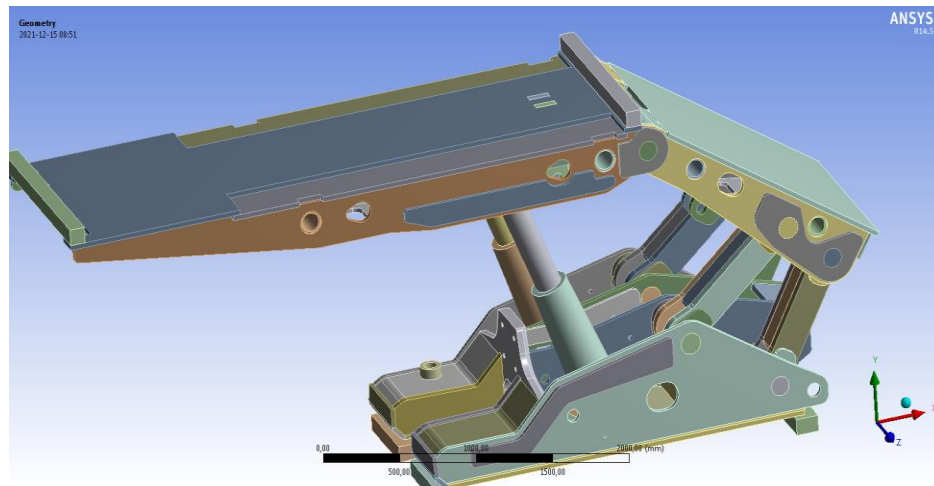
Nazwa	Wartość	Jednostka
Zakres wysokości	1,50 ÷ 3,50	[m]
Zakres roboczy obudowy – dla pokładów nietąpających	1,70 ÷ 3,40	[m]
Zakres roboczy obudowy – dla pokładów tąpających	1,80 ÷ 3,40	[m]
Podziałka zestawu	1,50	[m]
Krok obudowy	do 0,8	[m]

Nachylenie ściany podłużne	do 35	[°]
Nachylenie ściany poprzeczne	±20	[°]
Podporność wstępna stojaków dla 25 MPa (30 MPa)	2 x 1767 (2 x 2120)	[kN]
Podporność nominalna stojaków dla 43 MPa	2 x 3039	[kN]
Nacisk jednostkowy na spąg	1,850 ÷ 2,083	[MPa]
Nacisk jednostkowy na strop	0,782 ÷ 1,060	[MPa]
Siła przemieszczania zestawu dla 30 MPa	603	[kN]
Siła przesuwu przenośnika dla 30 MPa	291	[kN]
Ciśnienie zasilania	25 ÷ 30	[MPa]
Masa	~ 20 500	[kg]

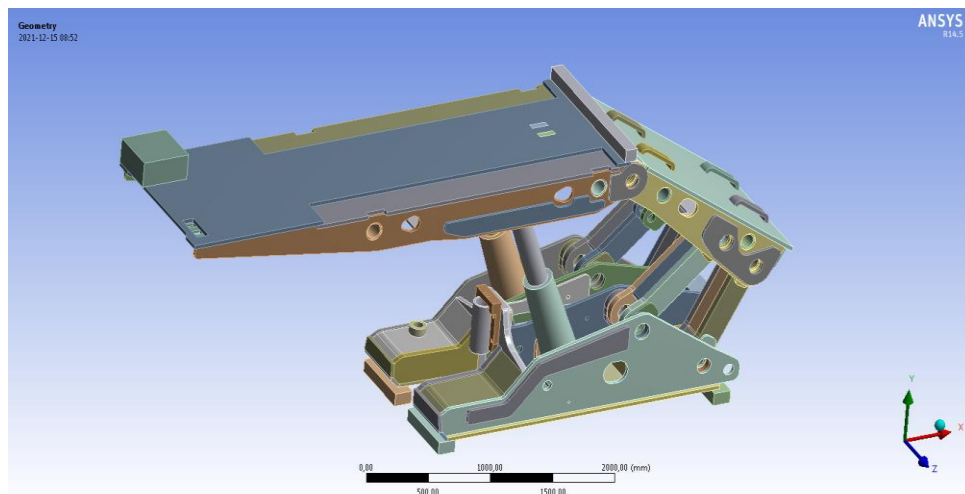
W ramach realizowanych badań projektowych skorzystano z nowoczesnego systemu prototypowania opartego o modele 3D badanej sekcji obudowy [114]. Mając to na uwadze, w kolejnych etapach prac opracowano model sekcji obudowy. Poszczególne etapy tych prac, zachowujące także wymagania odpowiednich norm [69 - 71], omówiono w kolejnych podrozdziałach.

5.2.1. Opracowanie modelu do analizy

Pierwszym etapem analizy numerycznej sekcji obudowy zmechanizowanej było opracowanie modelu płaskiego tej sekcji celem określenia jego cech geometrycznych i kinetostatycznych. Po określeniu wymiarów konstrukcji, uwzględniając zakres roboczy, model obudowy poddany został sprawdzeniu i obliczeniu geometrii łańcucha kinematycznego [114]. Kolejno określono parametry fizyczne obudowy, tzn. jej podporność, siły wewnętrzne działające w obudowie, kąt nachylenia stropnicy, kąt tarcia oraz siły oddziaływujące na elementy konstrukcyjne. Uwzględniając obliczenia modelu płaskiego [114] został wykonany model 3D, przedstawiony na rysunkach 5.3 i 5.4, który stanowił podstawę do dalszych analiz.



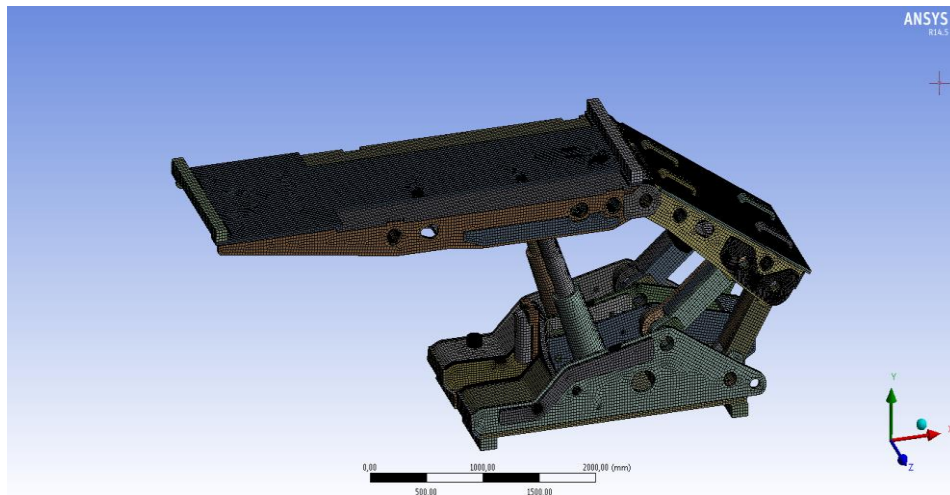
Rys. 5.3. Model 3D sekcji obudowy zmechanizowanej



Rys. 5.4. Model 3D sekcji obudowy zmechanizowanej z zaprojektowaną kostką do montażu czujników geometrii

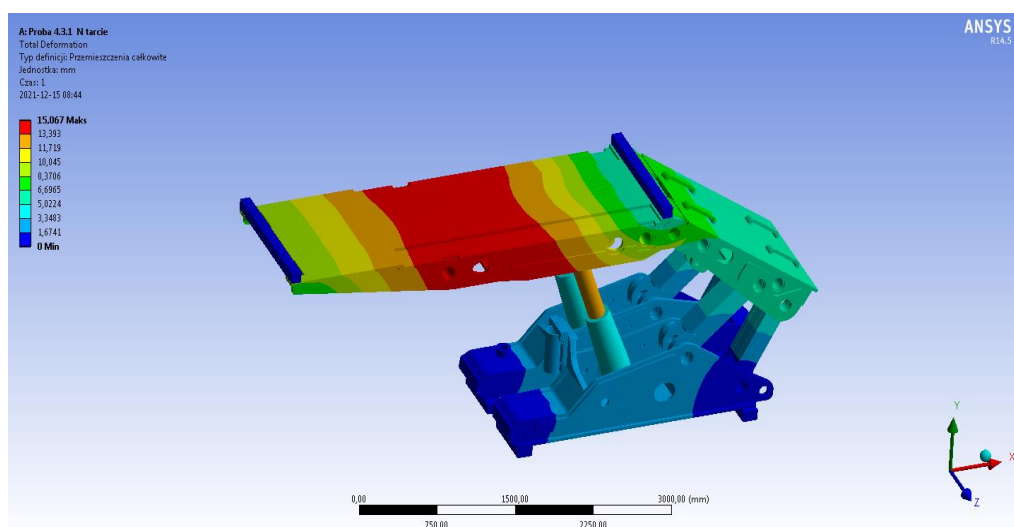
Model 3D dał możliwość wizualnego i kinematycznego sprawdzenia pracy obudowy w jej pełnym zakresie wysokościowym. Został także wykorzystany do weryfikacji ewentualnej kolizji podzespołów obudowy z innymi maszynami kompleksu ścianowego.

W kolejnym etapie badań przeprowadzono proces dyskretyzacji opracowanego modelu geometrycznego (rys. 5.5).

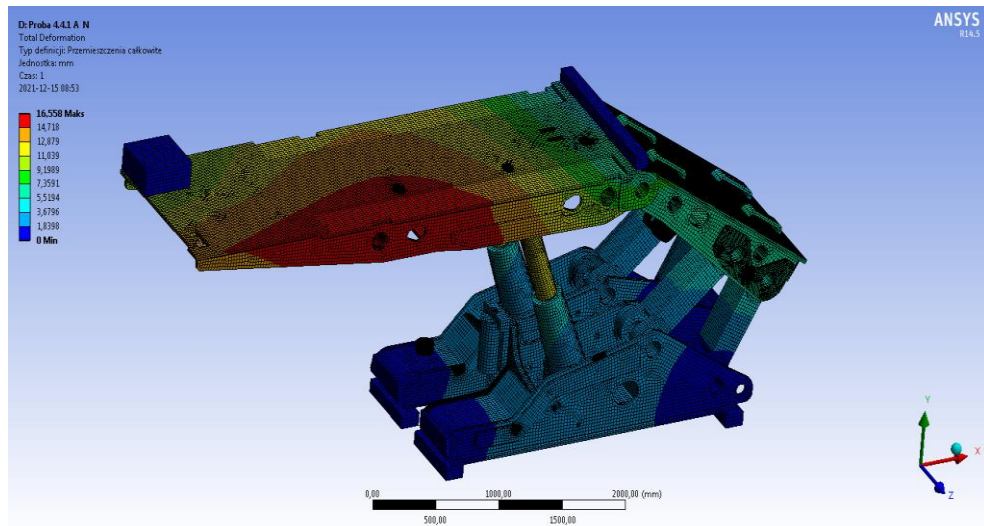


Rys. 5.5. Model 3D sekcji obudowy zmechanizowanej z siatką numeryczną

Tak przygotowany model, po uwzględnieniu warunków brzegowych został poddany badaniom wytrzymałościowym. W prowadzonej analizie zakładano obciążenia obejmujące różne wartości, zgodnie z wytycznymi zawartymi w normach [69 - 71]. Wg tych norm określono także sposoby obciążenia i ilości wykonywanych cykli zmęczeniowych, które obudowa musi spełnić przed dopuszczeniem do pracy [114]. Wymagania stawiane przez wytyczne tej normy odzwierciedlają potencjalne rzeczywiste warunki obciążenia sekcji w czasie pracy. W wyniku przeprowadzonych badań wyznaczono rozkłady przemieszczeń całkowitych elementów sekcji obudowy (rys. 5.6 i 5.7). Uzyskane wyniki wskazują, że największe deformacje, dla badanego sposobu obciążenia występują w stropnicy tej sekcji.

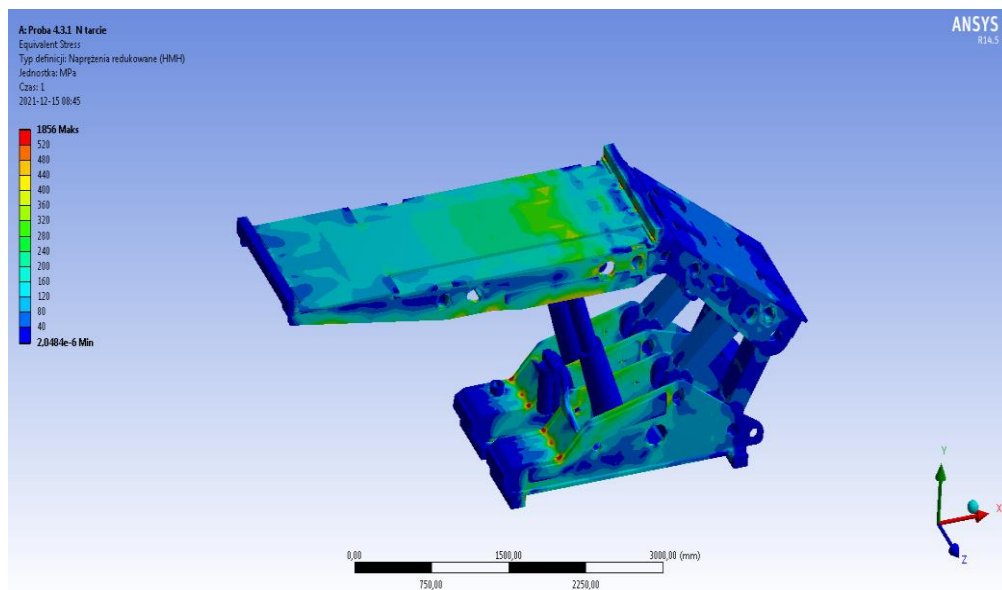


Rys. 5.6. Stan odkształcenia elementów sekcji obudowy zmechanizowanej

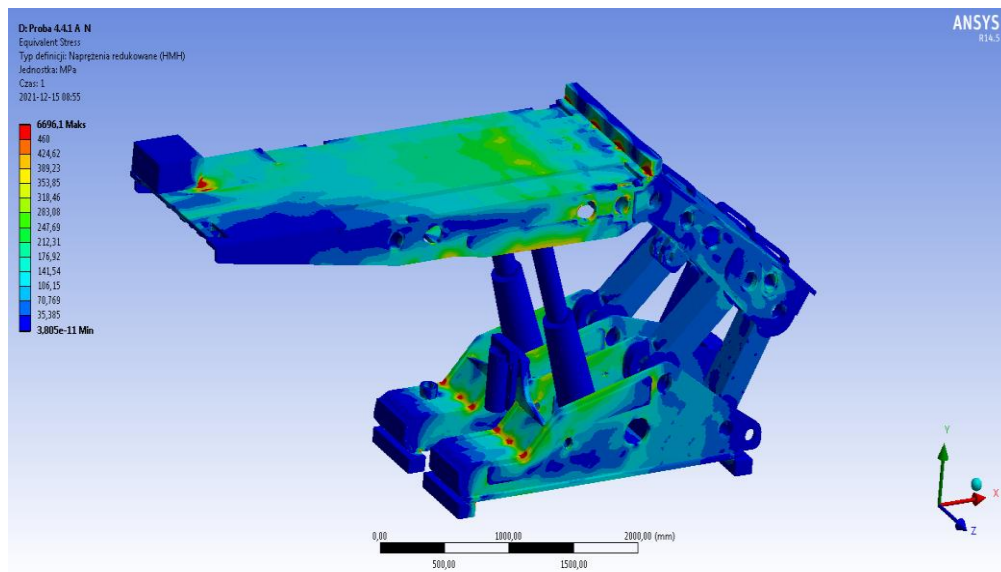


Rys. 5.7. Stan deformacji elementów sekcji obudowy zmechanizowanej odniesiony do siatki elementów skończonych

Na rysunkach 5.8 i 5.9 przedstawiono rozkłady naprężeń zredukowanych wg hipotezy Hubera – Misesa – Hencky'ego. Zgodnie z tą hipotezą, miarą wyężenia materiału, z jakiego wykonany jest badany element jest energia odkształcenia postaciowego związaną ze zmianą jego kształtu [9].

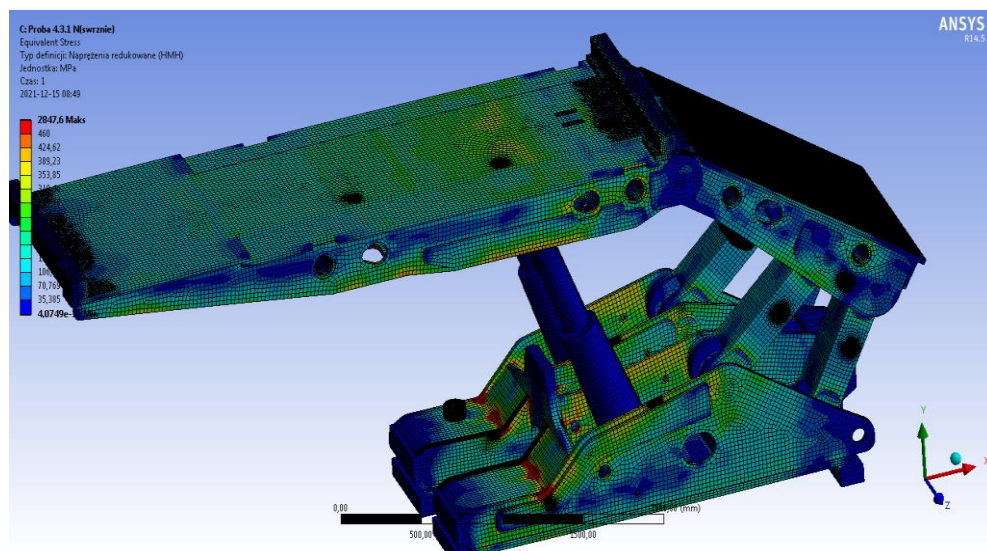


Rys. 5.8. Rozkład naprężeń zredukowanych w elementach sekcji obudowy zmechanizowanej

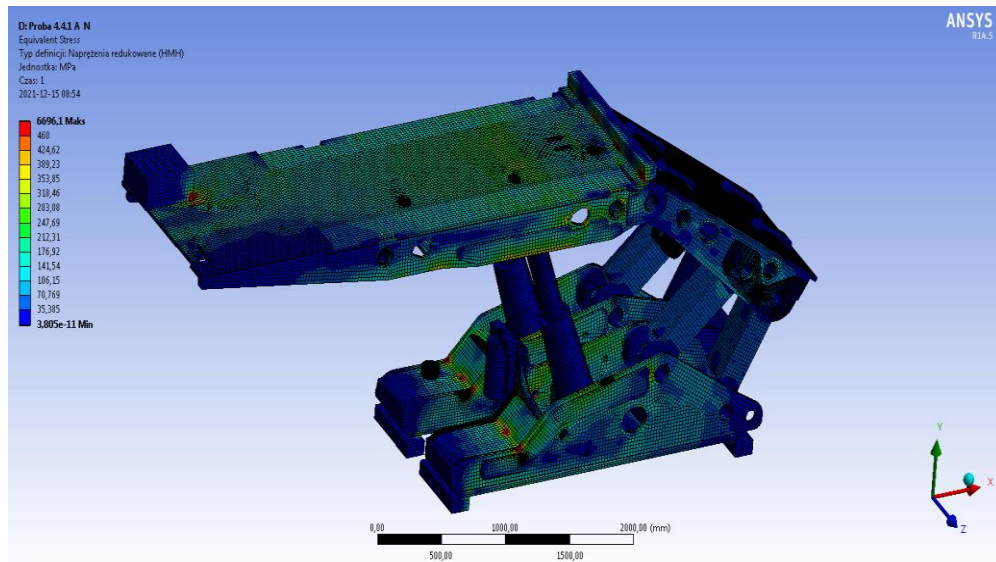


Rys. 5.9. Rozkład naprężeń zredukowanych w elementach sekcji obudowy zmechanizowanej z kostką do montażu czujnika geometrii

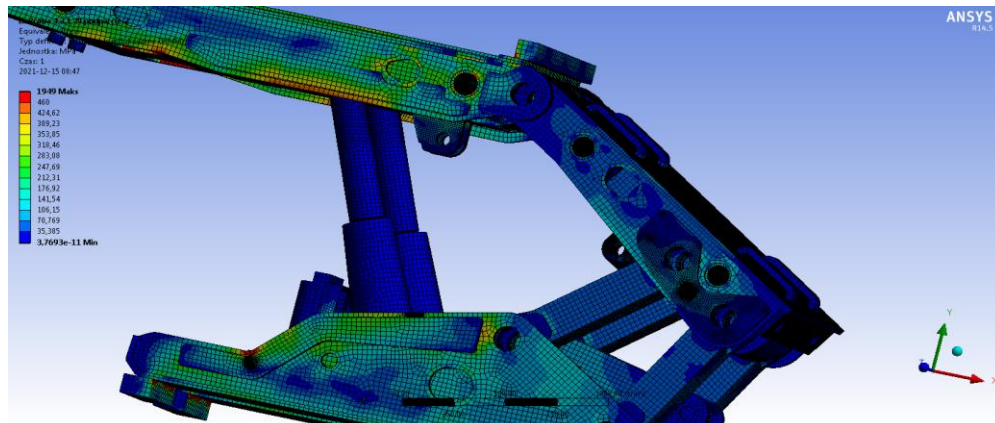
Na kolejnych rysunkach (rys. 5.10 i 5.11), przedstawiono rozkłady naprężeń zredukowanych w odniesieniu do poszczególnych elementów skończonych z jakich zbudowany został model. Bardziej szczegółowe rozkłady naprężeń zredukowanych w spągnicy i stropnicy badanej sekcji przedstawiono na rysunkach 5.12 - 5.15.



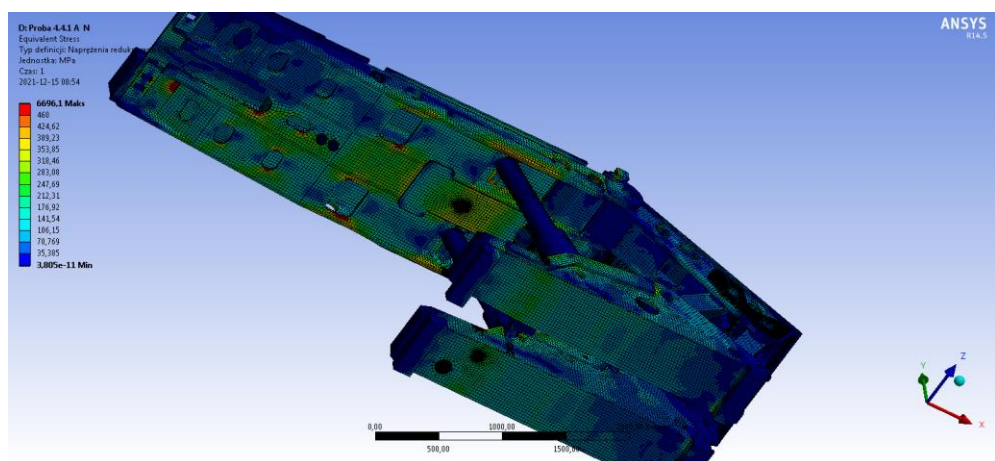
Rys. 5.10. Rozkład naprężeń zredukowanych w sekcji obudowy zmechanizowanej w odniesieniu do poszczególnych elementów siatki



Rys. 5.11. Rozkład naprężeń zredukowanych w sekcji obudowy zmechanizowanej z kostką montażową w odniesieniu do poszczególnych elementów siatki

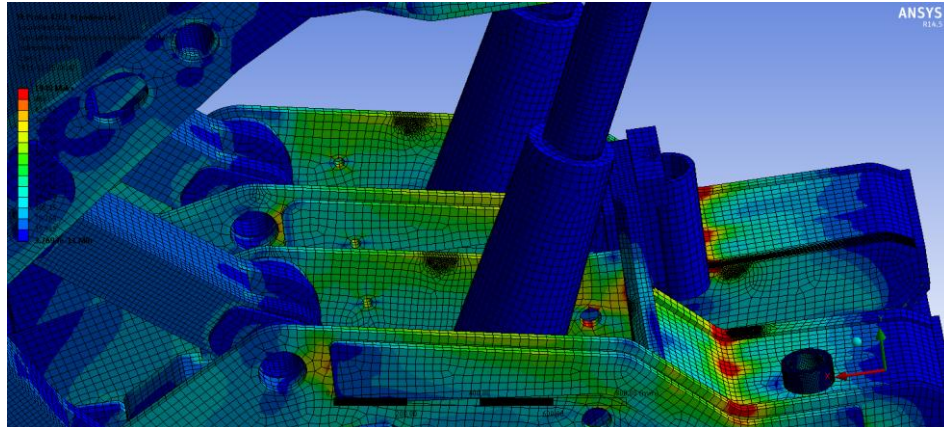


Rys. 5.12. Rozkład naprężeń zredukowanych w stropnicy sekcji obudowy zmechanizowanej z kostką montażową w odniesieniu do poszczególnych elementów siatki (widok z boku)

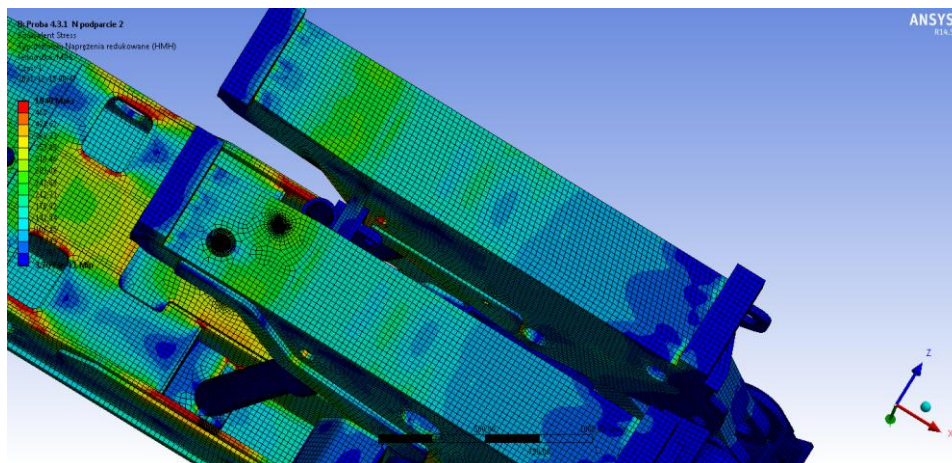


Rys. 5.13. Rozkład naprężeń zredukowanych w stropnicy sekcji obudowy zmechanizowanej z kostką montażową w odniesieniu do poszczególnych elementów siatki (widok z dołu)

Wyniki analizy wykazały, że w stropnicy i spągnicy są miejsca narażone na szczególną koncentrację naprężeń. W punktach tych mogą zatem wystąpić odkształcenia trwałe, a nawet utrata ciągłości materiału konstrukcyjnego.



Rys. 5.14. Rozkład naprężeń zredukowanych w spągnicy sekcji obudowy zmechanizowanej z kostką montażową w odniesieniu do poszczególnych elementów siatki (widok z góry)



Rys. 5.15. Rozkład naprężeń zredukowanych w spągnicy sekcji obudowy zmechanizowanej z kostką montażową w odniesieniu do poszczególnych elementów siatki (widok z dołu)

Prowadzone badania modelowe obejmujące analizę wytrzymałościową elementów sekcji obudowy umożliwiły ocenę jej konstrukcji pod względem wytrzymałościowym. Dały również możliwość analizy wpływu zamontowania kostki do montażu czujników do oceny geometrii sekcji na rozkłady tych naprężeń. Stanowią one podstawę do ewentualnych dalszych prac doskonalących konstrukcję tej sekcji.

Wyniki stanowią także podstawę do określenia wytycznych do zapewnienia bezkolizyjnej i bezpiecznej, z wytrzymałościowego punktu widzenia, pracy sekcji. Ważnym wnioskiem wynikającym z tej części badań jest także fakt, że miejsce

montażu kostki do zamocowania czujników nie powoduje praktycznie żadnych zmian w rozkładzie naprężeń zredukowanych, co nie powinno zaburzać jej pracy. Wyniki badań wytrzymałościowych stanowią podstawę do budowania prototypu sekcji obudowy, który w kolejnych etapach pracy był poddany badaniom stanowiskowym oraz w warunkach rzeczywistych (dołowych). Celem tej części pracy było już testowanie całego systemu monitoringu pracy sekcji i całej obudowy.

5.3. Podsumowanie badań modelowych

Badania modelowe stanowią bardzo ważny i istotny element procesu projektowania i konstruowania sekcji obudowy zmechanizowanej. Dają także bardzo duże możliwości analiz różnego typu obciążeń i ich wpływu na konstrukcję poszczególnych elementów sekcji oraz jej całościową pracę.

Przeprowadzone badania umożliwiły także ocenę potencjalnych miejsc montażu dodatkowych elementów (kostki) do zamocowania czujników. Te analizy wykazały, że zaproponowane miejsca tego montażu nie mają większego wpływu na rozkłady naprężeń zredukowanych w elementach sekcji oraz nie pogarszają jej właściwości kinetostatycznych.

Niewątpliwą zaletą badań modelowych, opartych o metody elementów skończonych jest możliwość prześledzenia stanów naprężenia i odkształcenia elementów sekcji pod obciążeniami odwzorowującymi stany rzeczywiste. Wyniki takich analiz poszerzają wiedzę w zakresie użytkowania, konstruowania i doboru obudowy do określonych warunków geologiczno-górnictwowych.

Szczególnie pomocny jest w tym przypadku model przestrzenny, który daje możliwość analizy stanów naprężenia i odkształcenia praktycznie w każdym punkcie badanej konstrukcji. Dotyczy to także analizy zmian konstrukcyjnych czy też materiałowych jakie mogą być w takich badaniach rozpatrzone.

Ich wyniki stanowią podstawę do prowadzenia badań w warunkach stanowiskowych, a później w warunkach rzeczywistych, już z uwzględnieniem doświadczeń z badań modelowych. Z punktu widzenia realizowanej pracy, badania te stanowiły bardzo ważną część procesu związanego z projektowaniem montażu czujników monitorujących geometrie sekcji w czasie pracy. Stanowiły także podstawę do dalszych badań stanowiskowych i w warunkach rzeczywistych.

W kolejnych rozdziałach opisano wpływ obciążeń oddziałujących na obudowę w odniesieniu do zmian ciśnienia oraz przebieg badań stanowiskowych i w warunkach rzeczywistych.

6. Badania zmian ciśnienia w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej

Kolejny etap prac objął badania zmian ciśnienia w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej. Ciśnienia te stanowią, obok parametrów geometrycznych podstawowe sygnały diagnostyczne niezbędne do opracowanie metody badania obudowy zmechanizowanej celem określenia wytycznych dla systemu monitorowania parametrów jej pracy.

Badania prowadzone były w warunkach rzeczywistych, a ich celem była ocena skuteczności stosowanego systemu monitoringu ciśnienia. System ten dostarczał w czasie rzeczywistym informacji na temat zachodzących zmian ciśnienia w stojakach hydraulicznych sekcji obudowy. Badania realizowane były pod kątem reakcji systemu na zjawiska dynamiczne i statyczne zachodzące w czasie pracy obudowy, w szczególności reakcji na wstrząsy wysokoenergetyczne [92, 94, 96]. Istotnym było określenie czasów reakcji oraz jakości rejestrowanych sygnałów. Oczywistym jest bowiem, że rejestracja ciśnienia w stojakach sekcji obudowy stanowi bardzo ważny sygnał diagnostyczny, niezbędny dla systemu monitorowania pracy obudowy, a w przyszłości dla systemu sterowania obudową ścianową.

Należy zaznaczyć, że ciśnienia w stojakach sekcji obudowy stanowią bardzo ważny parametr pracy sekcji i całej obudowy [18, 19, 26]. Dzięki jego rejestracji możliwe jest monitorowanie poszczególnych faz pracy sekcji oraz odpowiedzi (reakcji) obudowy na deformacyjne oddziaływanie górotworu. Wiedza na temat zmian wartości tych ciśnień daje zatem możliwość badania i oceny pracy poszczególnych sekcji, a zatem także identyfikacji sytuacji awaryjnych. Jest to bardzo istotne, gdyż od poprawnej pracy obudowy zależy bezpieczeństwo pracy załogi oraz efektywność całego procesu eksploatacji podziemnej. Natomiast praca obudowy w trudnych warunkach środowiskowych wynika nie tylko z losowego charakteru deformacyjnego oddziaływania górotworu, ale także towarzyszących temu procesowi zagrożeń naturalnych, takich jak metan, wyrzuty gazów i skał, wybuch pyłu węglowego, obwały, zagrożenie wodne i inne [23, 25, 95, 97, 117, 119]. Taki stan wynika z rosnącej głębokości eksploatacji oraz nawarstwiania się różnych niekorzystnych czynników geomechanicznych [56, 57, 103]. Zdecydowanie jednak największe zagrożenie dla pracy obudowy stanowi deformacyjne oddziaływanie górotworu obejmujące statyczne i dynamiczne oddziaływanie (w tym głównie wstrząsy górotworu) [98, 104, 105].

Z tego względu obudowa musi być odpowiednio zaprojektowana, a jej praca powinna być możliwie w jak najszerszym zakresie monitorowana. W tej kwestii w pełni zasadnym wydaje się monitoring ciśnień w stojakach sekcji oraz jej geometrii, co w głównej mierze ma na celu kontrolę jej stateczności. Rejestracja danych daje także możliwość monitorowania pracy zaworów bezpieczeństwa, których głównym celem jest zabezpieczenie obudowy przed przeciążeniami [100 - 103, 108, 115].

Można przyjąć, że prowadzenie badań w zakresie rejestracji ciśnień w stojakach sekcji obudowy stanowi jeden z głównych elementów całego systemu monitoringu jej pracy, a w przyszłości także systemu automatycznego sterowania tą pracą. Mając to na uwadze przeprowadzono badania zmian wartości ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaków hydraulicznych zmechanizowanej obudowy ścianowej. Pomiarzy były realizowane w warunkach rzeczywistych w jednej z kopalń. Głównym celem tych badań było wyznaczenie czasowych zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaków obudowy zmechanizowanej w trakcie procesu jej eksploatacji. Szczególnie istotne w trakcie tych badań było ustalenie jak zmieniają się rejestrowane wartości w trakcie dynamicznego oddziaływania górotworu oraz jak na te oddziaływania zareagują zawory bezpieczeństwa.

W kolejnych podrozdziałach omówiono obszar badawczy zrealizowany w trakcie tych badań oraz wyniki zmian ciśnienia w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej.

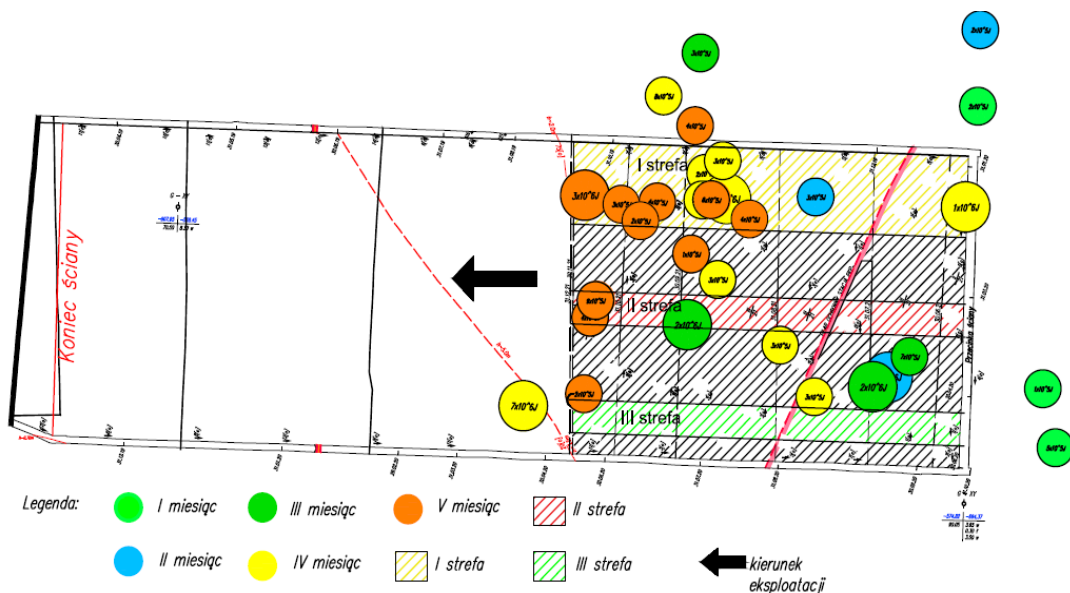
6.1. Określenie obszaru badawczego

Jednym z podstawowych sygnałów diagnostycznych, który charakteryzuje pracę sekcji obudowy zmechanizowanej jest ciśnienie w jej stojakach. Zmiany tego ciśnienia, zarówno w trakcie normalnej pracy obudowy, jak i w przypadku wystąpienia zjawisk powodujących jej przeciążenie należy traktować jako bardzo ważny sygnał dający możliwość monitorowania pracy sekcji i całej obudowy. Pomiar ciśnienia ma zatem kluczowe znaczenie w procesie badania obudowy oraz dla opracowania systemu monitorowania jej parametrów pracy. Z tego też względu proces badania obudowy zmechanizowanej musi uwzględniać pomiar ciśnień w stojakach tej obudowy. Szczególnie istotne znaczenie ma w tym przypadku monitorowanie zmian wartości ciśnienia przy wystąpieniu deformacyjnego oddziaływania górotworu na obudowę. Taki stan powoduje wzrost ciśnienia w stojakach do wartości, które często skutkują zadziałaniem zaworów bezpieczeństwa.

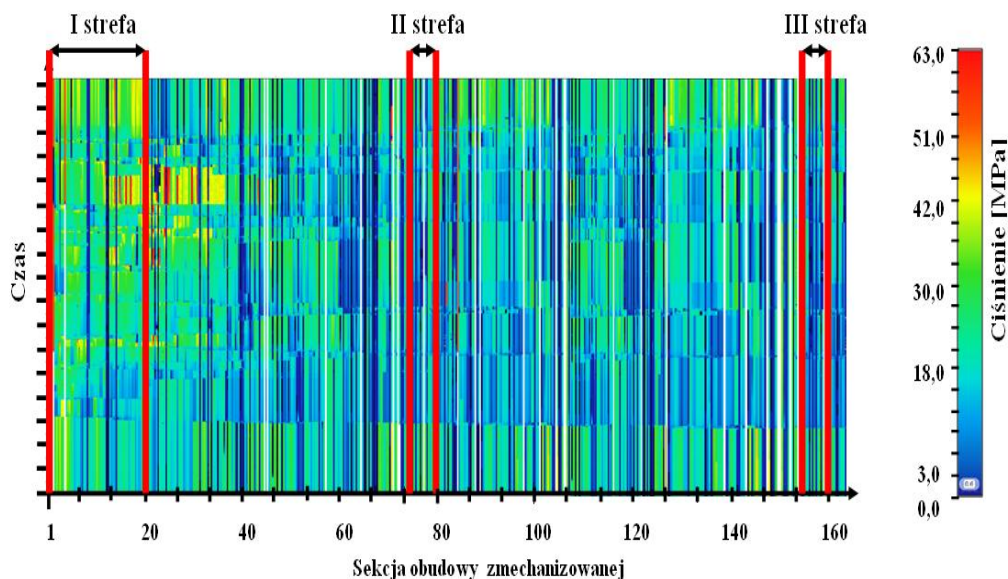
Mając na uwadze powyższe stwierdzenia, badania zmian ciśnienia w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej przeprowadzono w jednej z czynnych kopalń węgla kamiennego. Same badania objęły zarówno stany pracy sekcji bez wystąpienia dynamicznych zjawisk w górotworze, jak i z tymi zjawiskami, czyli w trakcie najczęściej spotykanym w krajowym systemie eksploatacji.

Wyrobisko ścianowe, w którym prowadzono badania określające zmiany ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej zlokalizowane było na głębokości 840 m. Jego wysokość wynosiła około 3 m, natomiast długość około 252 m. Ściana wyposażona była w 164 sekcje obudowy zmechanizowanej typu ZRP-15/35-POz. Nachylenie podłużne w ścianie kształtowało się od 0° do 10° , natomiast nachylenie poprzeczne wynosiło od 0° do 15° . Ściana zagrożona była wstrząsami górotworu [73, 90].

Na rysunku 6.1 przedstawiono badaną ścianę eksploatacyjną z zaznaczoną lokalizacją zarejestrowanych wstrząsów w górotworze, w odniesieniu do jej postępu, w okresie około 6 miesięcy. Z kolei na rysunku 6.2 przedstawiono, dla tego samego okresu mapę rozkładu ciśnienia w stojakach sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej. Na tym rysunku (6.2) zaznaczono także obszary (strefy) w ścianie, dla których prowadzono badania związane z realizacją niniejszej pracy.



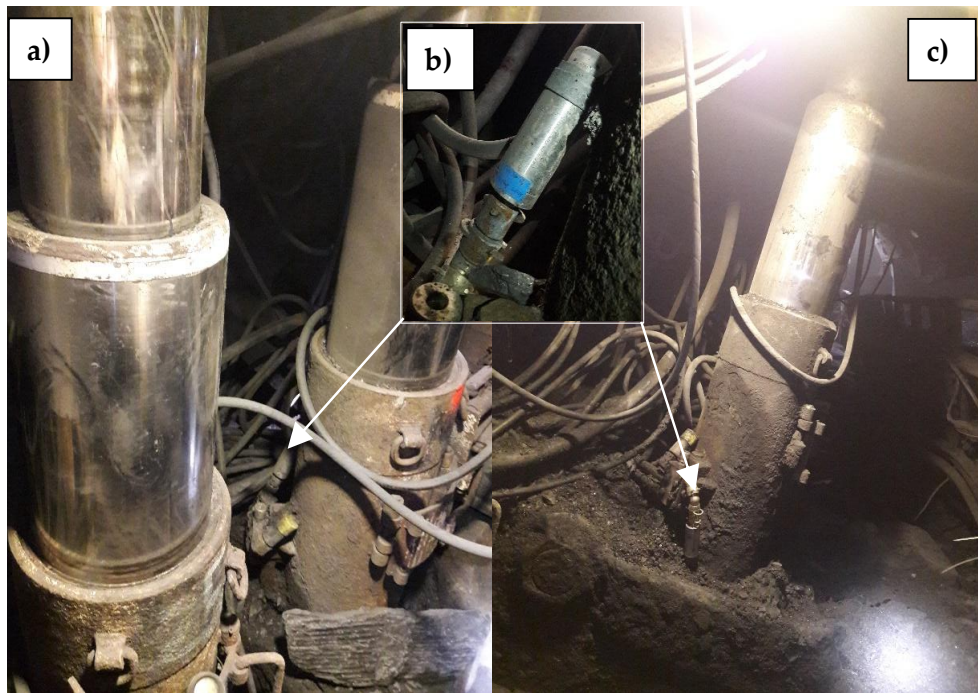
Rys. 6.1. Lokalizacja zaistniałych wstrząsów w rejonie badanej ściany eksploatacyjnej



Rys. 6.2. Mapa rozkładu ciśnienia w stojakach hydraulicznych sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej z rejonu badanej ściany wraz z zaznaczonymi strefami badań

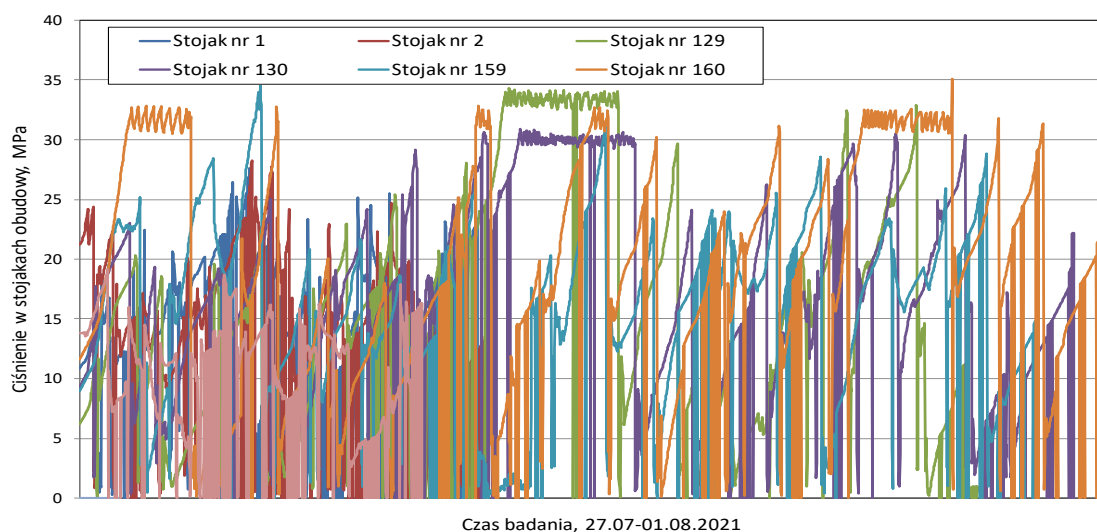
6.2. Wyniki przeprowadzonych badań

W trakcie prowadzonych badań rejestrowano zmiany wartości ciśnienia w stojakach hydraulicznych sekcji obudowy zmechanizowanej. Pomiar wartości tych ciśnień (w przestrzeni podłokowej stojaka), był realizowany z wykorzystaniem opracowanego systemu monitoringu. Badania obejmowały rejestrację wartości ciśnień w sposób ciągły, podczas prowadzonych prac eksploatacyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem wstrząsów w górotworze. Poszczególne sekcje obudowy wyposażone były w bezprzewodowe przetworniki ciśnienia, a widok zainstalowanego układu przedstawiono na rysunku 6.3. W oparciu o pozyskane dane dotyczące zagrożenia tąpniętami wyznaczono obszary, które charakteryzowały się największą ilością wstrząsów. Na ich podstawie określono trzy strefy pomiarowe w rejonie ściany wydobywczej (rys. 6.1). Ich dobór wynikał z intensyfikacji zjawisk jakie miały miejsce w tym czasie i miejscu eksploatacji.



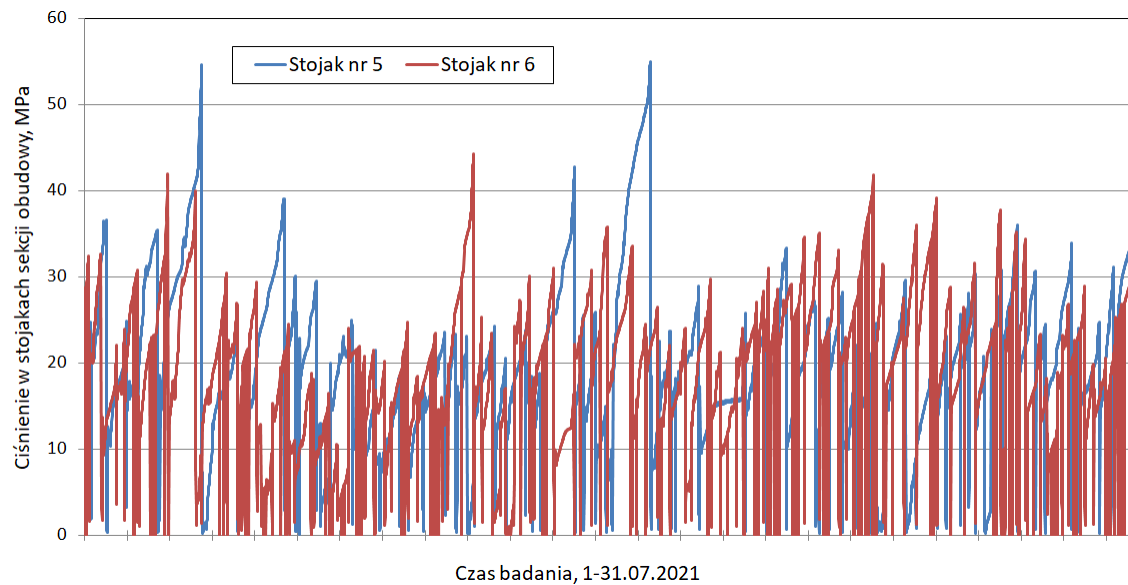
Rys. 6.3. Widok stanowiska pomiarowego w ścianie wydobywczej, gdzie: zmechanizowana obudowa ścianowa od frontu (a), przetwornik ciśnienia (b), obudowa zmechanizowana od strony przejścia załogi (c)

Przykładowe czasowe przebiegi zmiany ciśnienia w stojakach czterech sekcji obudowy zmechanizowanej w pierwszym miesiącu badań przedstawiono na rysunku 6.4. Przedstawione przebiegi obrazują pracę zaworów bezpieczeństwa polegającą na obniżaniu ciśnienia w stojakach. Ta reakcja charakteryzuje się falowaniem wykresów podczas wzrostu ciśnienia powyżej wartości nadanego progu granicznego, w tym przypadku było to 35 MPa. Przykładem są stojaki 129,130 (sekcja 65) oraz stojak 160 (sekcja 80).

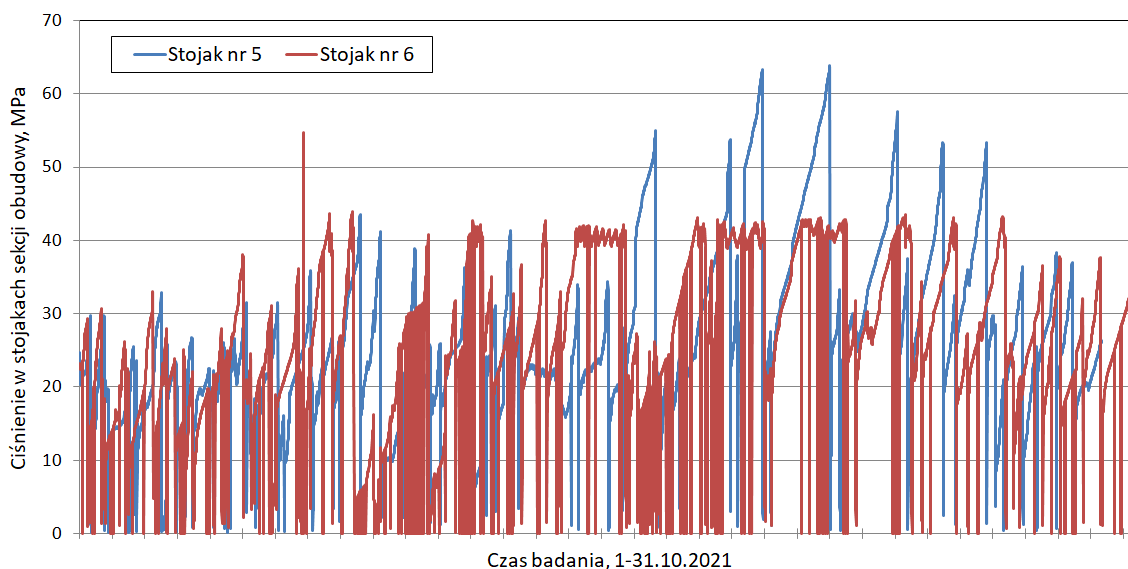


Rys. 6.4. Czasowe zmiany ciśnienia w stojakach wybranych sekcji (1,65,80,162) obudowy zmechanizowanej w trakcie ich eksploatacji podczas pierwszego miesiąca pracy

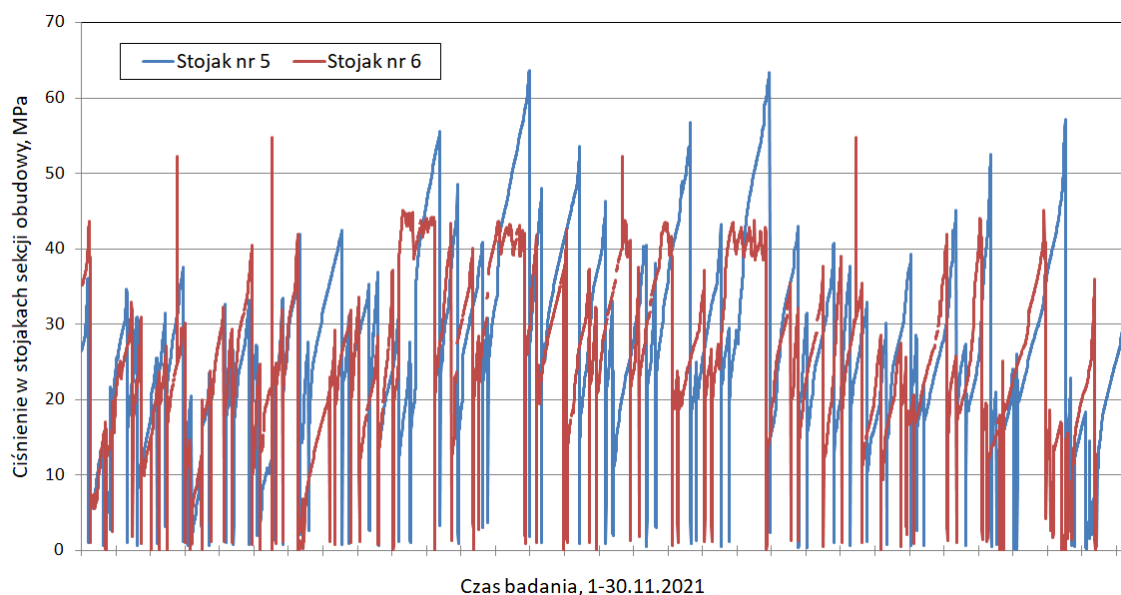
Na rysunku 6.5 przedstawiono zmiany ciśnienia w stojakach sekcji numer 3 (pod kątem zainstalowania systemu monitoringu ciśnienia pracy tej sekcji), w pierwszym miesiącu jej eksploatacji. Z kolei na rysunkach 6.6 i 6.7 przedstawiono zmiany wartości ciśnienia w tych stojakach dla kolejnych okresów badań (odpowiednio dla października i listopada). Charakterystycznym zjawiskiem dla tej analizy był znaczny wzrost ciśnienia w stojakach sekcji nr 3 wraz z kolejnym miesiącem postępu frontu eksploatacyjnego.



Rys. 6.5. Czasowe zmiany ciśnienia w stojakach badanej sekcji nr 3 obudowy zmechanizowanej w pierwszym miesiącu jej eksploatacji



Rys. 6.6. Czasowe zmiany ciśnienia w stojakach badanej sekcji nr 3 obudowy zmechanizowanej w kolejnym miesiącu (październiku) eksploatacji ścian



Rys. 6.7. Czasowe zmiany ciśnienia w stojakach badanej sekcji nr 3 obudowy zmechanizowanej w ostatnim miesiącu (listopadzie) eksploatacji ściany

Po wstępnej analizie uzyskanych wyników podjęto działania mające na celu rozszerzenie analizy danych o pomiary w przyjętych obszarach (strefach). W trakcie przeprowadzonych badań zarejestrowano zmiany wartości ciśnienia w stojakach badanych sekcji dla 63 wstrząsów górotworu, ujętych w przyjętych do badań trzech strefach eksploatowanej ściany (rys. 6.2). Pierwsza strefa obejmowała sekcje obudowy zmechanizowanej od nr 1 do nr 20, druga od nr 74 do 80, natomiast trzecia strefa obudowy od nr 154 do 160. Wybrane pomiary dla przyjętych stref przedstawiono w tabelach 6.1 - 6.3.

W tabelach tych zestawiono wartości ciśnień, jakie zarejestrowano w przestrzeni podtłokowej stojaków obudów zmechanizowanych podczas zarejestrowanej energii wstrząsów w górotworze dla badanej strefy. Ujęto w nich wartości: P_{max} oraz P_{sr} obliczone na podstawie sumy ciśnienia nominalnego i P_{max} w odniesieniu do danej energii wstrząsu.

Tabela 6.1. Zarejestrowane ciśnienia w przestrzeni podtłokowej w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej dla występujących energii wstrząsów w górotworze w pierwszej strefie badawczej.

L.p.	10^4J	P_{max} [MPa]	P_{sr} [MPa]	10^5J	P_{max} [MPa]	P_{sr} [MPa]	10^6J	P_{max} [MPa]	P_{sr} [MPa]
1	$8 \times 10^4\text{J}$	36,26	37,13	$5 \times 10^5\text{J}$	17,16	27,58	$1 \times 10^6\text{J}$	39,8	38,9
2	$6 \times 10^4\text{J}$	32,3	35,15	$2 \times 10^5\text{J}$	27,1	32,55	$2 \times 10^6\text{J}$	21,24	29,62
3	$7 \times 10^4\text{J}$	21,4	29,7	$1 \times 10^5\text{J}$	29,5	33,75	$2 \times 10^6\text{J}$	33,64	35,82

4	9x10 ⁴ J	31,35	34,67	3x10 ⁵ J	21,31	29,65	1x10 ⁶ J	22,4	30,2
5	8x10 ⁴ J	26,97	32,48	2x10 ⁵ J	36,4	37,2	7x10 ⁶ J	39,8	38,9
6	8x10 ⁴ J	17,76	27,88	7x10 ⁵ J	34,2	36,1	1x10 ⁶ J	25,26	31,63
7	9x10 ⁴ J	18,18	28,09	3x10 ⁵ J	25,9	31,95	3x10 ⁶ J	30,92	34,46

Tabela 6.2. Zarejestrowane ciśnienia w przestrzeni podtłokowej w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej dla występujących energii wstrząsów w górotworze w drugiej strefie badawczej

L.p.	10 ⁴ J	P_{max} [MPa]	$P_{śr}$ [MPa]	10 ⁵ J	P_{max} [MPa]	$P_{śr}$ [MPa]	10 ⁶ J	P_{max} [MPa]	$P_{śr}$ [MPa]
1	8x10 ⁴ J	12,6	25,3	5x10 ⁵ J	21,22	29,61	1x10 ⁶ J	14,65	26,32
2	6x10 ⁴ J	8,25	23,12	2x10 ⁵ J	18,45	28,22	2x10 ⁶ J	25,63	31,81
3	7x10 ⁴ J	7,39	22,69	1x10 ⁵ J	17,6	27,8	2x10 ⁶ J	28,46	33,23
4	9x10 ⁴ J	11,45	24,72	3x10 ⁵ J	12,36	25,18	1x10 ⁶ J	14,44	26,22
5	8x10 ⁴ J	10,31	24,15	2x10 ⁵ J	26,29	32,14	7x10 ⁶ J	13,65	25,82
6	8x10 ⁴ J	22,08	30,04	7x10 ⁵ J	24,6	31,3	1x10 ⁶ J	23,03	30,51
7	9x10 ⁴ J	31,79	34,89	3x10 ⁵ J	12,41	25,20	3x10 ⁶ J	27,78	32,89

Tabela 6.3. Zarejestrowane ciśnienia w przestrzeni podtłokowej w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej dla występujących energii wstrząsów w górotworze w trzeciej strefie badawczej

L.p.	10 ⁴ J	P_{max} [MPa]	$P_{śr}$ [MPa]	10 ⁵ J	P_{max} [MPa]	$P_{śr}$ [MPa]	10 ⁶ J	P_{max} [MPa]	$P_{śr}$ [MPa]
1	8x10 ⁴ J	18,6	28,3	5x10 ⁵ J	21,26	29,63	1x10 ⁶ J	6,19	22,09
2	6x10 ⁴ J	20,02	29,01	2x10 ⁵ J	24,58	31,29	2x10 ⁶ J	15,26	26,63
3	7x10 ⁴ J	14,01	26,00	1x10 ⁵ J	15,68	26,84	2x10 ⁶ J	19,94	28,97
4	9x10 ⁴ J	13,2	25,6	3x10 ⁵ J	17,52	27,76	1x10 ⁶ J	22,77	30,38
5	8x10 ⁴ J	15,6	26,8	2x10 ⁵ J	21,45	29,72	7x10 ⁶ J	21,89	29,94
6	8x10 ⁴ J	22,6	30,3	7x10 ⁵ J	20,4	29,2	1x10 ⁶ J	18,1	28,05
7	9x10 ⁴ J	20,11	29,05	3x10 ⁵ J	15,89	26,94	3x10 ⁶ J	20,45	29,22

W oparciu o zarejestrowane ciśnienia cieczy w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej podczas wstrząsu górotworu (tabele 6.1, 6.2, 6.3), wyznaczono średnie ciśnienia cieczy w przestrzeni podtłokowej stojaka, według zależności (8) [115]:

$$P_{sr} = \frac{P_n + P_{max}}{2} \quad (8)$$

gdzie:

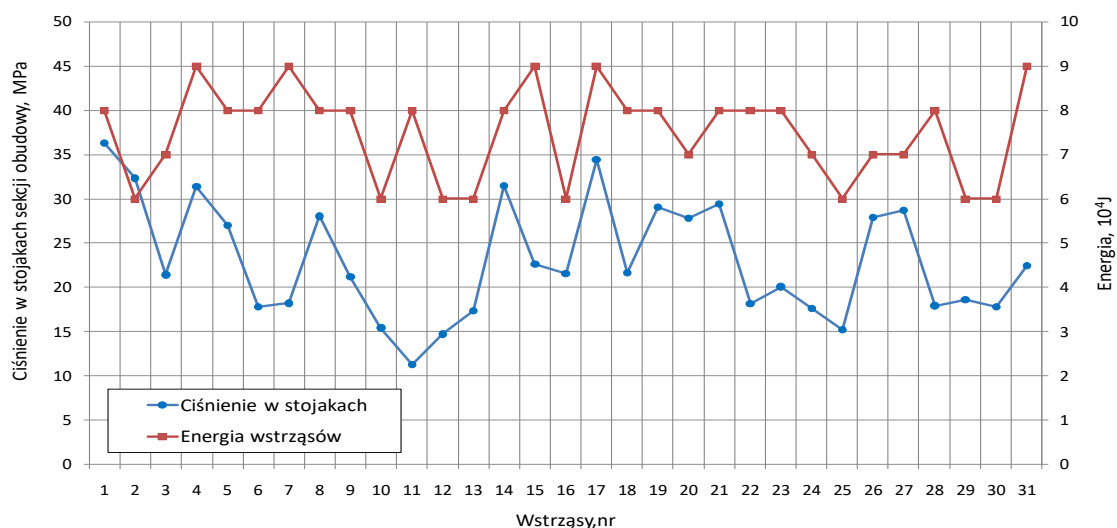
P_n – ciśnienie nominalne zaworu bezpieczeństwa, [MPa]

P_{max} – maksymalne ciśnienie cieczy w przestrzeni podtłokowej w czasie wstrząsu górotworu, [MPa]

Ciśnienie nominalne dla zaworów bezpieczeństwa dla badanych sekcji przyjęto jako 38 MPa.

W kolejnym etapie prac przeprowadzono analizy zmiany ciśnienia w stojakach badanych sekcji dla danej strefy w zależności od zarejestrowanej energii wstrząsu górotworu. Analizie poddano wstrząsy dla energii $nx10^4 J$ (31 wstrząsów), $nx10^5 J$ (25 wstrząsów), $nx10^6 J$ (7 wstrząsów). W sumie zestawiono 63 wstrząsy w stosunku do zarejestrowanego ciśnienia (P_{max}) w stojakach dla danej strefy (strefa pierwsza 1-20, druga 74-80, trzecia 154-160).

Na rysunku 6.8 zestawiono wartość ciśnienia P_{max} z pierwszej strefy, w której zlokalizowane były sekcje 1-20, podczas każdego z 31 zaistniałych wstrząsów o energii $nx10^4 J$.

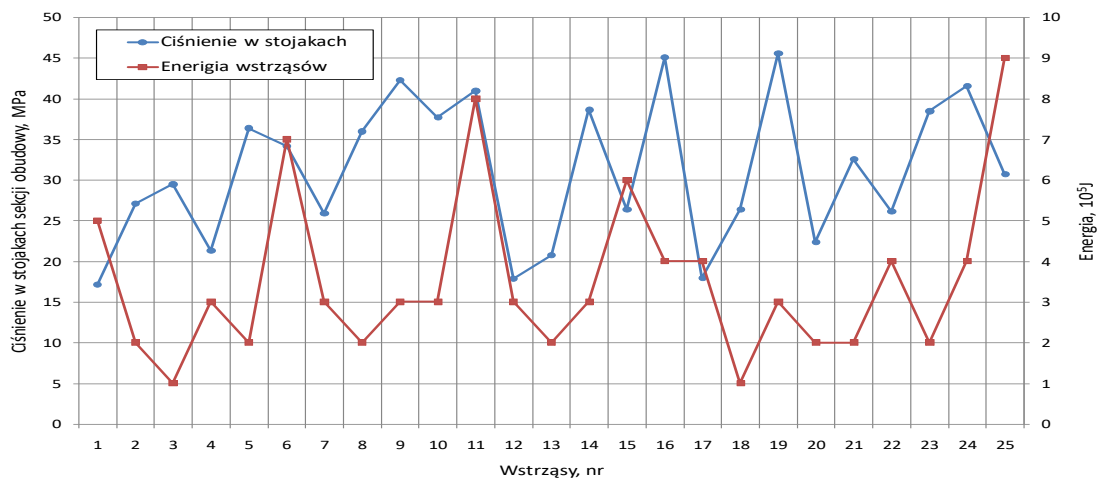


Rys. 6.8. Zestawienie ciśnień (P_{max}) w przestrzeni podtłokowej stojaków hydraulicznych obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii $10^4 J$ w pierwszej strefie badawczej

Uzyskane wyniki (rys. 6.8) dla 31 zarejestrowanych wstrząsów wskazują, że w pierwszej strefie badanej ściany zarejestrowano zróżnicowane wartości ciśnień w stojakach sekcji. Maksymalne wartości wynosiły ok. 37 MPa dla energii $9x10^4 J$.

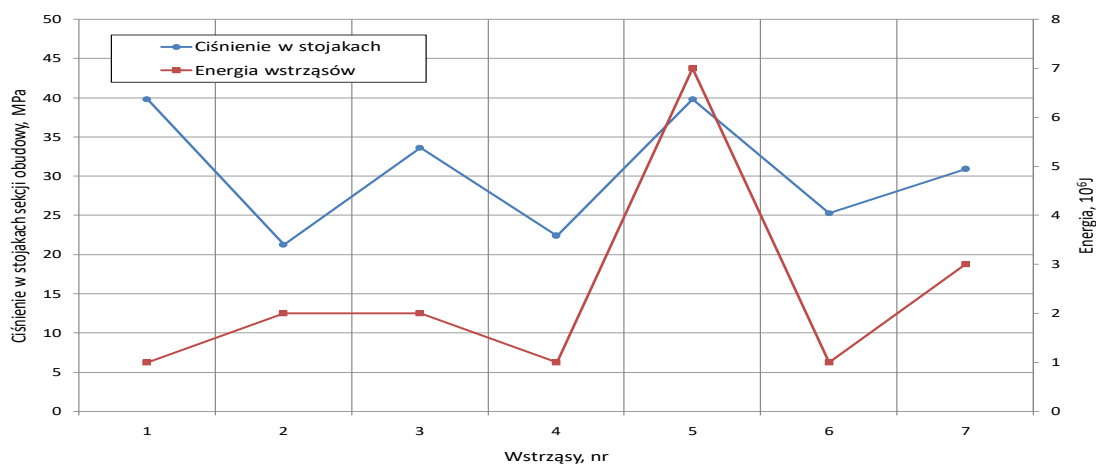
Minimalna wartość wystąpiła podczas 11-go wstrząsu i osiągnęła 12 MPa przy energii $8 \times 10^4 \text{ J}$. Wartości maksymalnych ciśnień wykazywały duże zróżnicowanie.

Na rysunku 6.9 zestawiono wartość ciśnienia P_{max} z pierwszej strefy podczas każdego z 25 zaistniałych wstrząsów o energii $n \times 10^5 \text{ J}$.



Rys. 6.9. Zestawienie ciśnień (P_{max}) w przestrzeni podtłokowej stojaków hydraulicznych obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii 10^5 J w pierwszej strefie badawczej

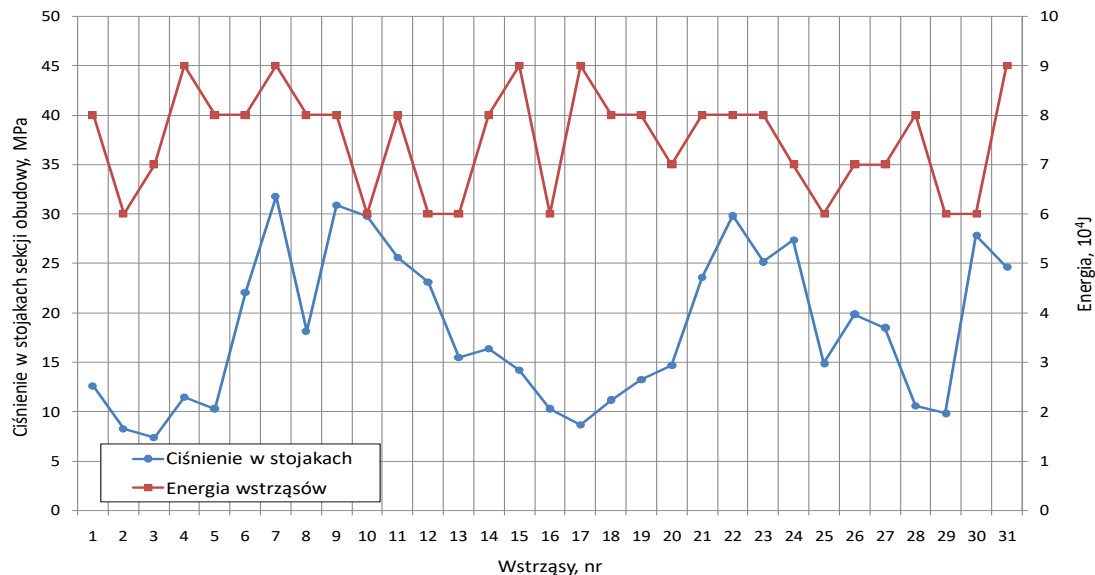
Występująca energia wstrząsu 10^5 J w pierwszej strefie spowodowała znaczne skoki ciśnienia osiągając najwyższe wartości w granicach 45 MPa (rys. 6.9). Zaistniałe wstrząsy generowały znaczny wzrost ciśnienia w części podtłokowej stojaka. W czasie zaistniałych wstrząsów numer 16 i 19 nastąpił najwyższy skok wartości. W przypadku niskiej energii wstrząsu można było zaobserwować wysokie wartości ciśnienia cieczy. Na rysunku 6.10 zestawiono wartość ciśnienia P_{max} z pierwszej strefy podczas każdego z 7 zaistniałych wstrząsów o energii $n \times 10^6 \text{ J}$.



Rys. 6.10. Zestawienie ciśnień (P_{max}) w przestrzeni podtłokowej stojaków hydraulicznych obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii 10^6 J w pierwszej strefie badawczej

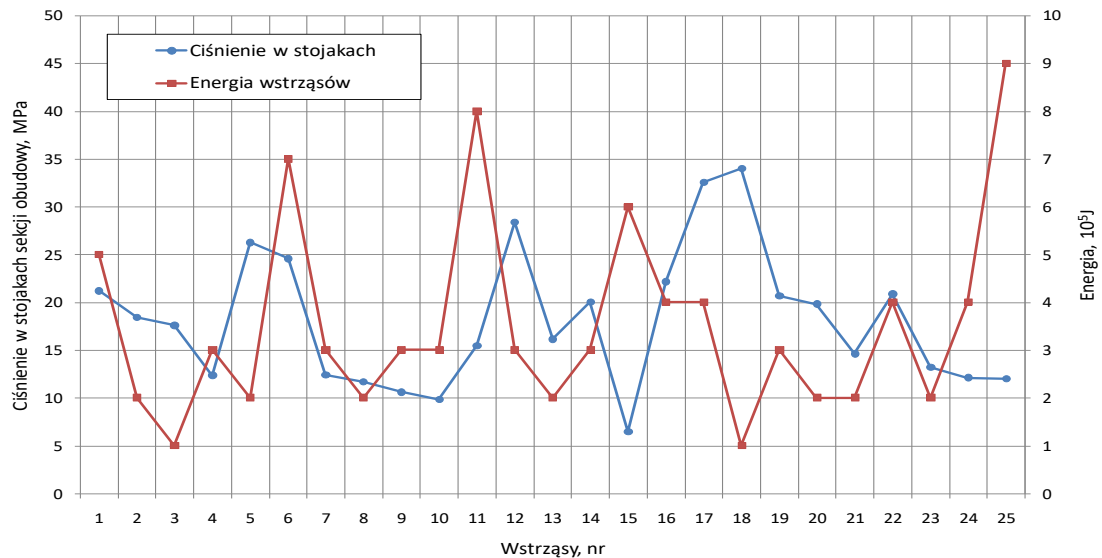
Podczas wystąpienia wstrząsu nr 5 odnotowano najwyższy wzrost ciśnienia, osiągając wartość 40 MPa dla energii $7 \times 10^6 \text{ J}$.

Na rysunkach 6.11 zestawiono wartości ciśnienia P_{max} z drugiej strefy, w której zlokalizowane były sekcje 74-80, podczas każdego z 31 zaistniałych wstrząsów o energii $n \times 10^4 \text{ J}$.



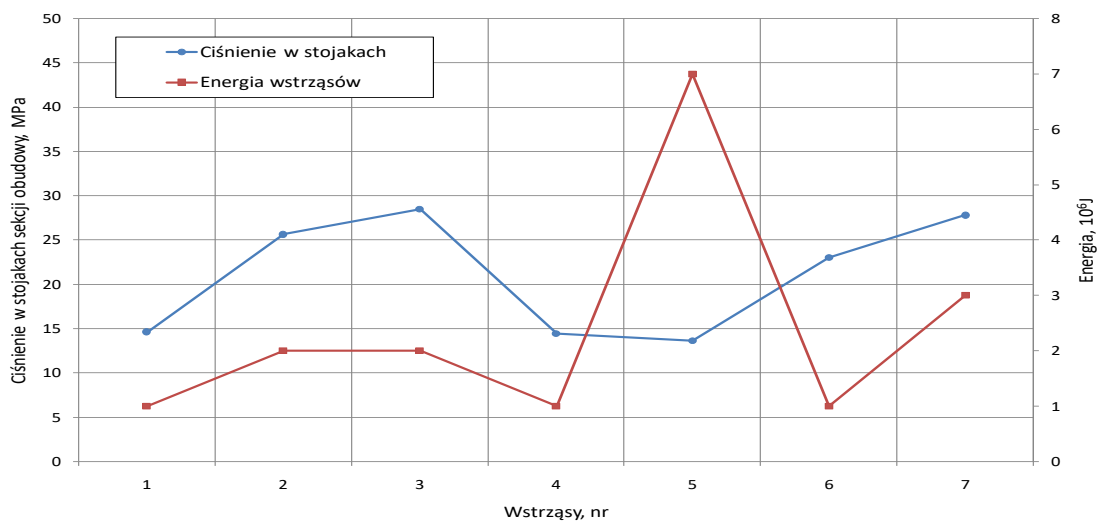
Rys. 6.11. Zestawienie ciśnień (P_{max}) w przestrzeni podtłokowej stojaków hydraulicznych obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii 10^4 J w drugiej strefie badawczej

Druga strefa charakteryzuje się zdecydowanym wzrostem wartości ciśnień o 20 MPa w czasie od 5 do 10 wstrząsu dla energii $8 \times 10^4 \text{ J}$. W obszarze od 13 do 20 zarejestrowanych wstrząsów nastąpił spadek ciśnień o 8 MPa (rys.6.11). Zmienne zarejestrowanego ciśnienia obejmowały wartości od 8 MPa do 31 MPa. Na rysunku 6.12 przedstawiono wartości ciśnienia P_{max} z drugiej strefy podczas każdego z 25 zaistniałych wstrząsów o energii $n \times 10^5 \text{ J}$.



Rys. 6.12. Zestawienie ciśnień (P_{max}) w przestrzeni podłokowej stojaków hydraulicznych obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii 10^5 J w drugiej strefie badawczej

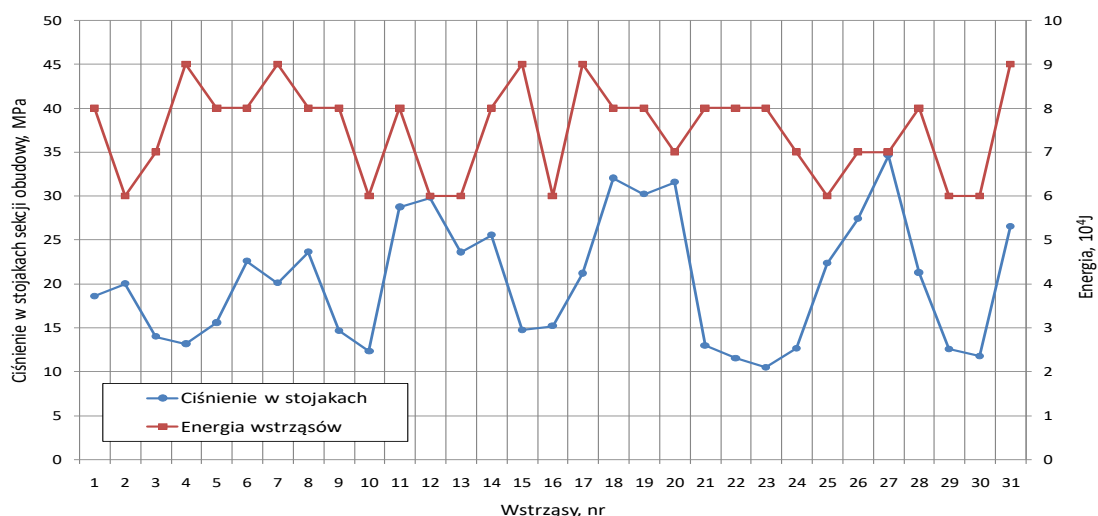
Wartości ciśnienia nie przekraczały 35 MPa w czasie 25 wstrząsów wysokoenergetycznych zaistniałych w badanej ścianie. Dynamiczny wzrost ciśnień został wygenerowany podczas wstrząsów od 15 do 19, notując w kolejnych rejestrach spadek do wartości 12 MPa. Na rysunkach 6.13 zestawiono wartość ciśnienia P_{max} z drugiej strefy podczas każdego z 7 zaistniałych wstrząsów o energii 10^6 J.



Rys. 6.13. Zestawienie ciśnień (P_{max}) w przestrzeni podłokowej stojaków hydraulicznych obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii 10^6 J w drugiej strefie badawczej

Od 1-3 wstrząsu wartości ciśnień dynamicznie wzrosły, lecz pomiędzy 4-5 wstrząsem uległy obniżeniu. Dla kolejnych wstrząsów nastąpił istotny wzrost, lecz wartości nie przekraczają granic 30 MPa.

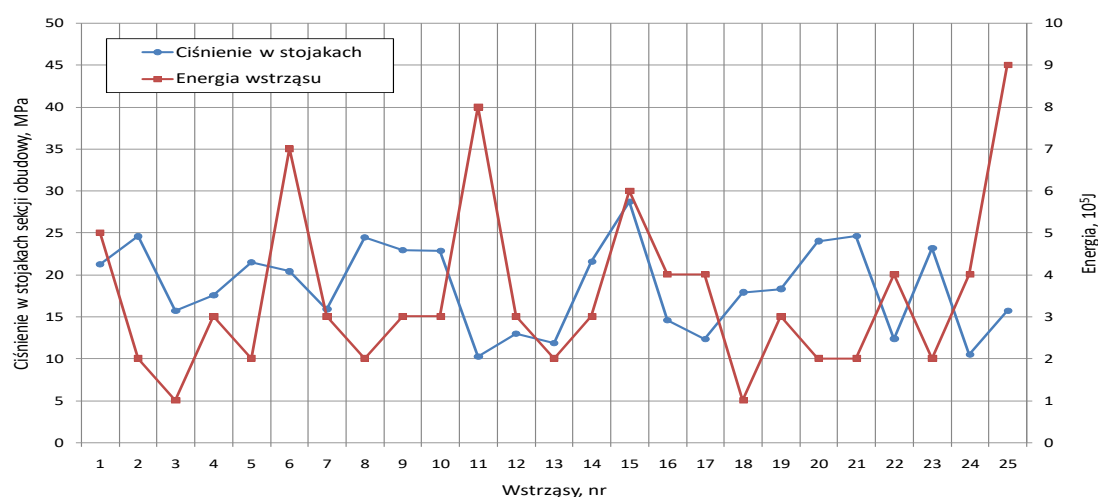
Na rysunku 6.14 zestawiono wartości ciśnienia P_{max} z trzeciej strefy, w której zlokalizowane były sekcje 154-160, podczas każdego z 31 zaistniałych wstrząsów o energii $nx10^4$ J.



Rys. 6.14. Zestawienie ciśnień (P_{max}) w przestrzeni podtłokowej stojaków hydraulicznych obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii 10^4 J w trzeciej strefie badawczej

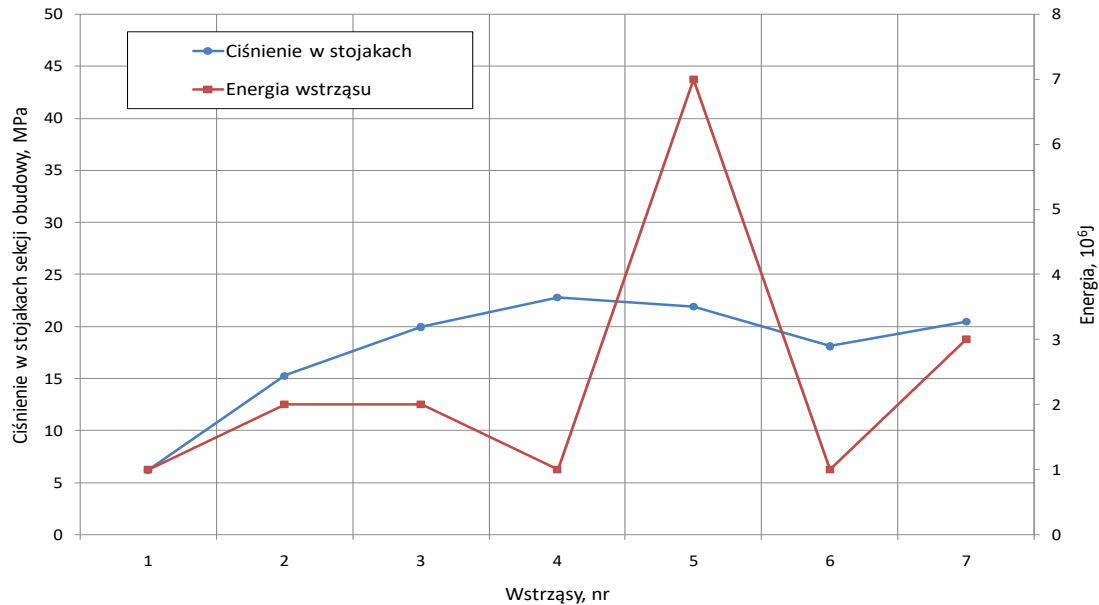
Uzyskane wyniki (rys. 6.14) w trzeciej badanej strefie dla energii 10^4 J charakteryzują się w początkowym etapie stosunkowo stałą zmianą ciśnień o różnicy ok. 5 MPa. Dla kolejnych wstrząsów od 10 do 31 nastąpiły znaczne skoki tych wartości (w granicach 15 MPa).

Na rysunku 6.15 przedstawiono wartości ciśnienia P_{max} z trzeciej strefy podczas każdego z 25 zaistniałych wstrząsów o energii $nx10^5$ J.



Rys. 6.15. Zestawienie ciśnień (P_{max}) w przestrzeni podtłokowej stojaków hydraulicznych obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii 10^5 J w trzeciej strefie badawczej

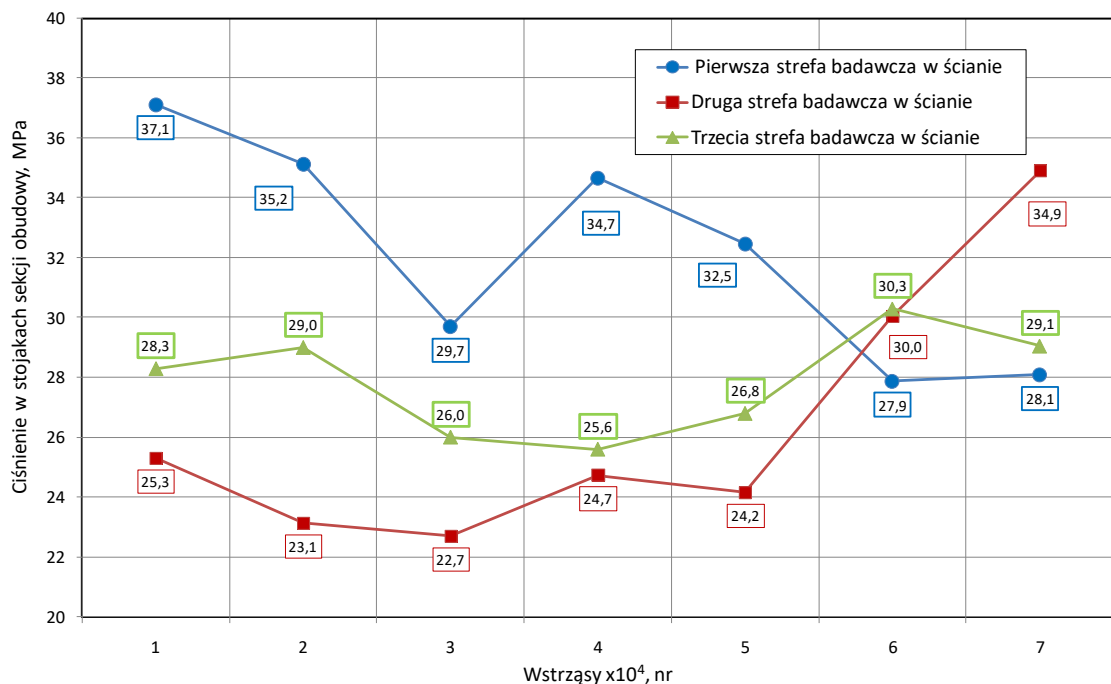
Wyniki przedstawione na rysunku 6.15 obrazują zmienne ciśnienia w stosunku do zaistniałych wstrząsów, lecz w tym przypadku można zauważyć zależność niskich wartości energii, które generują niskie wartości ciśnień w porównaniu do poprzednich stref.



Rys. 6.16. Zestawienie ciśnień (P_{max}) w przestrzeni podłokowej stojaków hydraulicznych obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii 10^6 J w trzeciej strefie badawczej

Na tym wykresie (rys. 6.16) przedstawiono 7 wstrząsów o energii $n \times 10^6$ J dla trzeciej strefy badawczej. Wartość ciśnienia wzrastała wraz z kolejnymi wstrząsami rejestrowanymi w tej strefie. W czasie wstrząsu nr 5, gdzie energia osiągnęła najwyższą wartość doszło do zmniejszenia wartości ciśnień w stojakach sekcji dla badanej trzeciej strefy.

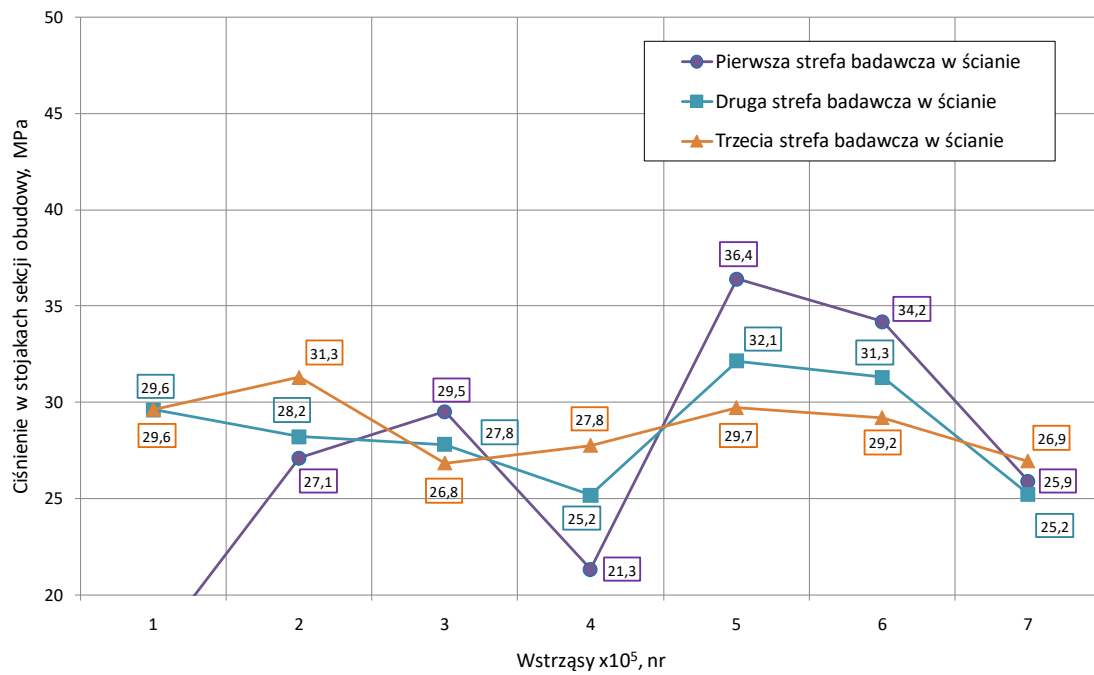
W oparciu o uzyskane pomiary ciśnienia oraz energii wstrząsu ujęte w tabelach 6.1 - 6.3 dla trzech stref badawczych wybrano największe wartości P_{max} dla uzyskania zależności P_{sr} . Natomiast na rysunkach 6.17 - 6.20 zobrazowano wyniki analizy P_{sr} ujętego w tabelach 6.1 - 6.3.



Rys. 6.17. Zestawienie średnich ciśnień (P_{sr}) w przestrzeni podłokowej stojaków w trakcie wstrząsów o energii 10^4 J dla wszystkich trzech stref badawczych

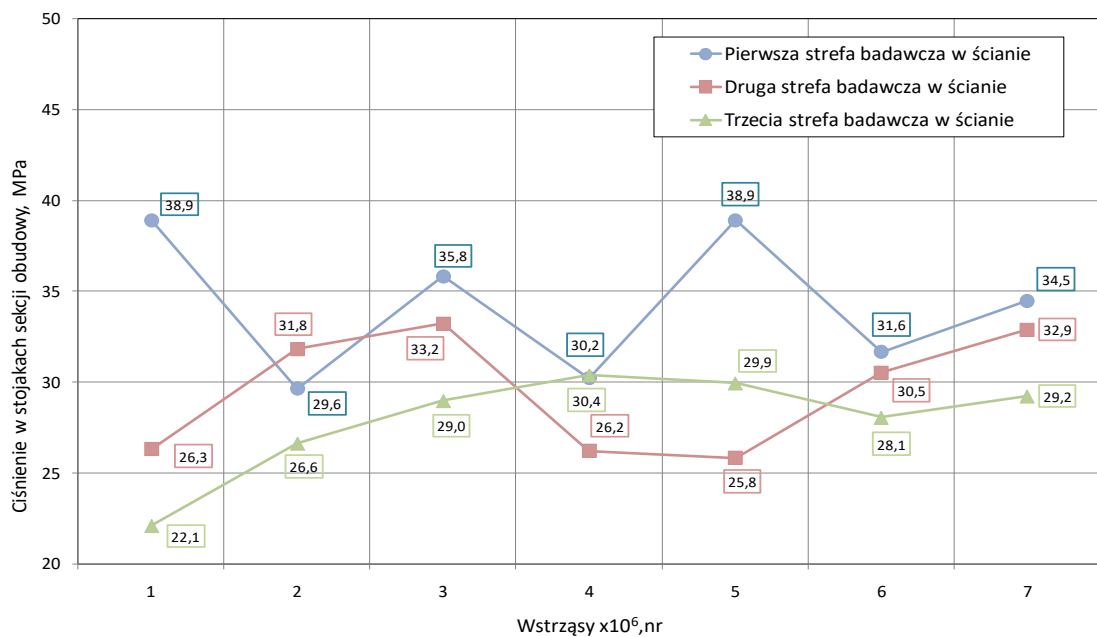
Wykresy na rysunku 6.17 charakteryzują się dużymi zmianami wartości ciśnień dla analizowanych trzech stref wyrobiska ścianowego. Dla tego przypadku uwzględniono energię rzędu $nx10^4$ J. Zaprezentowane wartości ciśnień dla każdej ze stref obrazują, że znaczne większymi wartościami ciśnień charakteryzuje się strefa pierwsza. Zjawisko utrzymuje się dla pierwszych 5 wstrząsów, lecz w podczas wstrząsu 6 i 7 następuje dynamiczny wzrost ciśnień w stojakach dla strefy drugiej.

Z kolei na rysunku 6.18 uwzględniono wystąpienie w trzech analizowanych strefach zjawiska wstrząsu o energii $nx10^5$ J. W tym przypadku pierwsza strefa wykazała dynamiczny wzrost ciśnień. Strefa druga i trzecia charakteryzowały się stałą wartością ciśnień dla analizowanych 7 wstrząsów wysokoenergetycznych.

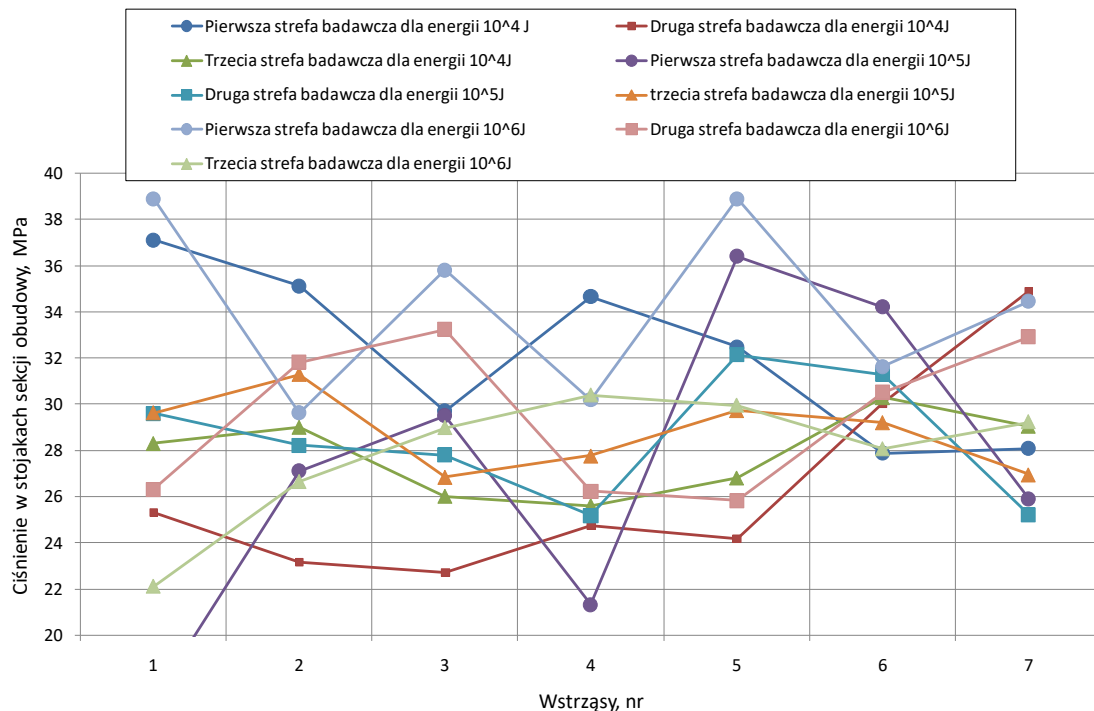


Rys. 6.18. Zestawienie średnich ciśnień (P_{sr}) w przestrzeni podtłokowej stojaków w trakcie wstrząsów o energii 10^5 J dla wszystkich trzech stref badawczych

Trzy analizowane strefy dla energii $nx10^6$ J (rys.6.19) osiągały różne wartości ciśnień. W strefie pierwszej widać dynamiczne skoki i spadki ciśnienia średniego osiągając nawet wartość 38,9 MPa. Dla strefy drugiej wzrost nastąpił dla pierwszych 3 wstrząsów, po których nastąpił spadek ciśnienia i kolejno wzrost dla wstrząsu 6. Strefa trzecia charakteryzowała się stałym wzrostem ciśnienia średniego na poziomie ok. 30 MPa.



Rys. 6.19. Zestawienie średnich ciśnień (P_{sr}) w przestrzeni podtłokowej stojaków w trakcie wstrząsów o energii 10^6 J dla wszystkich trzech stref badawczych



Rys. 6.20. Zestawienie średnich ciśnień ($P_{sr.}$) w przestrzeni podłokowej stojaków w trakcie wstrząsów dla wszystkich trzech stref badawczych

Na rysunku 6.20 przedstawiono zmienne ciśnienia średniego obliczonego na podstawie zaproponowanego wzoru, w stosunku do występujących wstrząsów energii rzędu $nx10^4$ J, $nx10^5$ J, $nx10^6$ J. Charakterystycznym miejscem jest wstrząs nr 4 dla każdej ze stref, wykazuje znaczny spadek ciśnień średnich. Najwyższa wartość średnia wyniosła 39 MPa, najniższa ok. 21 MPa.

6.3. Podsumowanie

Przedstawione badania jednoznacznie wskazują na ogromną rolę i znaczenie pomiaru ciśnienia w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej. Analizowany pomiar jest sygnałem diagnostycznym niezbędnym do szerokiej analizy pracy obudowy zmechanizowanej w warunkach rzeczywistych. Rozszerzenie tych pomiarów o parametry geometryczne sekcji i ich wzajemna korelacja pozwoliłyby znacznie szerzej spojrzeć na prace obudowy w wyrobisku podziemnym, stanowiąc cenne źródło informacji do systemów automatycznego sterowania obudową.

Za pomocą systemu monitoringu ciśnienia cieczy w stojakach, dokonano analizy danych z pomiarów w warunkach rzeczywistych. W oparciu o analizę danych z czujników i rejestracji wstrząsów wyznaczono obszary w ścianie (rys.6.1) najbardziej narażone na zmiany w otoczeniu pracy obudowy. Uzyskane dane pozwoliły wygenerować mapę rozkładu ciśnienia (rys. 6.2) oraz wykresy zmiennych wartości

cieczy w stojakach obudowy ścianowej (rys. 6.4-6.7). Mapa rozkładu ciśnienia charakteryzuje się w pierwszej wyznaczonej strefie ściany zwiększonymi wartościami ciśnień w stojakach obudowy. Wstrząsy górotworu powodują zmienne wartości ciśnienia, które przedstawiono na rysunkach 6.8 - 6.20. Zdarzenie wstrząsu wpływa znacząco na pracę stojaków hydraulicznych, powodując ich uszkodzenia i zaburzenia w pracy obudowy. Uzyskane wyniki zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej umożliwiły zobrazowanie zjawiska oddziaływania górotworu w czasie zaistniałych wstrząsów wysokoenergetycznych.

Analizowana praca systemu monitorowania parametrów obudowy względem zaistniałych 63 wstrząsów wysokoenergetycznych wykazała zmiany wartości ciśnienia w 75% przypadków tych wstrząsów. Pozostały brak rejestracji w 25% spowodowany był, wg obserwacji zmiennym cyklem pracy obudowy, specyfikacją systemu, lokalizacją wstrząsu i kierunkiem rozprzestrzeniania się fal sejsmicznych. Wyznaczone trzy strefy badawcze pozwoliły skupić się na szczegółowej analizie zarejestrowanych wstrząsów wysokoenergetycznych w stosunku do powstałej energii i zmiennych wartości ciśnień w stojakach poszczególnych sekcji. Rozpatrując każdą badaną strefę indywidualnie, pod kątem zmiennych ciśnień, system zarejestrował w I strefie 48% takich przypadków, w II strefie 39%, w III strefie 28%. Dodatkowo analiza uwzględniła szczegółowe spojrzenie na pracę wybranej obudowy z I strefy. Na początku biegu ściany wybrana sekcja charakteryzowała się niższymi wartościami ciśnień w stojakach w stosunku do miesiąca zakończenia eksploatacji w tym rejonie.

Stosowany system, po uwzględnieniu dodatkowych czynników geologiczno - górniczych oraz sposobu współpracy z systemami wspomagającymi pozwoli na poprawę bezpieczeństwa i efektywności prowadzonych ścian. Przewidywanie czasu i miejsca wystąpienia wstrząsu górotworu jest utrudnione, ale można dokonywać prognozowania tych wstrząsów poprzez analizę zmian zachodzących w ciśnieniu cieczy stojaków obudowy eksploatowanej ściany.

Przeprowadzona analiza dostarczyła istotnych informacji, w jakim czasie od powstałego zjawiska dynamicznego zachodzą zmiany w pracy obudowy ścianowej. Uzyskane wyniki badań stanowią istotne informacje dla dalszego rozwoju systemu i umożliwiają rozpoczęcie kolejnych badań, które będą uwzględniać geometrie sekcji. Zestawienie tych parametrów (ciśnienie i geometria pracy obudowy zmechanizowanej) pozwoli dostarczyć kluczowych danych do opracowania układu pomiarowo – rejestrującego.

W kolejnych rozdziałach opisano cykl prowadzonych badań stanowiskowych i w warunkach rzeczywistych, które uwzględniły analizy parametrów geometrycznych i ciśnienia obudowy zmechanizowanej.

7. Opracowanie systemu monitorującego parametry geometryczne zmechanizowanej obudowy ścianowej (badania stanowiskowe) - I etap

Badania nad rozwojem układu pomiarowego dla monitorowania parametrów pracy zmechanizowanej obudowy ścianowej oparto głównie o dane uzyskane z badań stanowiskowych oraz w warunkach rzeczywistych. I etap prowadzonych badań stanowiskowych został zrealizowany w oparciu o prototyp czujników pomiarowych. W tym celu przygotowany prototypowy układ pomiarowy zainstalowano na podstawowych elementach konstrukcyjnych zmechanizowanej obudowy ścianowej. Elementy konstrukcyjne, które zostały objęte pomiarem to stropnica, spąglica, układ lemniskata oraz osłona odzawałowa. Dane pozyskiwane z czujników pozwoliły określić współczynnik nachylenia podłużnego, poprzecznego oraz wysokość pracy obudowy w danej fazie jej pracy. Badania stanowiskowe miały za zadanie potwierdzić sprawność układu pomiarowego, sposób komunikacji oraz kompatybilność z elementami konstrukcyjnymi.

Pierwsze analizy w czasie badań stanowiskowych obejmowały montaż czujników bezpośrednio na elementach obudowy za pośrednictwem magnesów. Celem tych analiz było wykluczenia kolizji pozostałych elementów konstrukcyjnych obudowy z czujnikami podczas jej faz pracy.

Kolejno rozpoczęto badania na hali technologicznej wykorzystując do montażu czujników na elementach obudowy prototypową podstawę, która posłużyła za podstawę montażową czujnika. Na tej podstawie zainstalowany był czujnik wzorcowy. Czujniki na tym etapie komunikowały się w sposób przewodowy i były połączone ze stanowiskiem wyposażonym w komputer, celem obróbki pozyskiwanych danych. W tym czasie sterowano obudową symulując jej fazy pracy, weryfikując pomiary pozyskiwane z czujników z pomiarami ręcznymi.

W oparciu o przeprowadzone badania stanowiskowe określono wstępne wytyczne dla układu pomiarowo-rejestrującego oraz sposobu jego współpracy z obudową zmechanizowaną. Główny cel zakładał określenie obszaru pracy układu i doprecyzowanie jakości wykonanych pomiarów. Badania stanowiskowe stanowiły cenne źródło wiedzy do określenia kompatybilności układu z konstrukcją, jego kalibrację oraz przystosowanie systemu do pracy w warunkach rzeczywistych.

Stosowane rozwiązania do monitorowania parametrów pracy obudowy zmechanizowanej [122, 133, 134] służą jako narzędzia do wspomagania zarządzania jej

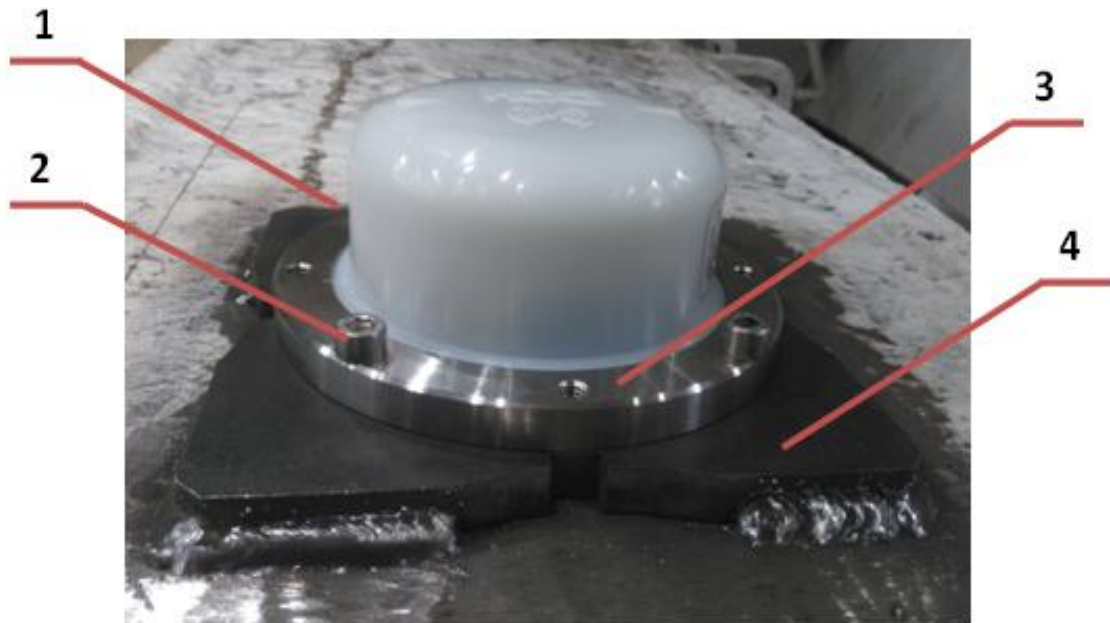
pracą. Dzięki ich zastosowaniu użytkownicy pozyskują szersze spojrzenie na efektywność, bezpieczeństwo i sposób diagnostyki pracy obudowy w wyrobiskach ścianowych [112, 121, 124]. Postęp w dziedzinie automatyzacji [23, 65, 66] umożliwił analizowanie i pełną diagnostykę współpracy sekcji obudowy z górotworem [115, 118, 113]. Obecnie stosowane systemy monitorowania [55, 111, 113] parametrów obudowy skierowane są głównie na pomiar wartości ciśnienia w stojakach obudowy [4, 42, 115], lecz nie dostarczają one pełnego obrazu informacji w zakresie współpracy obudowy z górotworem [8, 75, 95]. Propozycją uzyskania dodatkowych informacji jest właśnie monitoring parametrów geometrycznych obudowy [113, 122, 124]. Dlatego zasadnym jest rozpoczęcie badań w tym zakresie. Dodatkowe informacje na temat pracy obudowy stanowić będą nowe spojrzenie na jej efektywność i bezpieczeństwo, jednocześnie pozwalając użytkownikowi na stały dostęp do wizualizacji jej położenia podczas trudnych warunków rzeczywistych.

7.1. Budowa czujnika do pomiaru geometrii sekcji

Badania nad rozwojem systemu monitorującego parametry pracy obudowy ścianowej opierały się o szereg działań związanych z budową stanowisk badawczych, dostosowaniem konstrukcji czujników do trudnych warunków pracy, testów układu pomiarowego oraz sposobów wyznaczenia miejsc montażu czujników. Przed skonstruowanym układem pomiarowym postawiono wiele wyzwań m.in. związanych z trudnym środowiskiem pracy oraz stabilnym montażem podczas pracy obudowy.

Zastosowany układ umożliwił ciągły monitoring parametrów pracy obudowy zmechanizowanej pozwalając szerzej spojrzeć na współpracę czujników i konstrukcji obudowy z górotworem [122 - 124]. Układ pomiarowy składał się z czujników komunikujących się w sposób bezprzewodowy, przetwornika danych, komputera dołowego oraz stanowiska powierzchniowego. W I etapie badań stanowiskowych skorzystano

z czujników komunikujących się przewodowo oraz stanowiska powierzchniowego wyposażonego w komputer. Zastosowane czujniki (rys. 7.1), które w oparciu o technologie MEMS umożliwiły monitorowanie parametrów geometrycznych obudowy posłużyły do opracowywania pełnego układu pomiarowego. Każda badana sekcja obudowy była wyposażona w cztery czujniki zlokalizowane na podstawowych elementach obudowy tj. stropnica, spąglica, lemniskata, osłona odzawałowa.



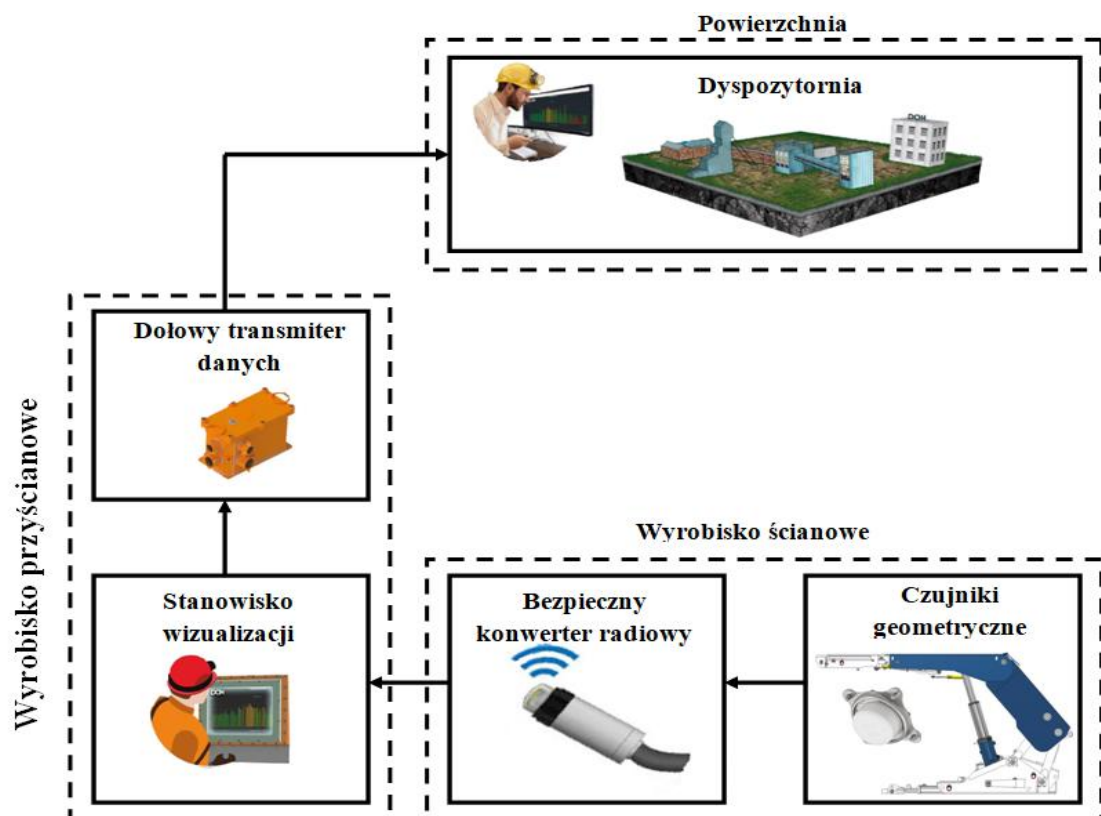
Rys. 7.1. Budowa czujnika do pomiaru geometrii sekcji, gdzie: klosz (1), śruby mocujące (2), pierścień zabezpieczający (3), uchwyt montażowy (4)

Czujnik zbudowany jest z materiałów przystosowanych do trudnych warunków pracy. Klosz, wykonany z tworzywa sztucznego o wysokim współczynniku wytrzymałości, chroni czujnik i baterię przed uszkodzeniami mechanicznymi wynikającymi z opadu skał stropowych. Klosz zabezpieczony jest pierścieniem ze stali nierdzewnej, który chroni czujnik przed dostaniem się pyłu oraz niekontrolowanym przemieszczeniem się klosza. Uchwyt montażowy został wykonany na etapie produkcji obudowy zmechanizowanej i zamontowany zgodnie z wytycznymi określonymi na podstawie prowadzonych badań. Uchwyt montażowy służy do bardziej precyzyjnego montażu czujnika w kontakcie z elementami obudowy oraz do wypoziomowania czujnika. Prawidłowe wypoziomowanie wpływa na obniżenie błędów pomiarowych.

Czujniki mają możliwość komunikacji w sposób bezprzewodowy. Komunikacja pomiędzy poszczególnymi czujnikami realizowana jest przy pomocy wbudowanego bezprzewodowego punktu dostępu, pracującego w paśmie ISM 2,4 GHz z autoryzowanym dostępem w standardzie IEEE 802.15.4. Czujniki zasilane są iskrobezpieczną baterią, produkowaną według wytycznych producenta. Dopuszczalna jest jej wymiana bezpośrednio w strefie zagrożonej wybuchem metanu i pyłu węglowego. Ze względu na zasilanie bateryjne, operator nie jest narażony na przerwy w działaniu urządzeń w przypadku zaniku zasilania doprowadzonego do systemów ścianowych. Częstotliwość próbkowania przyjęta dla tego układu wynosi 1s. W układzie pomiarowym zastosowano filtr dolno upustowy, służący do filtrowania

szumów i zakłóceń. Dane gromadzone za pośrednictwem układu zapisywane są w czasie ruchu maszyny. W momencie braku ruchu maszyny dane nie są zapisane; wynika to z braku zmiany wartości pomiarowej. Urządzenie umożliwia wizualną kontrolę stanu rozparcia obudowy zmechanizowanej poprzez wizualną sygnalizację względem zadanych wartości progowych. Rozwiązanie wspomaga operatora podczas operacji przekładki sekcji oraz pozwala na przeprowadzenie szybkiej oceny stanu rozparcia obudowy, znajdując się bezpośrednio w wyrobisku. Czujniki geometrii są urządzeniem iskrobezpiecznym grupy I, kategorii M1, o poziomie zabezpieczenia ia. Wymienione cechy pozwalają na stosowanie opisanego urządzenia w wyrobiskach zakładów górniczych oraz w tych częściach ich instalacji powierzchniowych, w których jest prawdopodobne zagrożenie wybuchem metanu lub pyłu węglowego. Czujniki geometrii dzięki swojej budowie nadają się do wykorzystania w instalacjach pneumatycznych i hydraulicznych maszyn i obiektów przemysłowych.

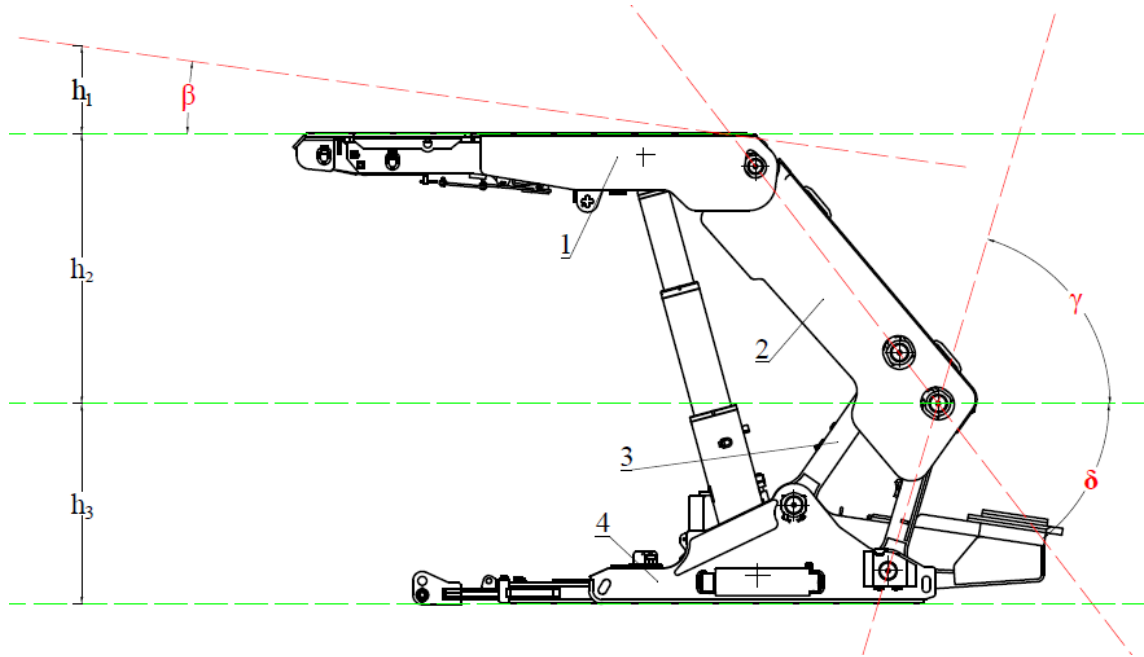
Na rysunku 7.2 zaprezentowano sposób komunikacji czujników z uwzględnieniem przesyłu danych na powierzchnię.



Rys. 7.2. Schemat komunikacji czujników do pomiarów geometrii sekcji

7.2. Określenie parametrów geometrycznych sekcji obudowy

Badania nad rozwojem systemu monitorującego parametry geometryczne pracy obudowy ścianowej wymagały określenia kątów pomiędzy pracą poszczególnych elementów sekcji obudowy zmechanizowanej, a wyznaczonymi liniami podziału (rys.7.3).



Rys. 7.3. Podział wysokości sekcji obudowy zmechanizowanej, gdzie: β - kąt pomiędzy stropnicą, a linią podziału, γ - kąt pomiędzy linią elementów łączących osłonę z układem lemniskaty, a linią podziału, δ –kąt pomiędzy linią elementów łączących osłonę ze stropnicą, a linią podziału, h_1 – wysokość pierwszej linii podziału, h_2 – wysokość drugiej linii podziału, h_3 – wysokość trzeciej linii podziału

Podstawą do wyznaczenia wysokości sekcji było obliczenie wartości kątów w oparciu o wzór określający kąt odchylenia od pionu, a składową przyspieszenia [53,54]. Kąty wyznaczono za pomocą wzoru [2, 53, 54]:

$$\Lambda = \arctan\left(\frac{a_y}{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}}\right) \quad (9)$$

gdzie:

Λ - wartość kąta (β, γ, δ), $[\circ]$

a_x - przyspieszenie ziemskie w osi x, $[m/s^2]$

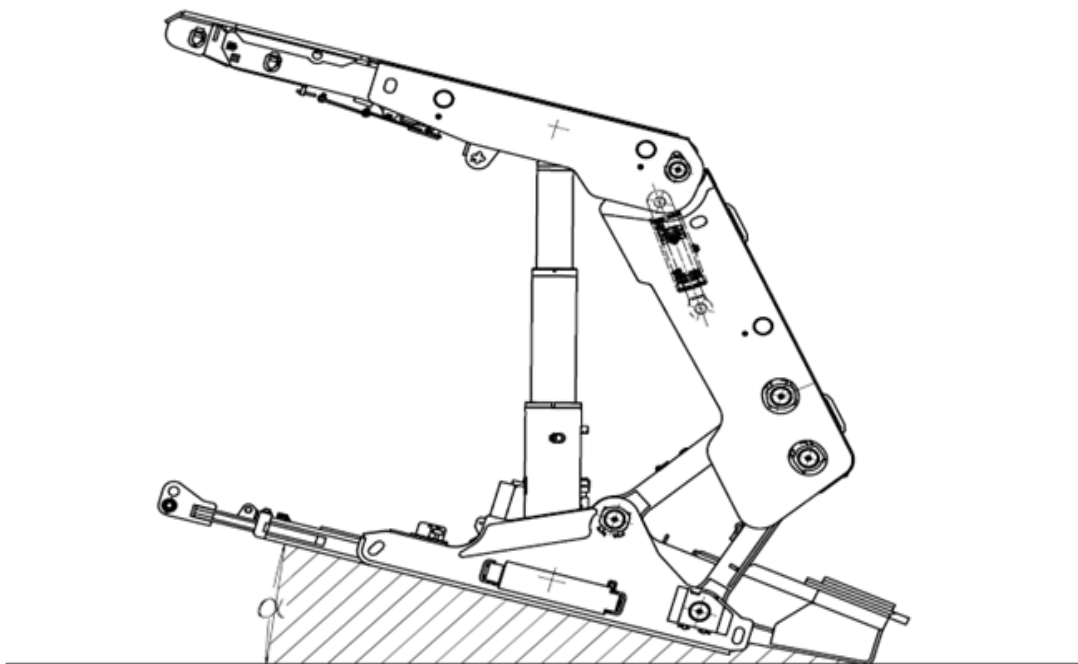
a_y - przyspieszenie ziemskie w osi y, $[m/s^2]$

a_z - przyspieszenie ziemskie w osi z, $[m/s^2]$

Wykorzystując podane równanie można określić nachylenia akcelerometru względem środka ciężkości planety w trzech osiach, określając nachylenie poprzeczne

i podłużne dla każdego elementu [2, 53, 54]. Biorąc pod uwagę wyznaczone kąty (rys. 7.3) i wymiary badanej obudowy można było zobrazować zmiany parametrów geometrycznych pracy obudowy w warunkach powierzchniowych i kolejno w warunkach rzeczywistych.

Układ pomiarowy wykorzystuje akcelerometr trzyosiowy, który umożliwia pomiar wartości przyciągania grawitacyjnego na każdej z osi. Pierwszym etapem było wypoziomowanie sekcji za pomocą odjęcia kąta początkowego nachylenia spągnicy (rys. 7.4) od każdego z trzech powstałych kątów, które przedstawia rysunek 7.3.



Rys. 7.4. Odcięcie kąta początkowego α

Odcięcie kąta początkowego pozwala wyznaczyć wysokość jaką daje każdy z elementów obudowy. Określą się ją na podstawie wzoru:

$$h_n = l_n \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (10)$$

gdzie:

h_n – mierzona wysokość (h_1, h_2, h_3), [m]

l_n – długość elementu sekcji (stropnica, spągnica, osłona odzawałowa, łącznik przedni – lemniskaty), [m]

α – kąt pomiędzy linią przemieszczenia się danego elementu sekcji (β, γ, δ), [°]

Wysokość całkowita sekcji obudowy określona została na podstawie równania (11):

$$H_{\text{całkowita}} = h_1 + h_2 + h_3 \quad (11)$$

h_1 – wysokość określana na podstawie długości stropnica i kąta β , [m]

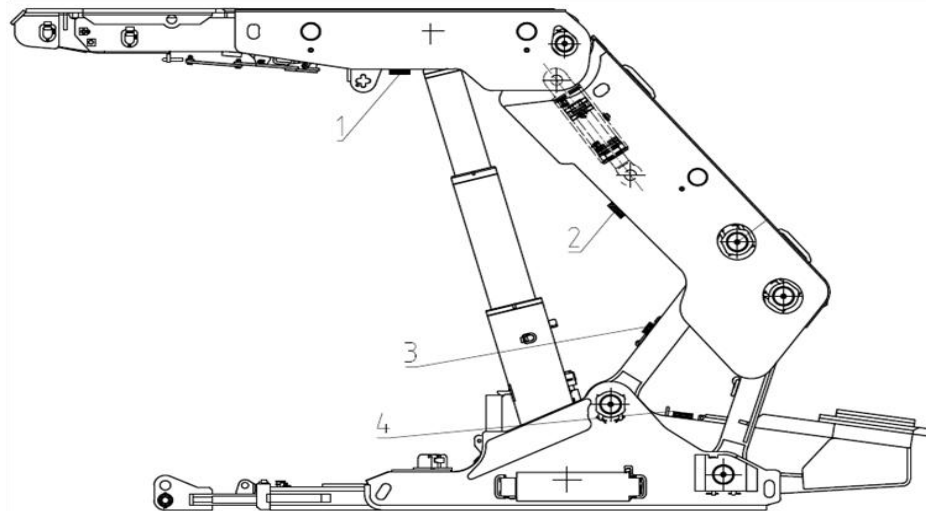
h_2 – wysokość określana na podstawie długości osłony odzawałowej i kąta γ , [m]

h_3 – wysokość określana na podstawie długości łącznika tylnego lemniskaty i kąta δ , [m]

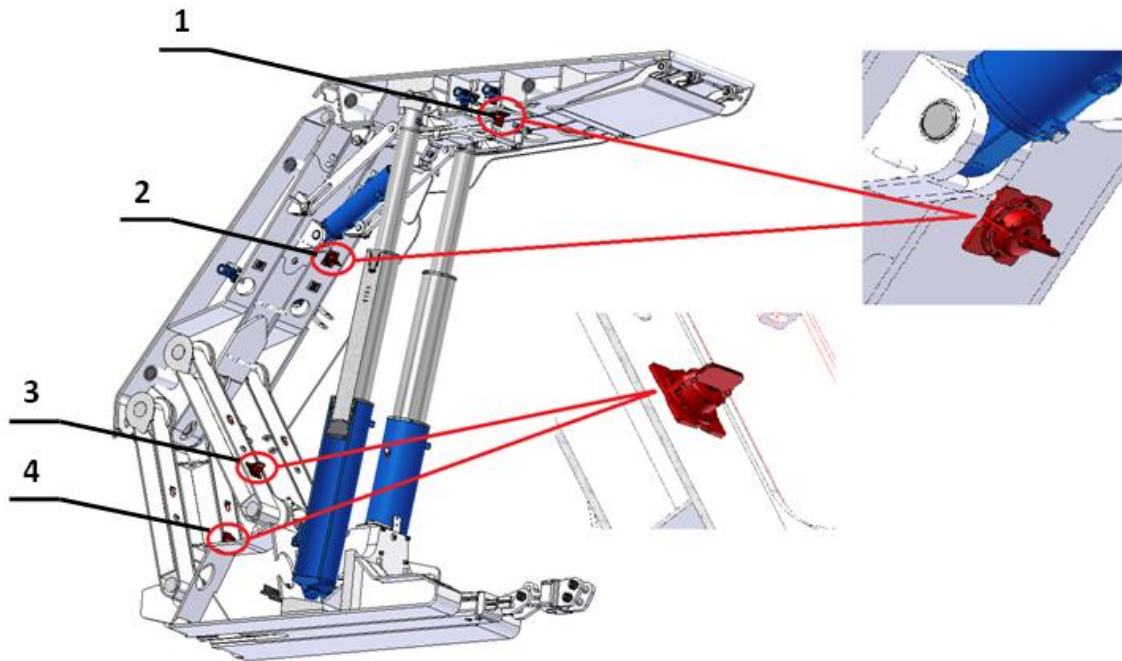
Posługując się zaprojektowanymi prototypami czujników określono zmiany wysokości pracy obudów i sprecyzowano miejsca w konstrukcji obudowy celem montażu wykorzystanych czujników.

Badania powierzchniowe obejmowały analizę wymiarów elementów obudowy zmechanizowanej celem wyznaczenia miejsc lokalizacji poszczególnych czujników systemu pomiarowego. Wyznaczone miejsca wymagały optymalizacji pod kątem wielu znaczących kryteriów związanych z konstrukcją obudowy, środowiskiem pracy, komunikacją czujników, montażem oraz serwisowaniem. Określone punkty montażu zostały zwymiarowane, przeanalizowane pod kątem kolizji z innymi elementami pracy obudowy zmechanizowanej oraz panującymi warunkami geologiczno -górnictwymi w środowisku pracy obudowy uwzględniając zabezpieczenie czujników przed skutkami eksploatacji oraz opadem skał stropowych.

Na rysunkach 7.5 i 7.6 przedstawiono proponowane miejsca montażu czujników.

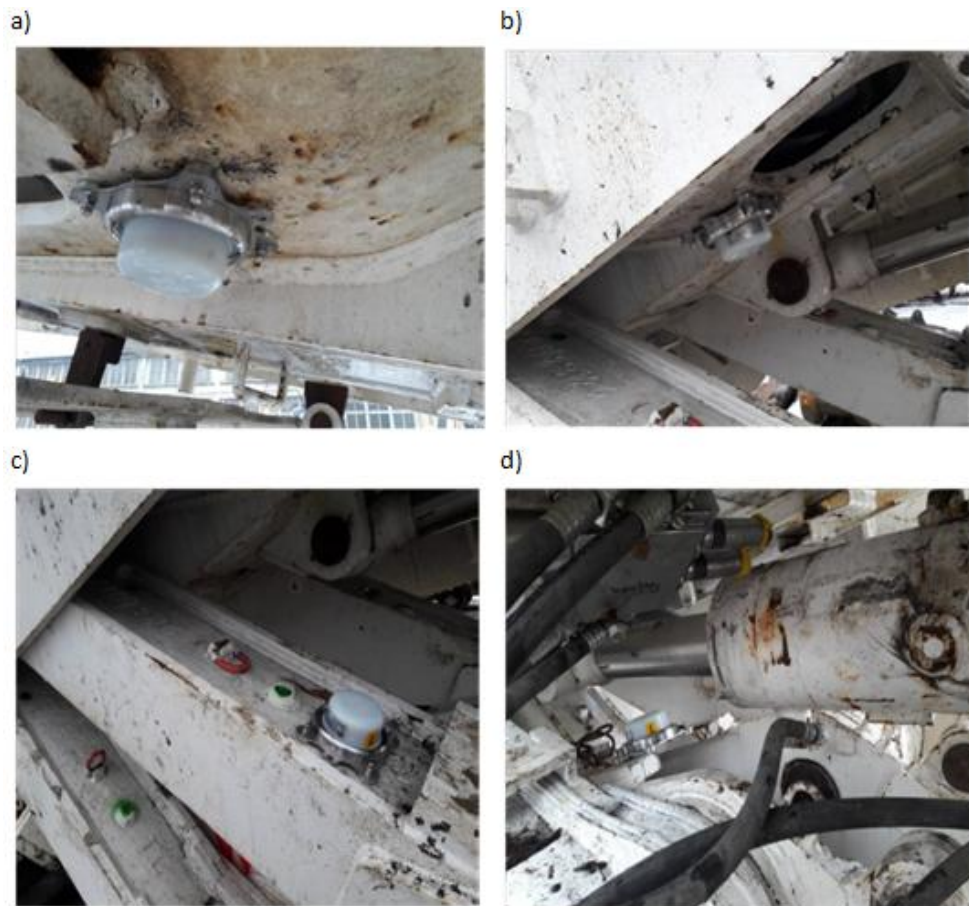


Rys. 7.5. Rozmieszczenie czujników monitoringu, gdzie: czujnik stropnicy (1), czujnik osłony odzawałowej (2), czujnik łącznika przedniego lemniskaty (3), czujnik stropnicy (4)



Rys. 7.6. Lokalizacja czujników monitoringu, gdzie: czujnik stropnicy (1), czujnik osłony (2), czujnik łącznika przedniego lemniskaty (3), czujnik spągnicy (4)

Drugi etap uwzględnił wstępny montaż na stanowisku badawczym zlokalizowanym na powierzchni. Wykonane prototypy czujników geometrycznych zostały przymocowane w wyznaczonych miejscach na sekcji obudowy zmechanizowanej. Na rysunku 7.7 przedstawiono wstępny montaż czujników na stanowisku badawczym przy wykorzystaniu magnesów.



Rys. 7.7. Rozmieszczenie czujników na stanowisku badawczym, gdzie: czujnik stropnicy (a), czujnik osłony odzawałowej (b), czujnik łącznika przedniego lemniskaty (c), czujnik spągnicy (d)

Kolejny etap prac zakładał wykonanie prób testowych za pomocą prototypów czujników tworzących układ pomiarowy na powierzchniowym stanowisku badawczym w hali technologicznej. Próby polegały na dokonaniu pomiaru w zmiennych fazach pracy obudowy oraz doprecyzowaniu lokalizacji czujników. Wyznaczone miejsca wstępnie spełniły oczekiwane rezultaty; nie miały wpływu na pracę obudowy i nie wchodziły w kolizję z elementami podstawowymi i pomocniczymi sekcji obudowy zmechanizowanej [114, 129]. Na rysunku 7.8 zostały przedstawione wzorcowe czujniki zlokalizowane na elementach sekcji obudowy zmechanizowanej.



Rys. 7.8. Przykład zamocowania prototypów czujników do pomiaru geometrii sekcji, gdzie: czujnik stropnicy (1), czujnik spągnicy (2), czujnik łącznika przedniego (3)

Montaż czujników na stanowisku badawczym wymagał doprecyzowania pod kątem poziomowania i wyznaczenia kątów pomiarowych. Początkowe wartości nachyleń nie pokrywały się z pomiarem ręcznym geometrii sekcji zmechanizowanej. W przypadku określenia wysokości sekcji występowały błędy w granicach $\pm 3-10$ cm. Błędy wymagały poprawy parametrów pomiarowych systemu związanych z poziomowaniem.

7.3. Wyniki badań stanowiskowych – I etap

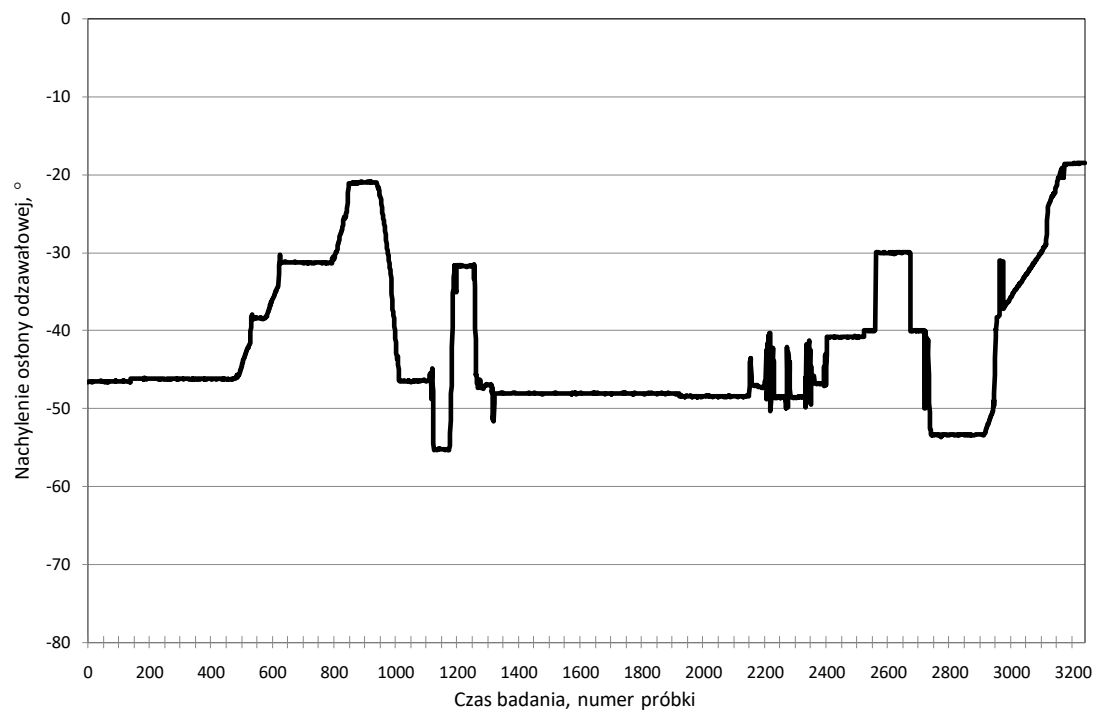
Prowadzone badania obejmowały trzy etapy. Pierwszy etap zakładał wstępne określenie algorytmu pomiarowego z uwzględnieniem własności geometrycznych obudowy. Drugi etap obejmował montaż czujników wzorcowych. Trzeci etap dotyczył badań stanowiskowych, który połączył poprzedzające czynności. Po określeniu miejsca kolejno podjętym problemem było doprecyzowanie algorytmów, które pozwoliły określić nachylenia oraz wysokość pracy obudowy. W badaniach wykorzystywano metodę obliczeniową, która bazuje na danych geometrycznych sekcji i pomiarach układu. System wyznaczył kąty i roboczą wysokość pracy sekcji. Drugi

i trzeci etap zakładał praktyczny montaż czujników na utworzonym stanowisku badawczym w warunkach powierzchniowych. Uzyskanie wiarygodnych pomiarów prowadzonych badań wymagało testów w różnych fazach pracy obudowy (rys. 7.9), aby określić zakres obliczeniowy układu oraz błąd pomiarowy.

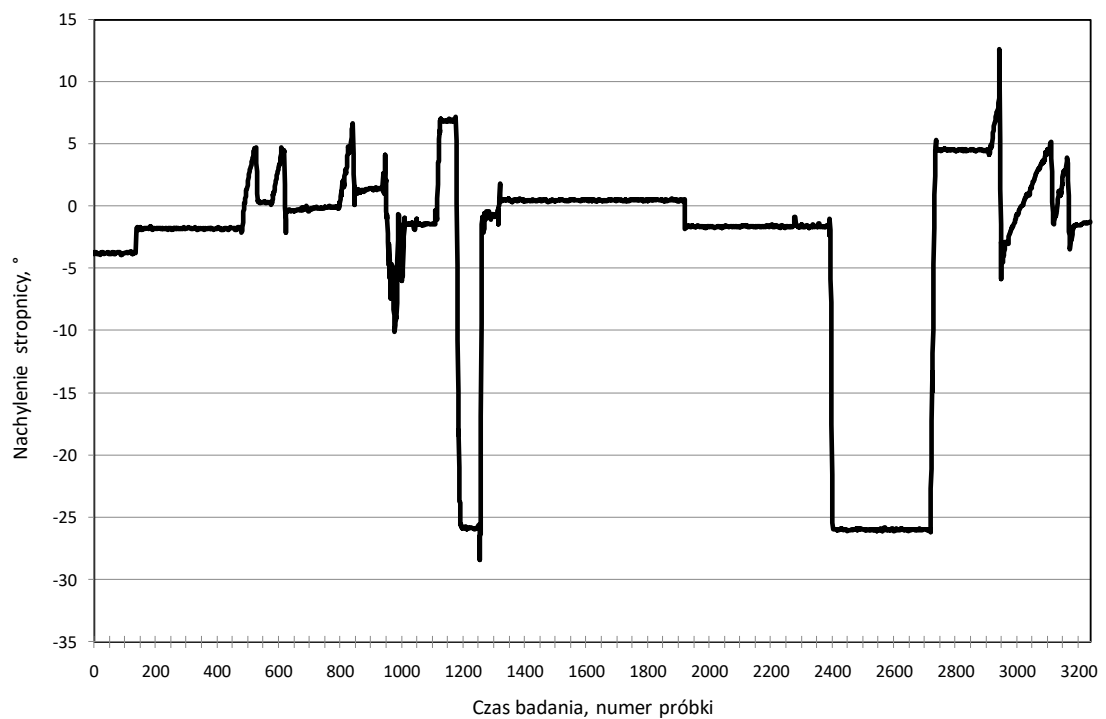


Rys. 7.9. Widok stanowiska badawczego, gdzie: sposób pomiaru wysokości i nachylenia stropnicy (a), sposób pomiaru minimalnego zakresu pracy obudowy (b), lokalizacja prototypu czujników (spągница, łącznik przedni) (c), lokalizacja prototypu czujnika stropnicy (d)

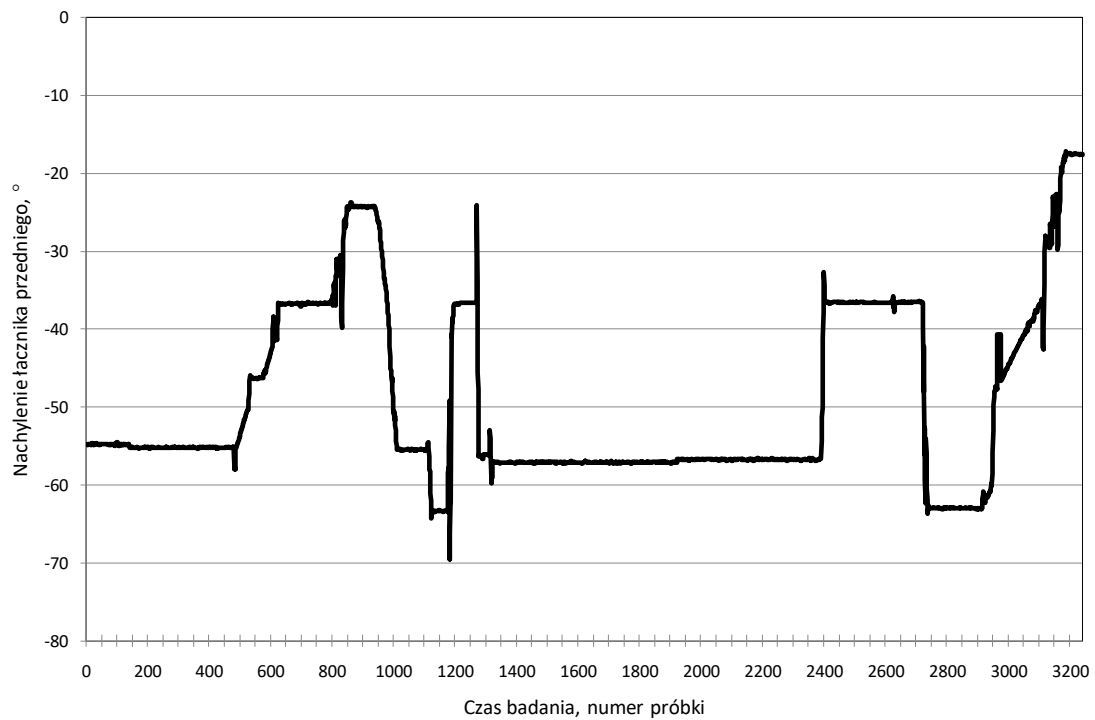
Przeprowadzona analiza w oparciu o badania modelowe [54] i stanowiskowe umożliwiła wyznaczenie miejsca montażu prototypu czujników na elementach sekcji obudowy zmechanizowanej. Zainstalowany układ pomiarowo-rejestrujący dokonał pomiaru wykorzystując zaproponowany model obliczeniowy, który określił nachylenia poprzeczne oraz wysokość pracy obudowy. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunkach 7.10- 7.14.



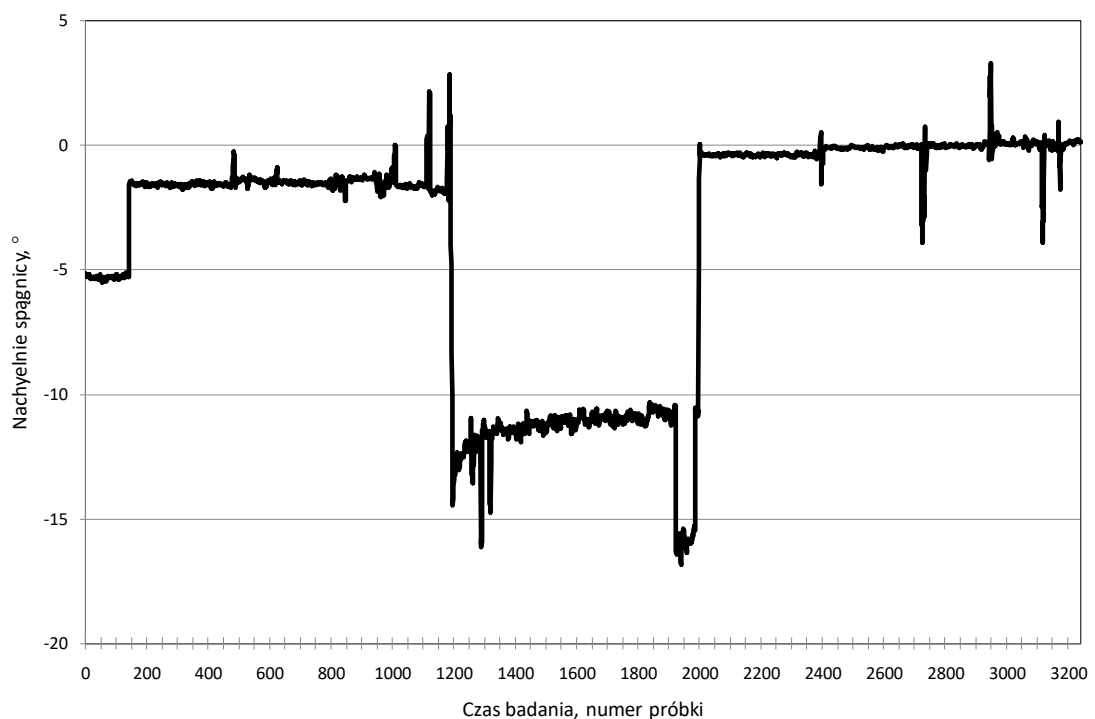
Rys. 7.10. Czasowy przebieg kątów nachylenia osłony sekcji obudowy



Rys. 7.11. Czasowy przebieg kątów nachylenia stropnicy sekcji obudowy



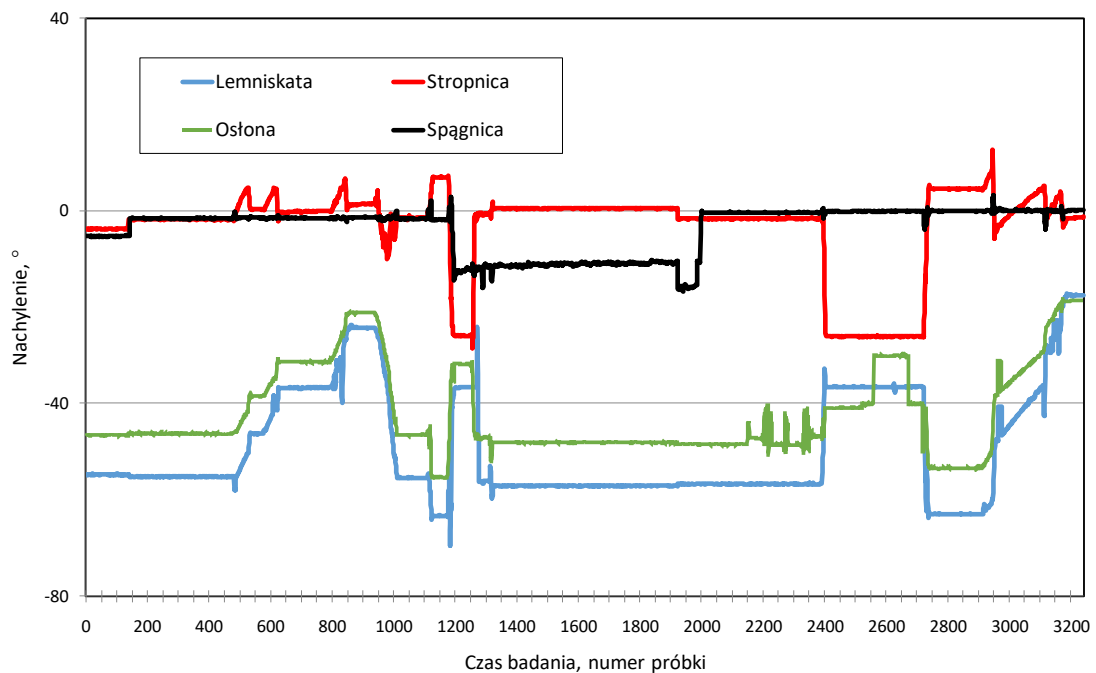
Rys. 7.12. Czasowy przebieg kątów nachylenia łącznika przedniego lemniskaty sekcji obudowy



Rys. 7.13. Czasowy przebieg kątów nachylenia spągnicy sekcji obudowy

Na rysunku 7.10 przedstawiono kąt nachylenia osłony odzawałowej, której praca w czasie sterowania obudową na stanowisku badawczym średnio przyjmowała kąt 50-60°. Można zauważyć zależność przy zmianie kąta nachylenia osłony w stosunku do przemieszczania się lemniskaty. Zmianę kąta nachylenia łącznika przedniego

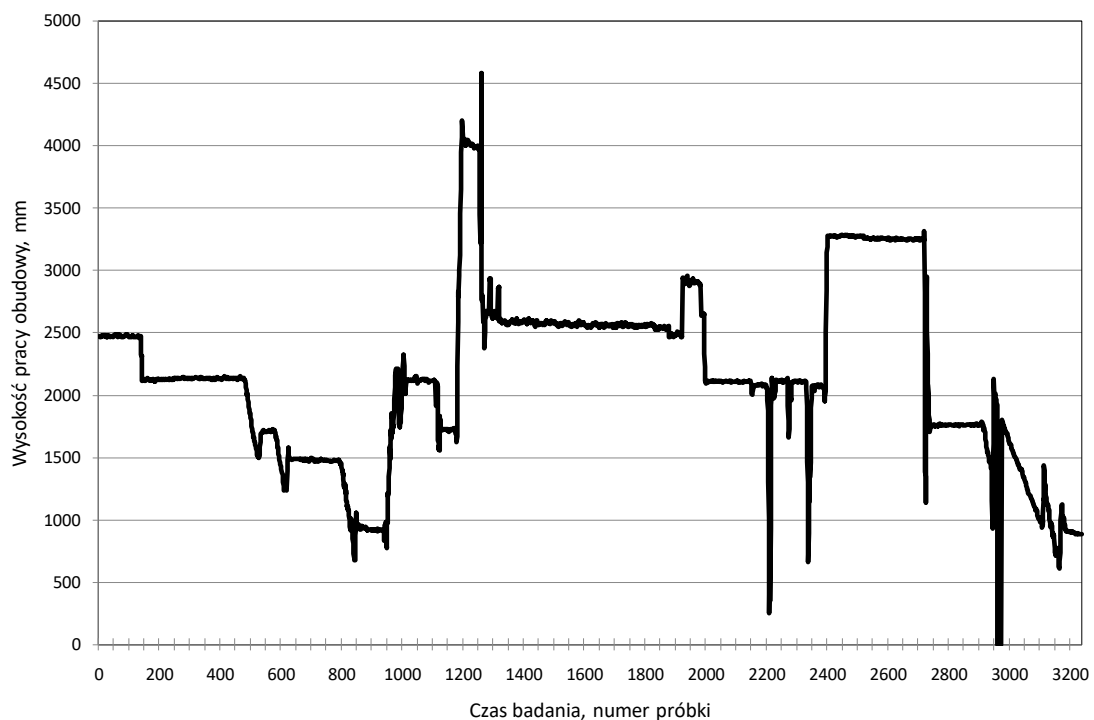
lemniskaty przedstawia rysunek 7.12. Te dwa elementy zmieniają kąt nachylenia w tym samym kierunku przyjmując dla próbki badawczej 901 wartości - lemniskat 23° , a osłona 45° . Rysunek 7.11 obrazuje zmianę kąta nachylenia stropnicy. Zdecydowany wzrost nachylenia do wartości 26° zachodzi przy sterowaniu obudową w czasie zwiększania zakresu roboczego obudowy. W czasie powrotu do pozycji początkowej wysokości roboczej obudowy następuje spadek kąta nachylenia stropnicy. Na rysunku 7.13 przedstawiono zmianę kąta pracy spągnicy, który nie wykazuje znacznego odchylenia. Brak znaczących zmian wynika z pozycjonowania tego elementu na stanowisku badawczym. Minimalne zmiany wynikają z przepływu ciśnienia w stojakach obudowy, które wykazało podnoszenie tego elementu podczas sterowania. Dla zobrazowania zmiany nachylenia wszystkich badanych elementów na rysunku 7.14 przedstawiono przebiegi zmiany ich kąta w badanym czasie.



Rys. 7.14. Zmiany nachylenia elementów podczas badań obudowy na stanowisku badawczym

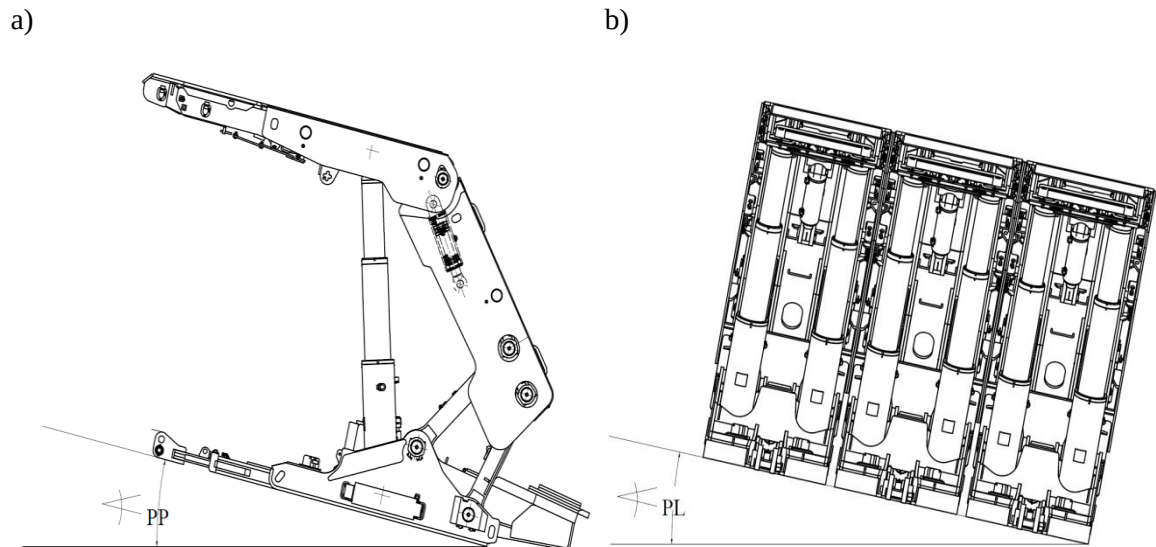
Zmiany zachodzące w nachyleniu analizowanych elementów obudowy wykazują charakterystyczną współpracę zachowującą równoległość spągnicy i stropnicy oraz osłony i lemniskata. Brak znaczących zmian w pracy spągnicy wynika ze styku tego elementu z powierzchnią, która nie ulegała odkształceniu. Praca w warunkach dołowych znacznie różni się od pracy w środowisku powierzchniowym wieloma czynnikami, które mają wpływ na utrzymanie urządzenia w pełnej sprawności (wstrząsy, opady skał stropowych, wilgoć itp.) i może doprowadzić do znaczących zmian w nachyleniu pracy spągnicy. Zmiany w nachyleniu stropnicy, osłony i łącznika

przedniego lemniskaty uwarunkowane są poruszaniem się w przestrzeni podczas zmiany wysokości pracy obudowy w zadanej fazie. Parametry geometryczne sekcji mają istotne znaczenie dla zapewnienia stateczności wyrobiska ścianowego oraz poprawy warunków współpracy obudowy z górotworem, a w trudnych warunkach mogą wpływać na ograniczenie powstawania uszkodzeń w elementach sekcji obudów zmechanizowanych. Wyznaczenie nachylenia tych elementów posłużyło do określenia wysokości pracy obudowy. Rysunek 7.15 obrazuje następstwo zmieniających się faz wysokości pracy obudowy. Obudowa podlegała analizie w minimalnym i maksymalnym zakresie pracy. Tak przygotowany układ został przystosowany do testów wykonanych w warunkach dołowych.



Rys. 7.15. Wysokość sekcji podczas badań stanowiskowych

Zmechanizowana obudowa ścianowa pracuje w trudnych warunkach geologiczno – górniczych, które mają znaczący wpływ na efektywność jej pracy. Praca obudowy w warunkach dołowych powoduje jej nachylenie, które wynika z zalegania pokładu i sposobu sterowania sekcją. Nachylenia wyrobisk górniczych mają znaczący wpływ na rodzaj prowadzonej eksploatacji oraz stopień zużycia kompleksu ścianowego. Dla zobrazowania nachylenia wyrobiska ścianowego na rysunku 7.16 przedstawiono sposób nachylenia obudowy w stosunku do czoła ściany,



Rys. 7.16. Nachylenie poprzeczne i podłużne sekcji obudowy z uwzględnieniem geometrii wyrobiska ścianowego: widok z boku nachylenie poprzeczne (a), widok z przodu nachylenie podłużne (b), gdzie: α_{pp} - kąt nachylenia poprzecznego, α_{pl} - kąt nachylenia podłużnego

Określenie wartości nachylenia poprzecznego mierzone było prostopadłe do czoła ściany, a podłużnego równoległe do czoła ściany (rys.7.16). Znajomość tych wartości pozwoliły określić kąty poszczególnych nachyleń, umożliwiając tym samym wyznaczenie zmiennej wysokości sekcji obudowy zmechanizowanej.

7.4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania umożliwiły wyznaczenie wysokości oraz nachylenie obudowy na stanowisku badawczym w oparciu o rejestrowane parametry geometryczne pracy podstawowych elementów obudowy. Prawidłowa praca systemu, dedykowanego do monitorowania pracy obudowy zmechanizowanej w trudnych warunkach dołowych, wymagała dopracowania pod kątem lokalizacji, kalibracji, budowy oraz komunikacji czujników. Wszystkie te warunki zostały uwzględnione w przeprowadzonych badaniach.

W badaniach uwzględniono analizę kolizji elementów podstawowych i pomocniczych obudowy z układem pomiarowo- rejestrującym. Testy na stanowisku badawczym wykazały brak kolizji z czujnikami systemu, potwierdzając tym samym wnioski z badań modelowych.

System został zabudowany na stropnicy, spągnicy, osłonie odzawałowej i łączniku przednim lemniskaty. Miejsca montażu czujników prezentują rysunki 7.5 i 7.6. Natomiast pomiary przeprowadzono w oparciu o prototyp układu pomiarowego

(rys.7.8). Prototyp ten został dopracowany pod kątem konstrukcyjnym i dopuszczony do testów w warunkach rzeczywistych. Podczas prowadzonych badań czujniki wymagały kilku zmian związanych z poziomowaniem i doprecyzowaniem ich lokalizacji celem obniżenia błędu pomiarowego. Wykonane czynności umożliwiły zabudowanie czujników systemu w taki sposób, aby system był gotowy do pracy w trudnych warunkach rzeczywistych.

Przeprowadzone testy spełniły oczekiwania konstruktorów i praktyków. Przedstawione na rysunkach 7.10 -7.14 wyniki przeprowadzonych badań pracy systemu monitorującego parametry geometryczne w warunkach powierzchniowych, obrazują rzeczywiste nachylenia elementów obudowy oraz wysokość jej pracy.

Wykazana prawidłowa praca układu pomiarowego i jego znaczenie dla bezpieczeństwa i efektywności pracy kompleksów ścianowych stanowi podstawę do dalszych badań prowadzonych w warunkach rzeczywistych.

8. Badania prototypowego systemu monitorującego parametry pracy obudowy zmechanizowanej w warunkach rzeczywistych – I etap.

Na podstawie uzyskanych wyników z I etapu badań stanowiskowych określono wytyczne dla montażu układu pomiarowo - rejestrującego, które pozwoliły na rozpoczęcie testów w warunkach rzeczywistych w ścianie wydobywczej. W czasie trwania tych badań określano nachylenia podłużne i poprzeczne podstawowych elementów obudowy, wysokości pracy oraz ciśnienia w wybranych stojakach hydraulicznych.

Badania w warunkach rzeczywistych z wykorzystaniem opracowanego układu pomiarowego miały na celu pozyskanie wiarygodnych informacji na temat kompatybilności czujników z konstrukcją obudowy ścianowej, weryfikacji pomiarów uzyskanych z czujników z pomiarami ręcznymi oraz określeniu sprawności pracy układu pomiarowego, który docelowo ma stanowić ważny element systemu monitoringu pracy obudowy ścianowej.

Obecnie stosowane systemy dokonują bowiem tylko pomiaru ciśnienia, natomiast proponowane rozwiązanie ma za zadanie poszerzyć ten zakres o parametry geometryczne, co stanowić będzie nowe spojrzenie na pracę obudowy zmechanizowanej w wyrobisku ścianowym.

8.1. Badania kątów nachylenia elementów sekcji w warunkach rzeczywistych

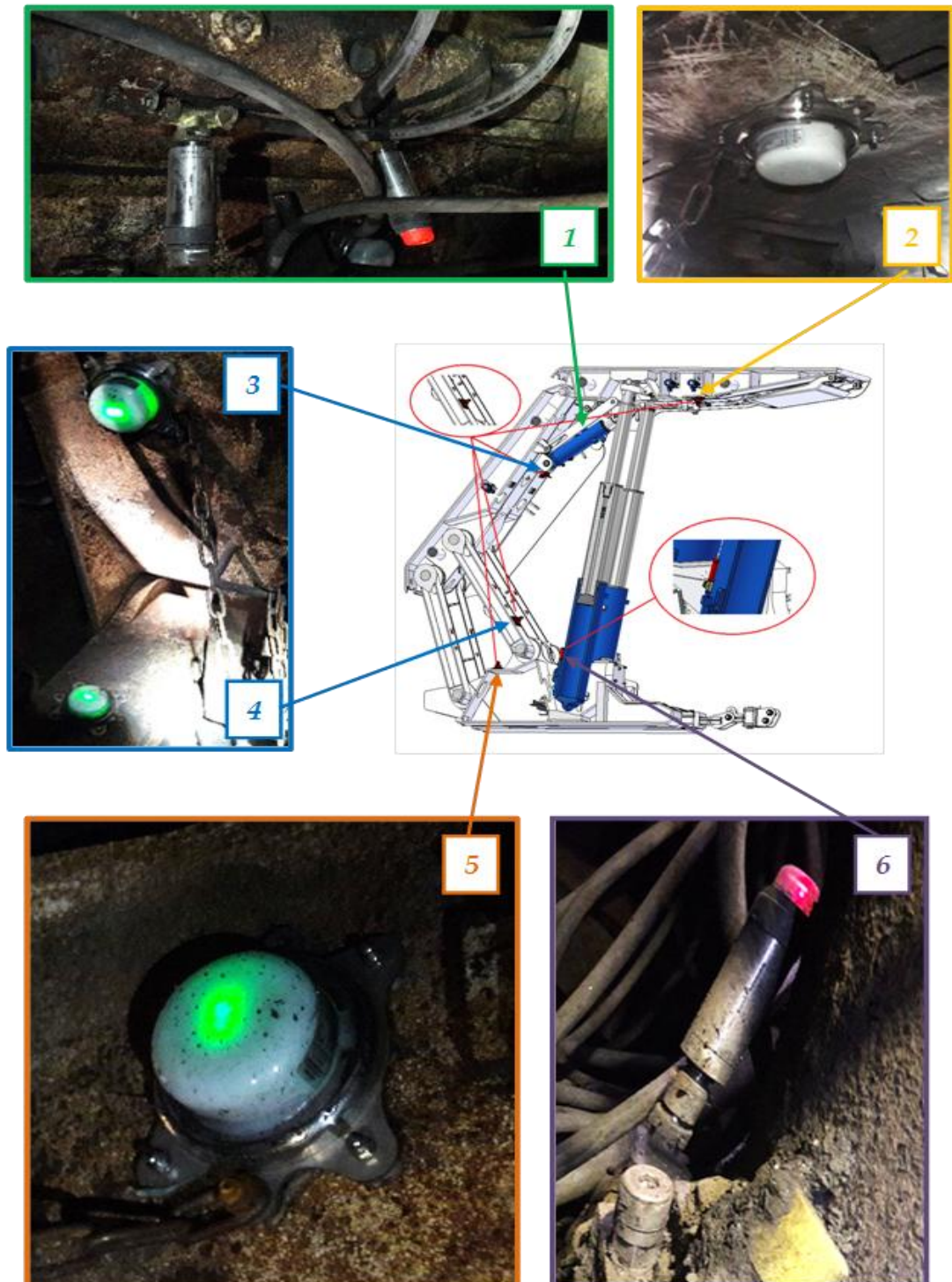
W rzeczywistej ścianie wydobywczej przeprowadzono badania, których celem było określenie nachylenia podłużnego i poprzecznego elementów sekcji obudowy zmechanizowanej oraz jej wysokości roboczej. Wysokość całkowita pracy sekcji została określona w oparciu o pomiar kątów (β , δ , γ), które powstały pomiędzy wyznaczoną linią podziału, a przemieszczającymi się elementami sekcji (stropnicą, osłoną odzawałową, łącznikiem przednim). Poziom określono w oprogramowaniu, jako punkt „0” początkowego pomiaru tzn. poziomowania maszyny. Taką czynność wykonuje się na początku implementacji maszyny z oprogramowaniem. Dzięki takiemu działaniu możliwe jest uzyskanie wiarygodnych wyników pomiaru w trakcie pracy sekcji obudowy.

Prace pomiarowe, które zostały wykonane w warunkach dołowych, są zaliczane do niezwykle trudnych i skomplikowanych ze względu na występujące zagrożenia oraz czynniki mające wpływ na uszkodzenia układu pomiarowego oraz proces jego

komunikacji. Pokład, w którym zlokalizowana była ściana osiągał miąższość 2,55 - 4 m. Nachylenie pokładu dla analizowanej ściany wynosi od 15° do 20° . Bezpośredni spąg i strop pokładu stanowiły łupki ilaste oraz łupek ilasty zapieczony. Długości ściany wynosiła $\sim 111 - 242$ m, wybieg $\sim$ ok. 1195 m. Pokład zaliczany był do IV kategorii metanowej, II stopnia zagrożenia tapaniami, B klasy zagrożenia wybuchem pyłu węglowego oraz III kategorii wyrzutu gazów i skał.

Pomiary w warunkach rzeczywistych pozwoliły dokonać analizy zmiennych faz pracy sekcji obudowy zmechanizowanej oraz sprawności układu pomiarowego. Czujniki systemu zlokalizowane były na podstawowych elementach sekcji obudowy zmechanizowanej, które określono na podstawie przeprowadzonych wcześniej badaniach pod kątem wytrzymałościowym, geometrycznym i badań stanowiskowych. W tym przypadku ważne były, także badania przeprowadzone na hali technologicznej, które umożliwiły przetestowanie opracowanego układu pomiarowego, głównie celem określenia sprawności komunikacji poszczególnych czujników. Pomyślne wyniki tych badań umożliwiły zabudowanie, po części już sprawdzonego układu w ścianie wydobywczej.

Na rysunku 8.1 przedstawiono miejsca montażu czujników na elementach sekcji obudowy pracującej w warunkach rzeczywistych.

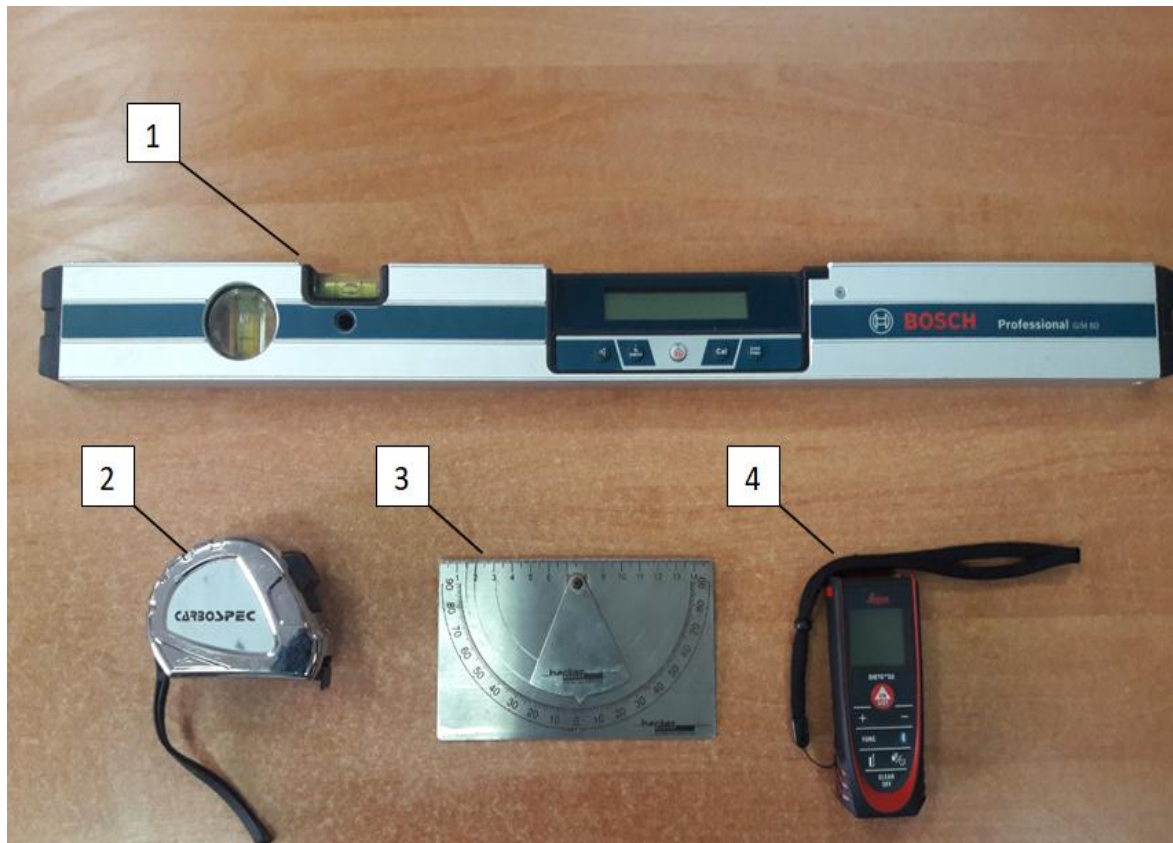


Rys. 8.1. Stanowisko badawcze w warunkach dołowych, gdzie: czujniki ciśnienia podpory (1), czujnik geometrii stropnicy (2), czujnik geometrii osłony (3), czujnik geometrii łącznika przedniego lemniskaty (4), czujnik geometrii spągnicy (5), czujnik ciśnienia stojaka hydraulicznego (6)

Tak przygotowane i zabudowane stanowisko badawcze pomyślnie przeszło test związany z przeciwstawianiem się trudnemu środowisku pracy. Dane pozyskiwane z czujników były zapisywane na karcie pamięci i regularnie odczytywane po kilku dniach pracy układu pomiarowego. Czujniki komunikowały się w sposób

beprzewodowy. Dodatkowo na każdej zmianie wydobywczej dokonywano pomiarów ręcznych, które były weryfikowane z uzyskanymi wynikami z układu pomiarowego. Na tym etapie czujniki zainstalowane były na magnesach bezpośrednio na stropnicy, osłonie odzawałowej, spągnicy oraz łączniku przednim lemniskaty. Każdy z czujników był dodatkowo zabezpieczony łańcuchem montażowym, aby w przypadku jego zerwania z elementów konstrukcyjnych nie uległ uszkodzeniu.

Wykonane pomiary stanowiły podstawę dla określenia wytycznych do montażu czujników oraz pozwoliły wyznaczyć i zweryfikować zakładane parametry pracy obudowy. Pomiary weryfikowane były z pomiarami ręcznymi na zmianach wydobywczych (rys. 8.3 - 8.4), które były wykonywane za pomocą urządzeń ręcznych oraz specjalistycznych urządzeń elektronicznych (rys. 8.2.).



Rys. 8.2. Urządzenia pomiarowe, gdzie: BOCH Professional GIM 60 (1), miara zwijana (2), kątomierz nastawny półokrągły 0-180° (3), Dalmierz laserowy LeicaDisto D2 (4)



Rys. 8.3. Pomiary ręczne geometrii rozparcia obudowy, gdzie: pomiar wysokości –urządzeniem Dalmierz laserowy LeicaDisto D2 (a), pomiar nachylenie stojaka –urządzeniem BOCH Professional GIM 60 (b)

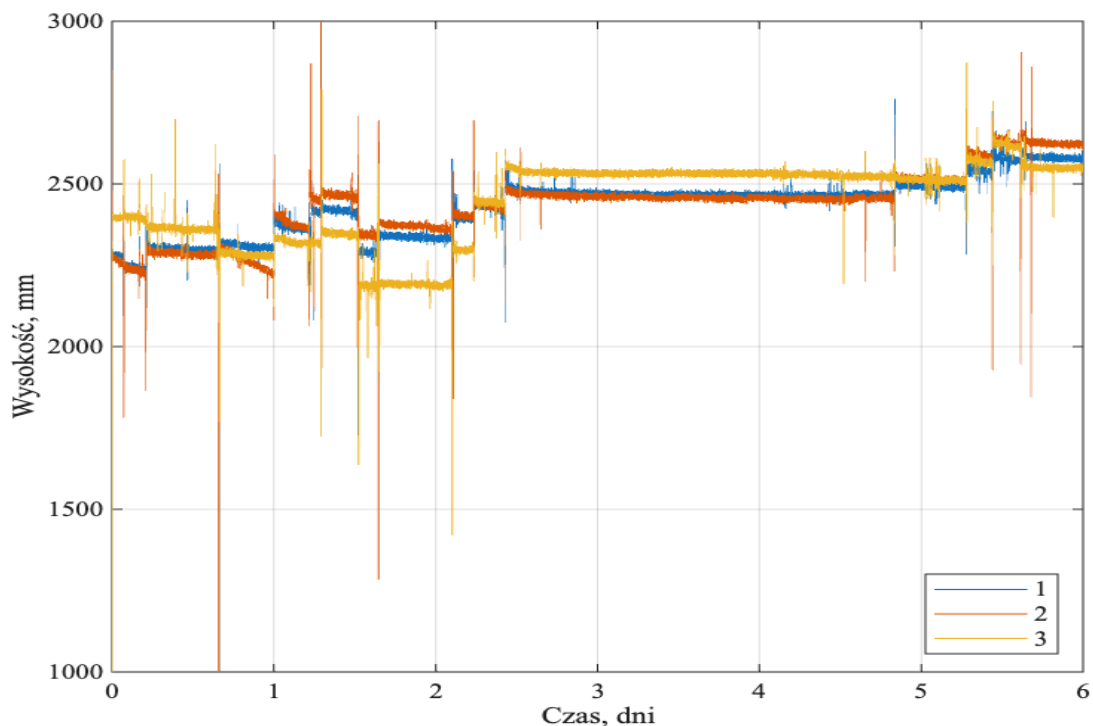


Rys. 8.4. Pomiar ręczne nachylenia stropnicy –przy użyciu BOCH Professional GIM 60

8.2. Wyniki przeprowadzonych badań w warunkach rzeczywistych – I etap

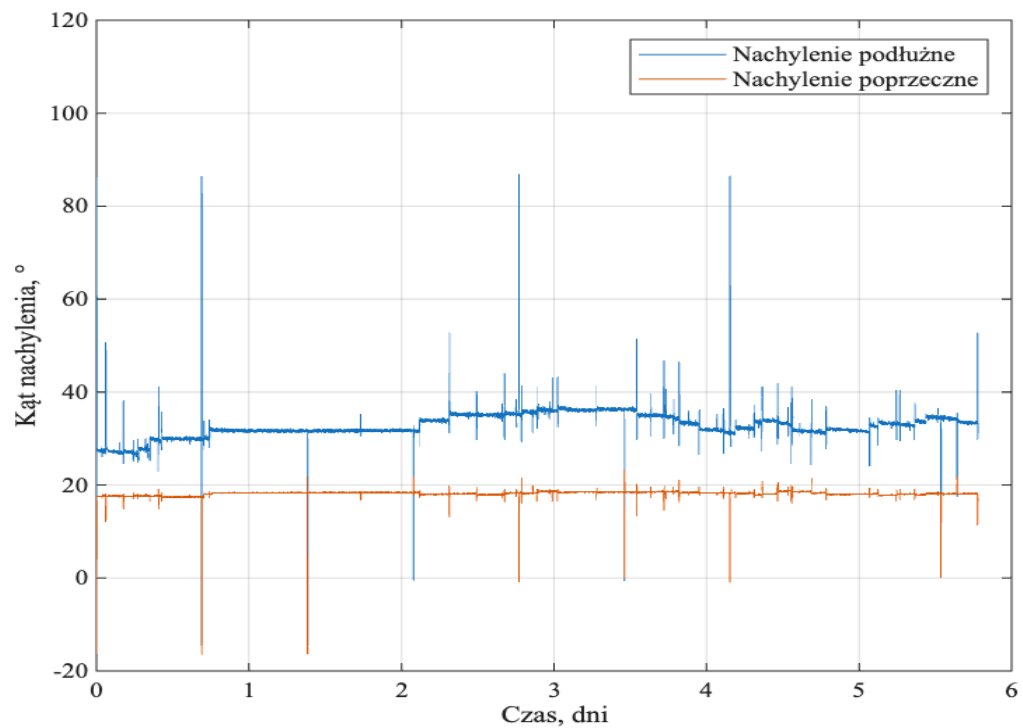
W wyrobisku ścianowym zainstalowany układ rejestrująco - pomiarowy składał się z czterech czujników działających w technologii MEMS oraz jednego dodatkowego czujnika wyposażonego w kartę pamięci. Układ dokonywał pomiaru wartości nachyleń,

na podstawie których określono wysokość roboczą pracy sekcji w ścianie. Czujniki zlokalizowane były na podstawowych elementach sekcji tj. stropnica, spąglica, łącznik przedni lemniskaty, osłona odzawałowa. Dodatkowy czujnik z karta pamięci znajdował się na osłonie odzawałowej (rys. 8.1). Układ czujników komunikował się bezprzewodowo drogą radiową, wykorzystując do pomiaru kątów opisane wcześniej akcelerometry [62, 63] zabudowane w czujnikach. Czujniki posiadały zasilanie bateryjne. System monitorował prace trzech wybranych sekcji, które poddano badaniom. Stanowisko badawcze w pierwszej fazie rejestrowało dane przez okres sześciu dni. Wyniki tych pomiarów przedstawiono na rysunku 8.5.

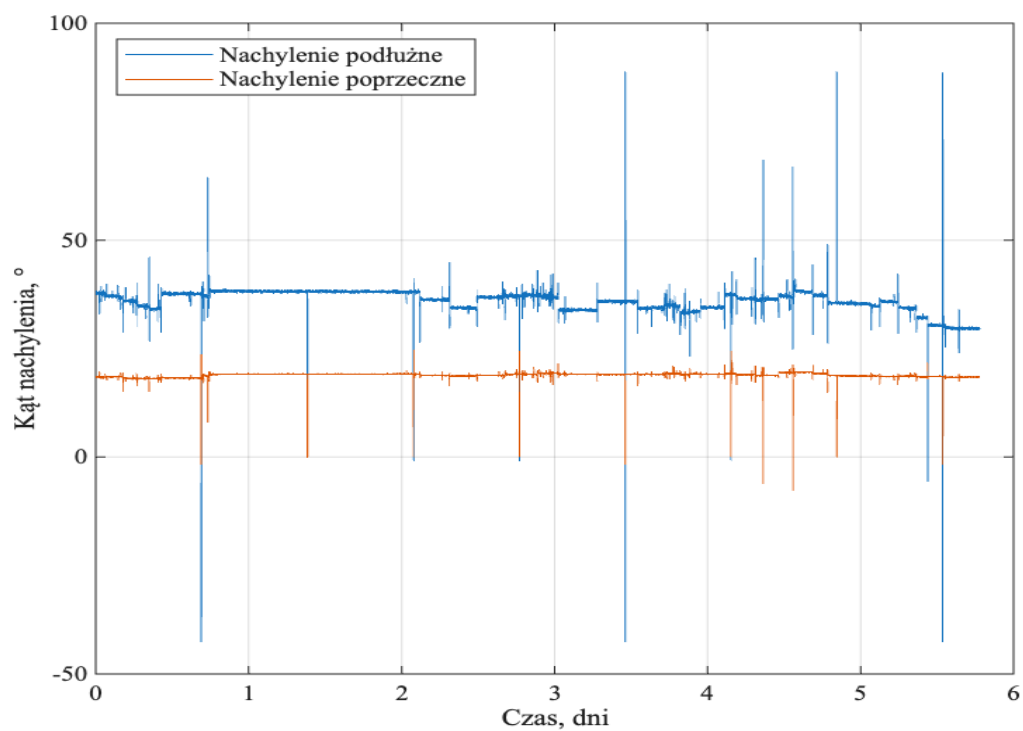


Rys. 8.5. Zmiana wysokości trzech badanych sekcji, gdzie: pierwsza badana sekcja (1), druga badana sekcja (2), trzecia badana sekcja (3)

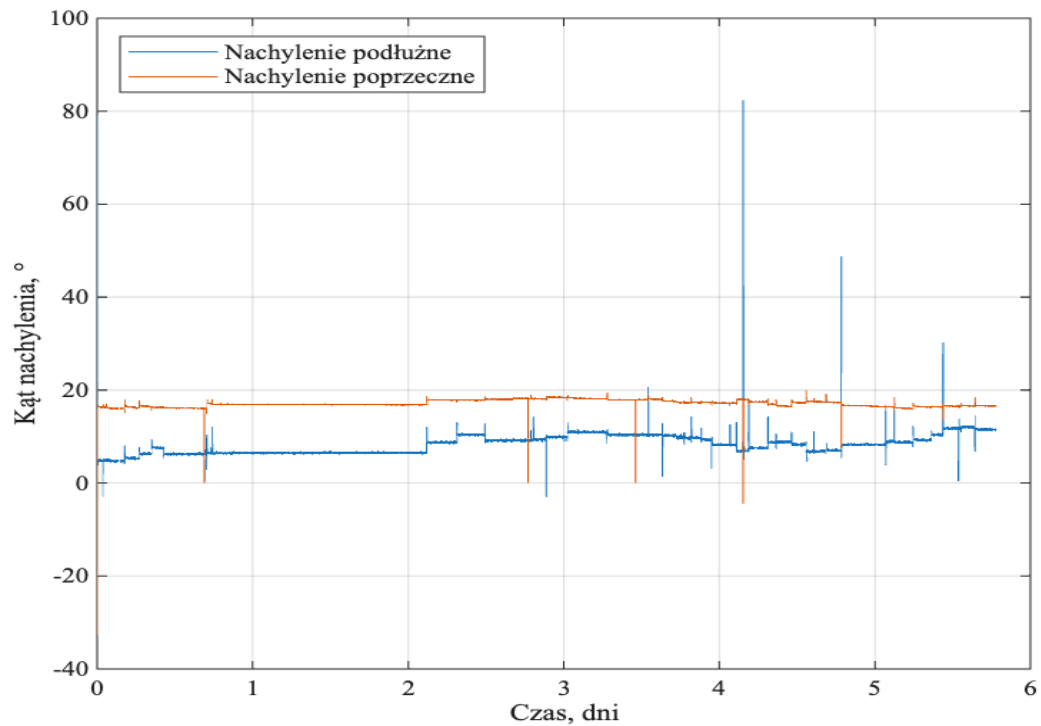
Na rysunkach 8.6 – 8.9 przedstawiono zmiany nachylenia poprzecznego i podłużnego badanych elementów sekcji.



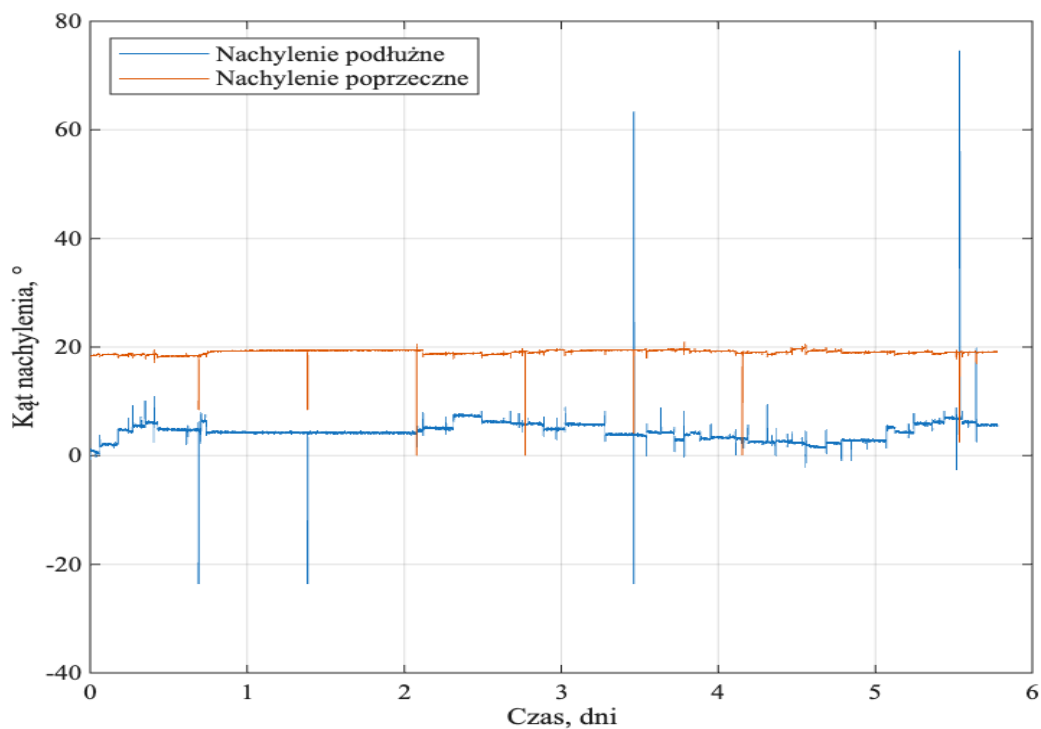
Rys. 8.6. Nachylenie poprzeczne i podłużne osłony odzawałowej badanej sekcji



Rys. 8.7. Nachylenie poprzeczne i podłużne przedniego łącznika - lemniskaty badanej sekcji



Rys. 8.8. Nachylenie poprzeczne i podłużne spągnicy badanej sekcji



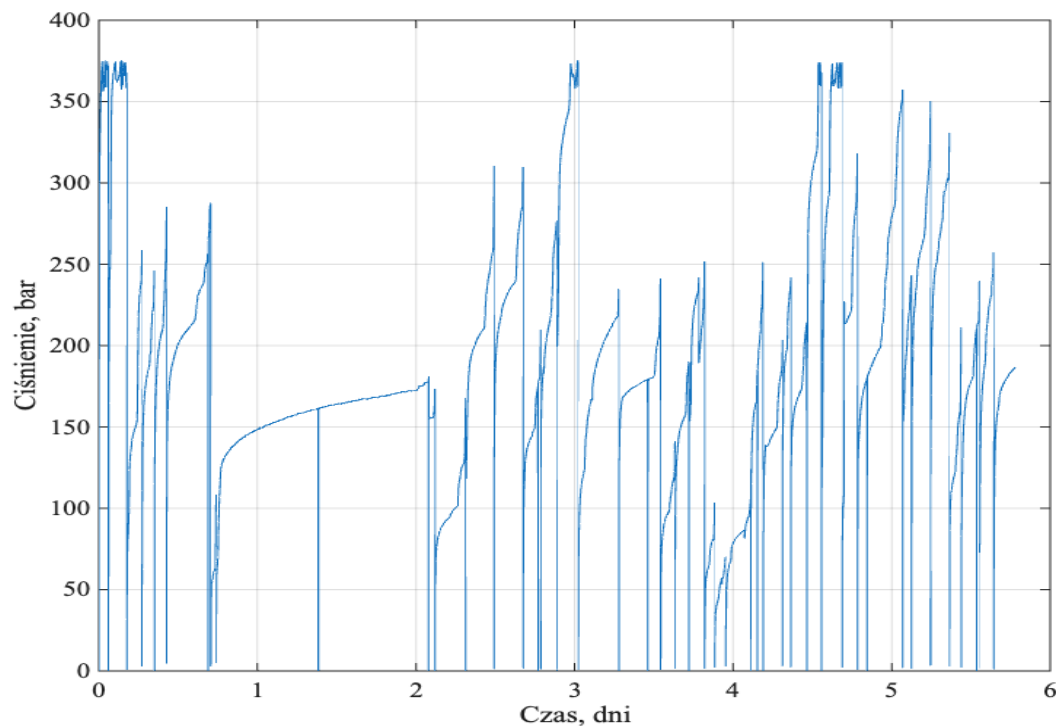
Rys. 8.9. Nachylenie poprzeczne i podłużne stropnicy badanej sekcji

Uzyskane wyniki odzwierciedlają położenie sekcji i jej elementów w wyrobisku ścianowym. Praca obudowy uzależniona jest od warunków geologiczno - górniczych oraz sposobu sterowania obudową przez operatora. Te czynniki mają kluczowy wpływ

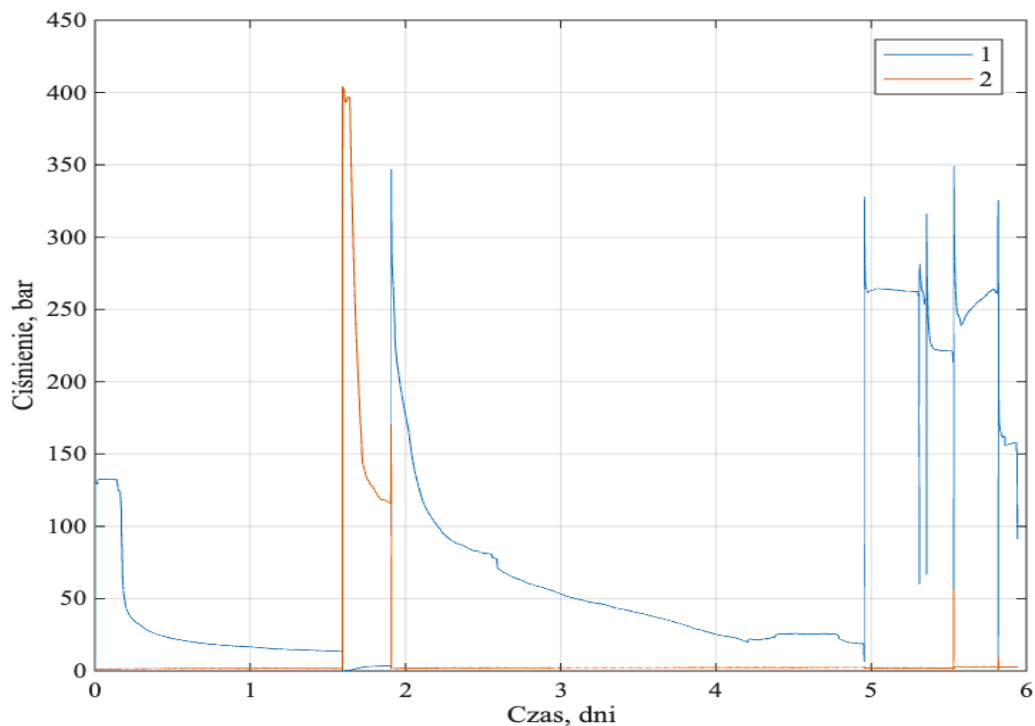
na sposób prawidłowego prowadzenia wyrobiska ścianowego oraz efektywność i bezpieczeństwo prowadzonych robót.

Uzyskane wyniki, niewątpliwie stanowią ważne źródło informacji, które umożliwiają odniesienie się do panujących warunków geologiczno - górniczych w wyrobisku górniczym oraz efektywności pracy obudowy i częściowo także załogi. Korzystając z opracowanego systemu monitoringu pracy obudowy można zatem weryfikować w czasie rzeczywistym zachodzące zmiany w prowadzeniu wyrobiska ścianowego.

W czasie badań wykorzystano także czujniki monitorujące ciśnienie w stojakach. Przeprowadzono pomiary zmiany wartości ciśnienia w stojakach i siłowniku podpory, których wyniki zostały przedstawione na rysunkach 8.10 i 8.11.



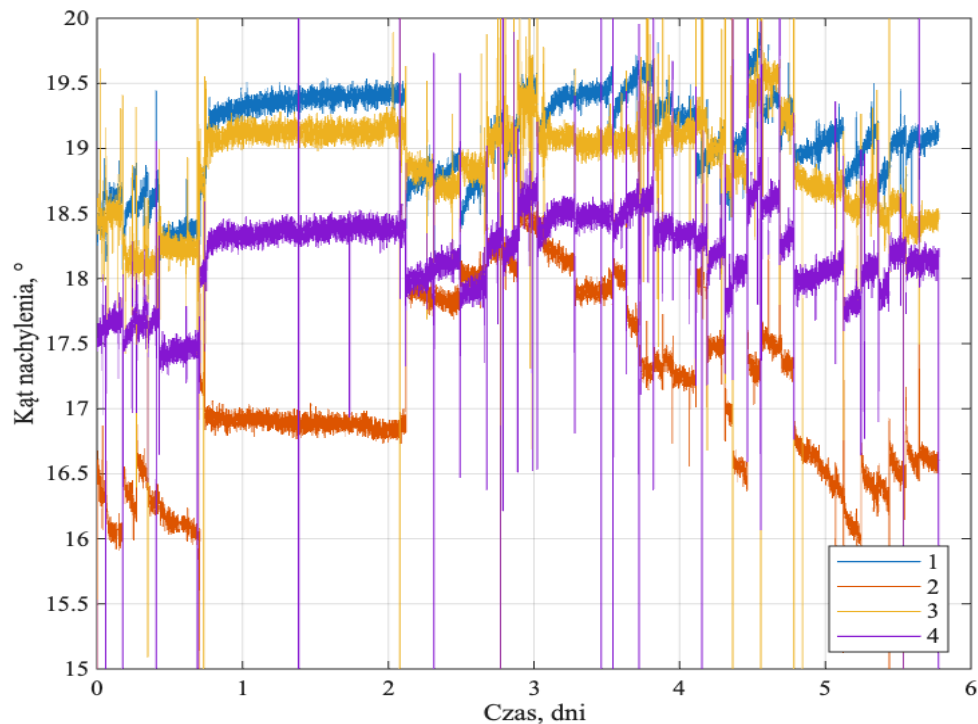
Rys. 8.10. Czasowe zmiany wartość ciśnienia w stojakach pierwszej badanej sekcji obudowy



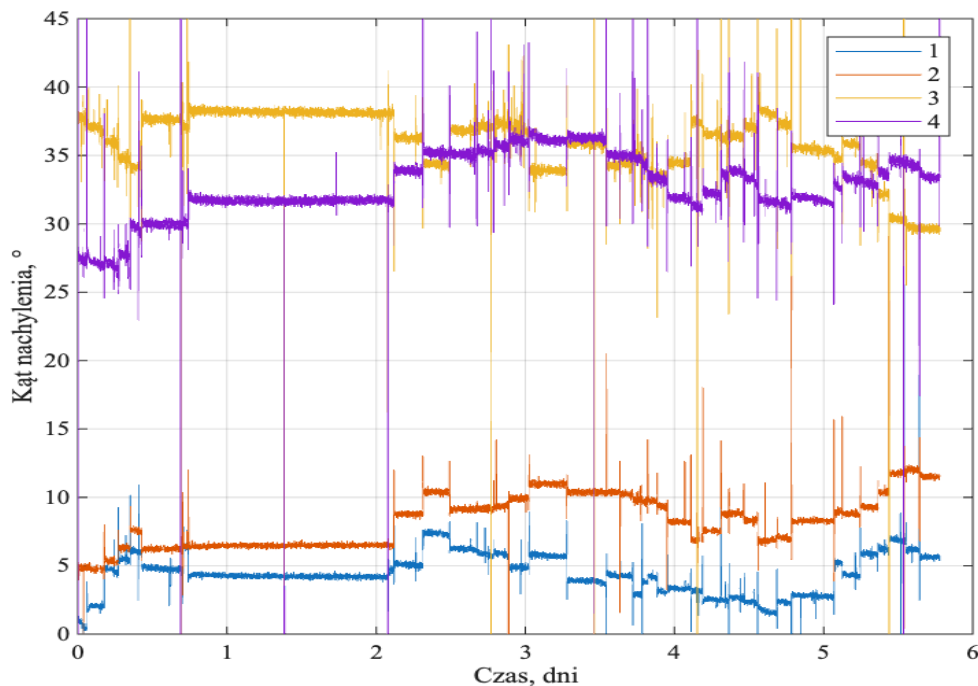
Rys. 8.11. Czasowe zmiany wartości ciśnienia w siłowniku podpory pierwszej badanej sekcji, gdzie: ciśnienie w przestrzeni podtłoku (1), ciśnienie w przestrzeni nadtłoku (2)

Uzyskane wyniki umożliwiły prześledzenie procesu współpracy obudowy z górotworem. Wartość ciśnień w stojakach sekcji obudowy znajduje bowiem swoje odniesienie w pomiarach wysokości pracy obudowy. Z obserwacji wynika, że zmienna wartości ciśnienia pokrywa się ze zmienną wysokością pracy obudowy. Ten stan zależny jest od sterowania sekcją przez operatora, co na podstawie uzyskanych wyników można ocenić. W wykonanych pomiarach duże znaczenie ma zatem czynnik ludzki, sposób i doświadczenie w prowadzeniu wyrobiska ścianowego oraz sterowania sekcją. Te czynniki mają znaczący wpływ na jakość pomiarów, efektywność, bezpieczeństwo pracy oraz aspekty ekonomiczne związane np. z postojami kompleksu ścianowego.

Badania nad monitowaniem parametrów geometrycznych mają znaczenie dla określania stateczności wyrobiska w celu uzyskania prawidłowej pracy obudowy ścianowej i współpracy z górotworem. Znaczącymi cechami badanego systemu jest możliwość ciągłego pomiaru, przesył danych w dowolne miejsce oraz bezprzewodowa komunikacja pomiędzy czujnikami zbierającymi pomiary z poszczególnych elementów sekcji. System poza określeniem wysokości pracy obudowy pozwala także wyznaczyć nachylenie poprzeczne (rys. 8.12) i podłużne (rys. 8.13) każdego z elementów, na których zainstalowane są czujniki.



Rys. 8.12. Czasowe zmiany nachylenia poprzecznego podstawowych elementów obudowy, gdzie: stropnica (1), spąglica (2), łącznik przedni lemniskaty (3), osłona odzawałowa (4)



Rys. 8.13. Czasowe zmiany nachylenia podłużnego podstawowych elementów obudowy, gdzie: stropnica (1), spąglica (2), łącznik przedni lemniskaty (3), osłona odzawałowa (4)

Wyniki tych badań (rys. 8.12 i 8.13) obrazują zmienne nachylenia elementów sekcji obudowy w warunkach dołowych podczas jej pracy. Dane z pomiarów zestawiono także w tabelach 8.1 i 8.2. Dodatkowo w trakcie badań dokonano pomiaru nachylenia kąta nachylenia stojaka i siłownika podpory.

Tabela 8.1. Zestawienie wartości nachyleń podłużnych

Spagnica	Stropnica	Łącznik przedni	Oslona	Stojaka	Siłownika podpory
[°]					
4,81	1,25	37,7	27,84	8,6	6,5
5,06	1,15	38,3	30,2	5,9	5,2
4,70	0,95	34,27	31,36	5,5	8,3
5,24	1,3	37,10	33,89	4,6	8,2
4,95	4,70	35,78	34,79	7,6	10,5
4,75	1,08	34,80	35,75	7,8	7,3
4,83	5,13	37,62	34,74	6,4	8,5
5,03	6,01	36,80	33,22	4,2	10,1
10,45	3,85	36,07	31,82	10,4	11,6
9,34	4,27	35,78	32,94	12,9	15,6
11,74	3,16	30,49	33,35	4,7	8,4
12,09	6,26	29,42	33,32	13,6	10,6

Tabela 8.2. Zestawienie wartości nachyleń poprzecznych

Spagnica	Stropnica	Łącznik przedni	Oslona	Stojak	Siłownik podpory
[°]					
16,55	18,32	18,48	17,50	81,8	22,7
16,07	19,37	18,12	17,46	79,0	24,7
17,23	18,77	18,33	17,64	76,4	24,6
16,85	18,69	19,12	17,39	76,5	22,2
16,78	19,06	18,66	18,33	77,8	25,6
16,77	19,24	19,03	18,08	79,0	27,0
18,09	19,22	18,97	18,09	73,0	31,0
18,15	18,83	19,16	18,49	72,1	36,3
17,32	19,36	19,57	18,31	62,4	32,4
17,43	19,21	18,69	17,85	64,6	23,2
16,66	19,11	18,72	16,60	62,6	24,6
16,61	19,14	18,46	18,17	66,1	36,7

Zarejestrowane nachylenia wraz z wyznaczoną wysokością pracy obudowy należy uznać za kluczowe parametry pracy obudowy w wyrobisku ścianowym. Takie informacje stanowią niezbędną bazę danych do wizualizacji rzeczywistej pracy obudowy w wyrobisku ścianowym. Operator oraz osoba nadzorująca prace obudowy ścianowej, za pomocą tych informacji może diagnozować prawidłowość pracy obudowy oraz reagować na zmienne warunki geologiczno – górnicze podczas prowadzenia ściany. Opracowany układ może być zatem traktowany jako narzędzie wspomagające dla działów zajmujących się obserwacją zmian zachodzących w górotworze oraz działów mierniczych kopalni.

8.3. Podsumowanie

Praktyczne zastosowanie opracowanego systemu zakładało zabudowanie czujników w sekcjach obudowy zmechanizowanej w wyrobisku ścianowym, co miało zweryfikować wcześniejsze badania. Prowadzone badania potwierdziły poprawność wyznaczonych miejsc montażu czujników. W czasie pracy obudowy w warunkach rzeczywistych nie były one znacznie narażone na trudne warunki geologiczno - górnicze. Układ pomiarowy bez problemu umożliwił rejestrację i wyznaczenie nachylenia poprzecznego i podłużnego badanych elementów (rys. 8.11 - 8.13) oraz wysokość pracy obudowy zmechanizowanej (rys. 8.5). Pozyskiwane dane z układu pomiarowego były weryfikowane z pomiarami uzyskanymi za pośrednictwem przyrządów ręcznych (rys. 8.3 – 8.4). Celem poszerzenia prowadzonych badań, system doposażony został w czujniki ciśnienia, których pomiary prezentują rysunki 8.10 i 8.11. Efektem dokonanych badań są wykresy z pomiarów bieżącej wysokości sekcji (rys. 8.5).

Badania umożliwiły wyznaczenie parametrów geometrycznych dla trzech badanych sekcji, które stanowiły stanowisko badawcze w warunkach dołowych. Przedstawione przebiegi czasowe rejestrowanych parametrów stanowią tylko część pomiarów, które zarejestrowane być wykorzystane w procesie diagnostyki pracy obudowy.

Niewątpliwie przeprowadzone badania dostarczyły praktycznej wiedzy w zakresie miejsc montażu czujników w sekcjach przeznaczonych do ścian wysokich, średnich i niskich. Bieżący monitoring parametrów geometrycznych obudowy dostarczył kluczowych informacji niezbędnych do podjęcia dalszych badań, celem doskonalenia układu pomiarowego.

Zastosowana technologia MEMS w opracowanych czujnikach pozwoliła dostarczyć bardziej precyzyjnych wyników badań w przeciwieństwie do poprzednio wykorzystywanych rozwiązań. Dane z układu pomiarowego pokrywały się z pomiarami ręcznymi, lecz sposób przytwierdzenia wymagał dalszych badań i analiz, aby zapewnić sprawniejszy montaż tych czujników. Dlatego, aby zmienić i poprawić skuteczność montażu czujnika przeprowadzono powtórne badania stanowiskowe, które uwzględniały bardziej zaawansowany sposób tego montażu. Kolejno realizowanym etapem było przejście do powtórnych badań stanowiskowych, a następnie do testów w warunkach rzeczywistych już z nowo opracowanym uchwytem montażowym.

9. Badania parametrów geometrycznych sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej - II etap badań stanowiskowych i w warunkach rzeczywistych

Wstępne badania stanowiskowe oraz ich wyniki stanowiły podstawę rozpoczęcia badań w warunkach rzeczywistych. Aby osiągnąć założone cele pracy oraz uwzględniając wnioski z badań wstępnych konieczne było dopracowanie sposobu montażu czujników do pomiaru parametrów geometrycznych sekcji obudowy. Zmiany miały na celu udoskonalenie sposobu montażu czujników oraz ich eksploatacji, poprzez poprawę ich stabilności oraz ułatwienie serwisowania w warunkach eksploatacyjnych. Wprowadzone rozwiązania wymagały powtórnych badań stanowiskowych oraz w warunkach rzeczywistych, uwzględniających wprowadzone zmiany (uchwyty montażowe).

W trakcie tych badań proces komunikacji i rejestracji danych diagnostycznych odbywał się w sposób bezprzewodowy. Przesył danych odbywał się za pomocą przetwornika danych, a wizualizacje wyświetlane były na komputerze na stanowisku w hali technologicznej (w trakcie badań stanowiskowych), a w warunkach rzeczywistych na komputerze zlokalizowanym w wyrobisku przyścianowym. Następnie wykorzystując infrastrukturę dołową w postaci sieci światłowodów dane przesyłane były na powierzchnię do dyspozytorni energomechanicznej [123].

Należy także wspomnieć, że cały proces badawczy, szczególnie w warunkach rzeczywistych stanowił duże wyzwanie dla inżynierów i konstruktorów oraz pracowników kopalni. Wynikało to ze złożonych warunków środowiskowych oraz losowego charakteru oddziaływania górotworu na wyrobiska górnicze [17, 74, 134].

Przeprowadzone badania miały także na celu rozszerzenie obecnie stosowanego systemu monitoringu ciśnienia obudowy o parametry geometryczne w zakresie rozwoju jego funkcjonalności. Cały ten proces wiązał się również z uzyskaniem kompatybilności z konstrukcją obudowy zmechanizowanej.

W oparciu o uzyskane wyniki badań opracowano metodę postępowania badawczego celem określenia wytycznych dla systemu monitoringu parametrów pracy obudowy zmechanizowanej. W badaniach scharakteryzowano pracę układu pomiarowo – rejestrującego oraz określono metodę obliczeniową na podstawie której wyznaczono kąty pracy obudowy dla każdego z elementów, na których zabudowany był czujnik. Prezentowane badania umożliwiły określenie miejsca montażu czujników, technologii ich wykonania, sposób kalibracji oraz rejestrowane parametry geometryczne pracy

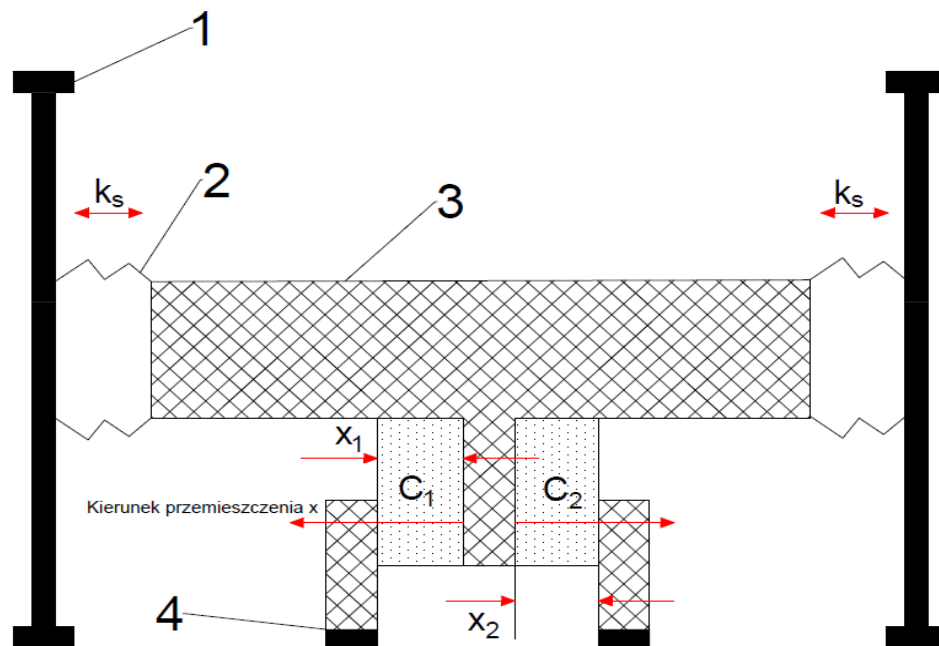
obudowy. Uzyskane wyniki badań stanowią podstawę do opracowania wytycznych dla układu pomiarowo – rejestrującego oraz konstrukcji obudowy w aspekcie wdrożenia systemu monitoringu położenia obudowy ścianowej w wyrobisku ścianowym.

W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki badań stanowiskowych i w warunkach rzeczywistych oraz omówiono metodę obliczeniową i uzyskane wyniki.

9.1. Charakterystyka metody wyznaczania kątów pochylenia elementów sekcji obudowy

Zdefiniowanie parametrów geometrycznych pracy obudowy zmechanizowanej stanowi ważny element kontroli stanu pracy całego kompleksu ścianowego. Uzyskane dane pozwalają ściśle określić panujące warunki geologiczno – górnicze w wyrobisku ścianowym oraz prawidłowy sposób funkcjonowania obudowy oraz kompleksu ścianowego.

Do określenia parametrów geometrycznych obudowy konieczne było wyznaczenie kątów pomiędzy współpracującymi jej elementami. Do tego celu wykorzystano czujniki, które w oparciu o technologię MEMS pozwoliły, poprzez pomiar wartości przyspieszenia wyznaczyć wartości kątów pochylenia elementów sekcji. Strukturę akcelometru wykorzystywanego do pomiaru wartości przyspieszenia na elementach sekcji obudowy przedstawiono na rysunku 9.1.



Rys. 9.1. Struktura akcelometru typu MEMS, gdzie: baza (1), sprężyna (2), masa ruchoma (3), płytki stałe (4), różnica pojemności (C), wartość wychylenia ($x_{1,2}$), stała sprężystości (k_s)

Pojemność kondensatora płaskiego można określić za pomocą wzoru [2, 53, 54]:

$$C_0 = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d} = \varepsilon_A \frac{1}{d} \quad (12)$$

gdzie:

A – powierzchnia okładek,

d – odległość pomiędzy okładkami kondensatora,

ε_0 – odpowiednio przenikalność elektryczna próżni,

ε_r – względna przenikalność elektryczna materiału, z którego wykonano okładki izolator.

Wartość odchylenia zawieszonych bezwładnie okładek kondensatora określa się za pomocą pomiaru różnicy pojemności C_1 i C_2 . Przyjmując przenikalność powietrza ε_A pomiędzy okładkami kondensatora, a ramą referencyjną w następujący sposób:

$$C_1 = \varepsilon_A \frac{1}{x_1} = \varepsilon_A \frac{1}{d+x} = C_0 - \Delta C \quad (13)$$

$$C_2 = \varepsilon_A \frac{1}{x_2} = \varepsilon_A \frac{1}{d-x} = C_0 + \Delta C \quad (14)$$

Jeżeli $a = 0$, pojemności $C_1 = C_2 = 0$, gdyż $x_1 = x_2$. Jeżeli natomiast przemieszczenie masy bezwładnej x jest różne od zera, wtedy:

$$C_2 - C_1 = 2\Delta C = 2\varepsilon_A \frac{x}{d^2 - x^2} \quad (15)$$

Mierząc różnice pojemności ΔC , można odczytać przesunięcie x równaniem:

$$\Delta C x^2 + \varepsilon_A x - \Delta C d^2 = 0 \quad (16)$$

$$x \approx \frac{d^2}{\varepsilon_A} \Delta C = d \frac{\Delta C}{C_0} \quad (17)$$

Z zależności (17) wynika, że przemieszczenie badanej masy jest proporcjonalne do różnicy pojemności ΔC . Pojemność kondensatora mierzona jest za pomocą przepuszczalnych przez kondensator dwóch odpowiednio zmodulowanych fal napięcia. Porównując te dane z oryginalnym sygnałem modulującym otrzymujemy napięcie proporcjonalne do różnicy pojemności tych kondensatorów [2, 53, 54]. Według prawa Hook'a [1, 16, 49, 60], idealna sprężyna oddziałuje z siłą sprężystości F_s proporcjonalnie do wychylenia x od stanu wyjściowego ($F_s = k_s x$, gdzie k_s to stała

sprężystości). Korzystając z tych zależności wystarczy podstawić do Drugiej Zasady Dynamiki Newtona [1, 16, 49], aby otrzymać zależność pomiędzy wychyleniem, a przyspieszeniem:

$$a = \frac{k_s}{m} x \quad (18)$$

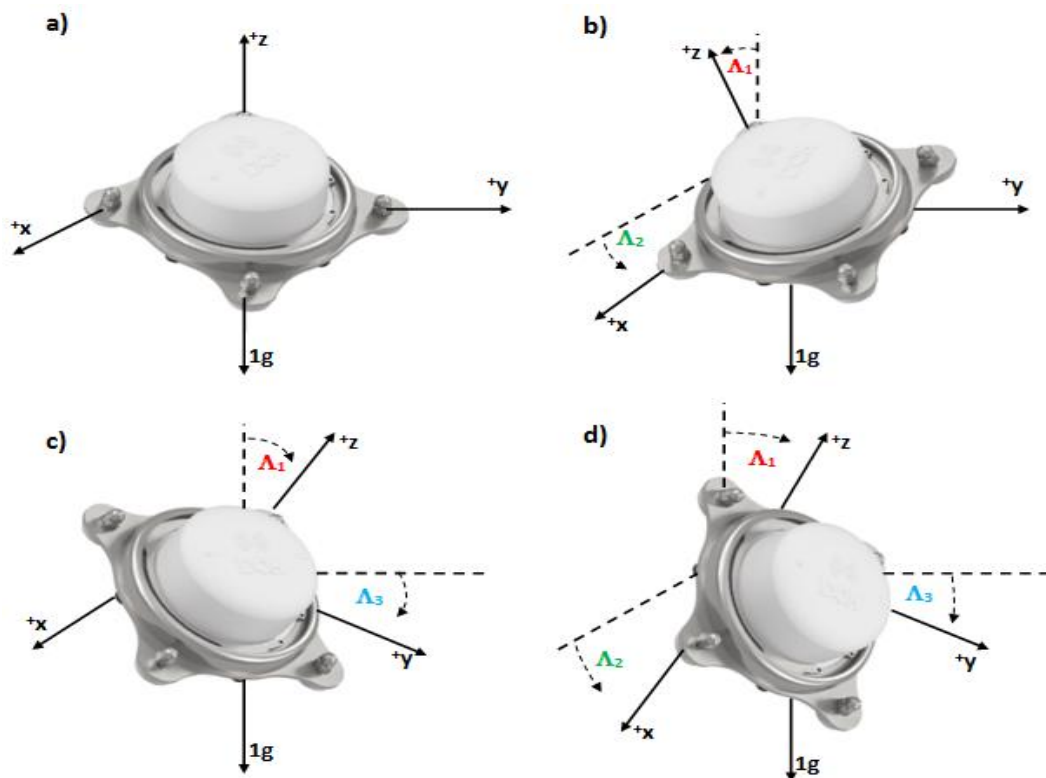
gdzie:

$\frac{k_s}{m}$ - to stała wynikająca z budowy akcelometru,

a - wartość wychylenia,

x - stała wyznaczona przez system przetwarzania analogowego do postaci sygnału napięciowego.

Omawiane akcelerometry mierzą przyspieszenie wynikające z ruchu oraz przyciągania ziemskiego. Wartość przyspieszenia powstałego podczas wykonanego ruchu, mierzona przez czujniki, pozwoliła zdefiniować kąty pracy poszczególnych elementów obudowy. Sposób wyznaczonych kątów nachylenia [59] przedstawiono na rysunku 9.2 oraz stosownych równaniach [2, 53, 54].



Rys. 9.2. Kąty nachylenia czujnika, gdzie: **a** -pozycja odniesienia, urządzenie z osiami x, y w płaszczyźnie horyzontu (pole 0g) i osią prostopadłą do horyzontu (pole 1g);
b - Λ_1 kąt pomiędzy wektorem grawitacji, a osią z oraz Λ_2 kąt pomiędzy horyzontem, a osią x akcelometru; **c** - Λ_3 kąt pomiędzy horyzontem, a osią y;
d - kąty nachylenia w trzech osiach x,y,z

Kąty nachylenia zostały określone za pomocą następujących równań [2, 53, 54]:

$$\Lambda_1 = \arctan\left(\frac{\sqrt{a_x^2 + a_y^2}}{a_z}\right) \quad (19)$$

$$\Lambda_2 = \arctan\left(\frac{a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}}\right) \quad (20)$$

$$\Lambda_3 = \arctan\left(\frac{a_y}{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}}\right) \quad (21)$$

gdzie:

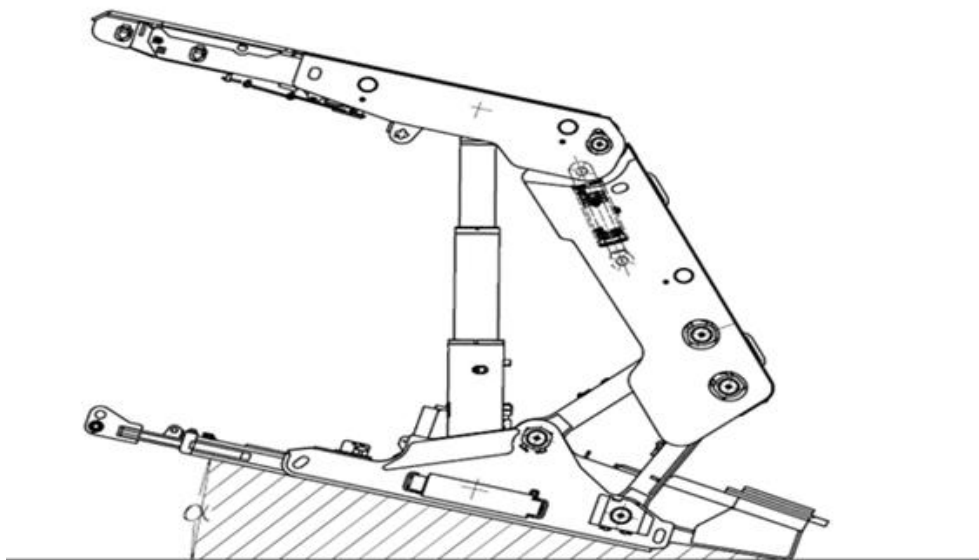
Λ - kąt nachylenia czujnika, [°]

a_y - przyspieszenie ziemskie w osi Y, [m/s²]

a_x - przyspieszenie ziemskie w osi X, [m/s²]

a_z - przyspieszenie ziemskie w osi Z, [m/s²]

Zastosowanie akcelerometrów typu MEMS wymaga przeprowadzenia procesu wzorcowania. Wzorcowanie związane było z wypoziomowaniem pracy czujników, które odbyło się w momencie ich zabudowy na elementach konstrukcyjnych obudowy. Przed rozpoczęciem wykonywanych pomiarów, system przeprowadza tzw. odcięcie kąta α nachylenia maszyny, definiując jej nachylenie w punkcie „0” (w stanie początkowym) (rys. 9.3).



Rys. 9.3. Kąt odcięcia α wynikający z pierwotnego ustawienia sekcji

Na tej podstawie można wyznaczyć parametry sygnałów wyjściowych generowanych przez akcelerometr, tzn. składową wyjściową oraz wzmocnienie. Znając kąt i własności geometryczne konstrukcji obudowy określono zakres wysokości pracy poszczególnych elementów sekcji (z funkcji trygonometrycznych), na których zainstalowane były czujniki. Wysokości te określono za pomocą równania (22):

$$h_n = l_n \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (22)$$

gdzie:

h_n – mierzona wysokość (h_1, h_2, h_3), [m]

l_n – długość elementu sekcji (stropnica, spąglica, osłona odzawałowa, łącznik przedni – lemniskaty), [m]

α – kąt pomiędzy linia przemieszczenia się danego elementu sekcji (β, γ, δ), [°]

Określenie wysokości całkowitej obudowy oparte było na sumowaniu trzech wysokości pracy podstawowych elementów obudowy określonych wzorem (23):

$$H_{\text{całkowita}} = h_1 + h_2 + h_3 \quad (23)$$

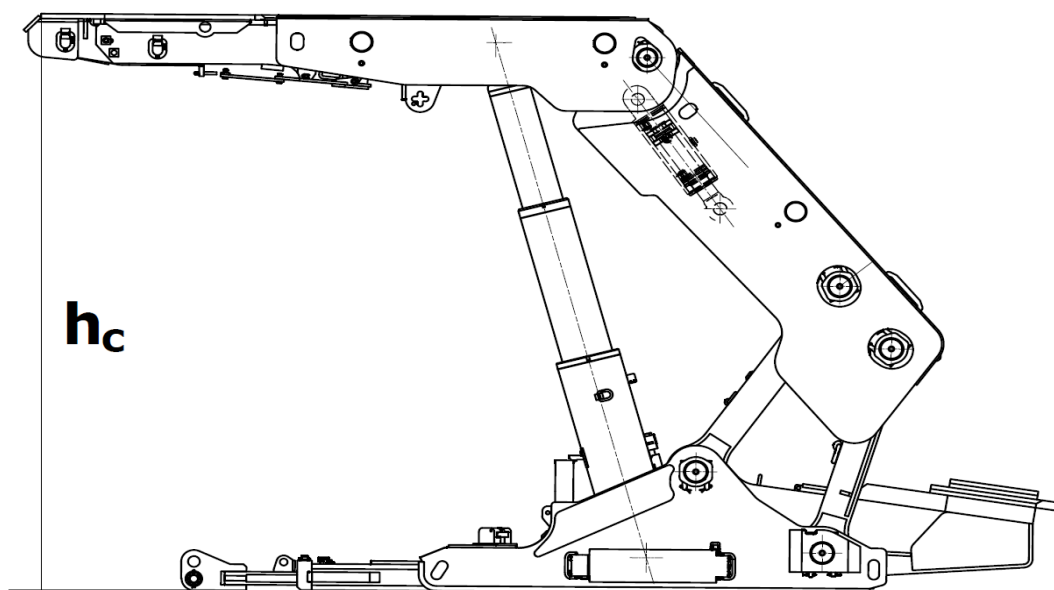
gdzie:

h_1 – wysokość określana na podstawie długości stropnicy i kąta β , [m]

h_2 – wysokość określana na podstawie długości osłony odzawałowej i kąta γ , [m]

h_3 – wysokość określana na podstawie długości łącznika przedniego lemniskaty i kąta δ , [m]

Przyjęta kolejność postępowania pozwoliła określić wysokość całkowitą obudowy na stanowisku badawczym oraz w warunkach rzeczywistych (rys. 9.4).



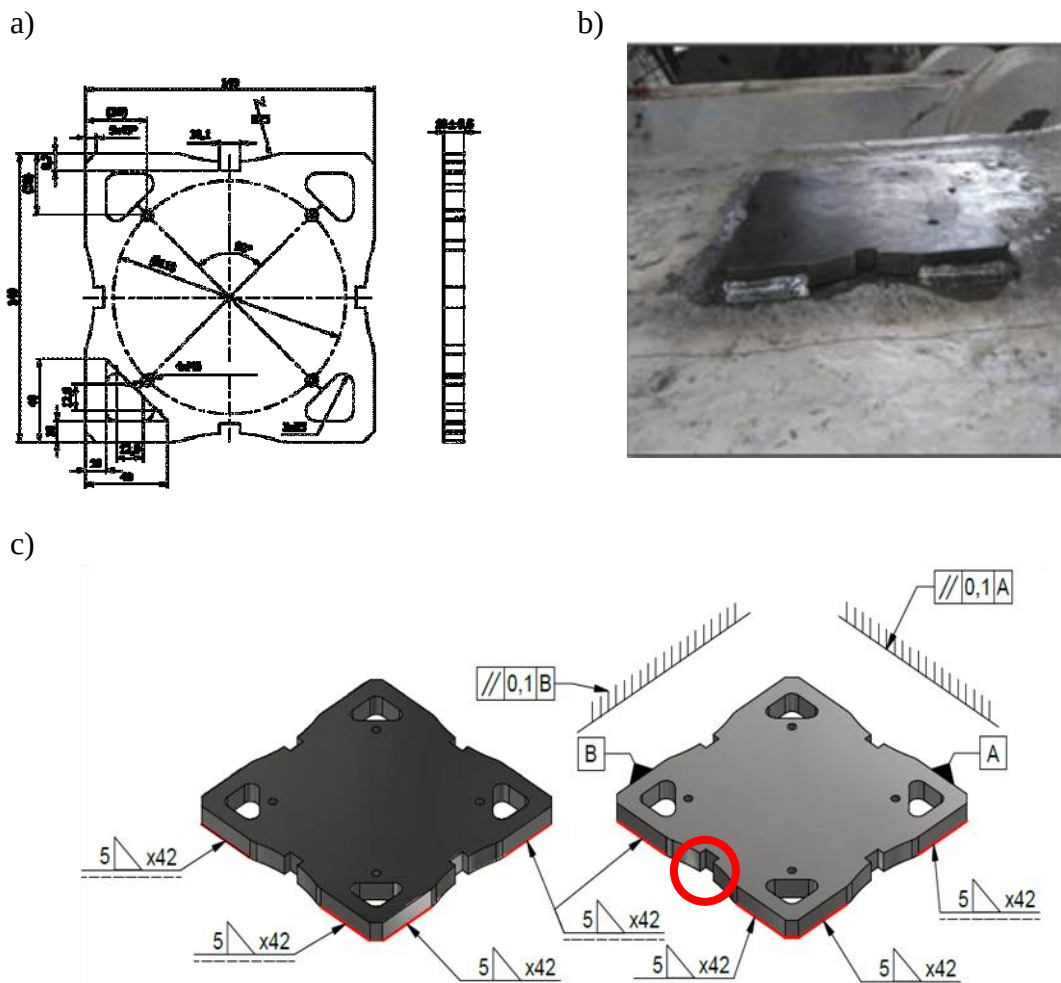
Rys. 9.4. Wysokość całkowita pracy obudowy

9.2. Przebieg II etapu badań stanowiskowych i w warunkach rzeczywistych

Przyjęta metoda obliczeniowa, która stanowi integralną część zastosowanej technologii MEMS, pozwoliła skonstruować układ pomiarowo – rejestrujący do wyznaczania geometrii sekcji obudowy. Przed rozpoczęciem badań w warunkach rzeczywistych układ pomiarowy wymagał analiz w oparciu o symulacje komputerowe, których celem było wyznaczenia miejsc montażu opracowanych czujników. W trakcie tych badań wykluczono kolizje z innymi elementami obudowy zmechanizowanej oraz określono miejsca w konstrukcji obudowy narażone na występowanie największych naprężeń w czasie jej pracy. Zgodnie z opracowaną metodą prowadzonych badań, przeprowadzono badania stanowiskowe, które były podstawą do testów układu pomiarowego w ścianie wydobywczej. Wykonane testy skutkowały określeniem ostatecznych miejsc montażu czujników w konstrukcji obudowy dla prawidłowej pracy układu pomiarowego.

9.2.1. Badania stanowiskowe - II etap

II etap prowadzonych badań stanowiskowych stanowił kolejny cykl testów celem opracowania wytycznych dla systemu monitorującego parametry pracy obudowy zmechanizowanej. Od wyników przeprowadzonej analizy zależne było przejście do powtórnych badań w warunkach rzeczywistych. W czasie badań stanowiskowych opracowano innowacyjny sposób montażu czujników, który znacznie wpłynął na obniżenie błędów pomiarowych. Problem został rozwiązany za pomocą zaprojektowanych i wykonanych do tego celu specjalistycznych uchwytów montażowych. Innowacyjne uchwyty montażowe zostały zaprojektowane z uwzględnieniem parametrów geometrycznych elementów sekcji obudowy zmechanizowanej, które stanowiły miejsce ich montażu. Na rysunku 9.5 przedstawiono zaprojektowany uchwyt wraz z jego parametrami geometrycznymi.



Rys. 9.5. Uchwyt montażowy, gdzie: parametry geometryczne blachy (a), widok blachy montażowej na stanowisku badawczym – łącznika przedniego lemniskaty (b), parametry mocowania blachy (c)

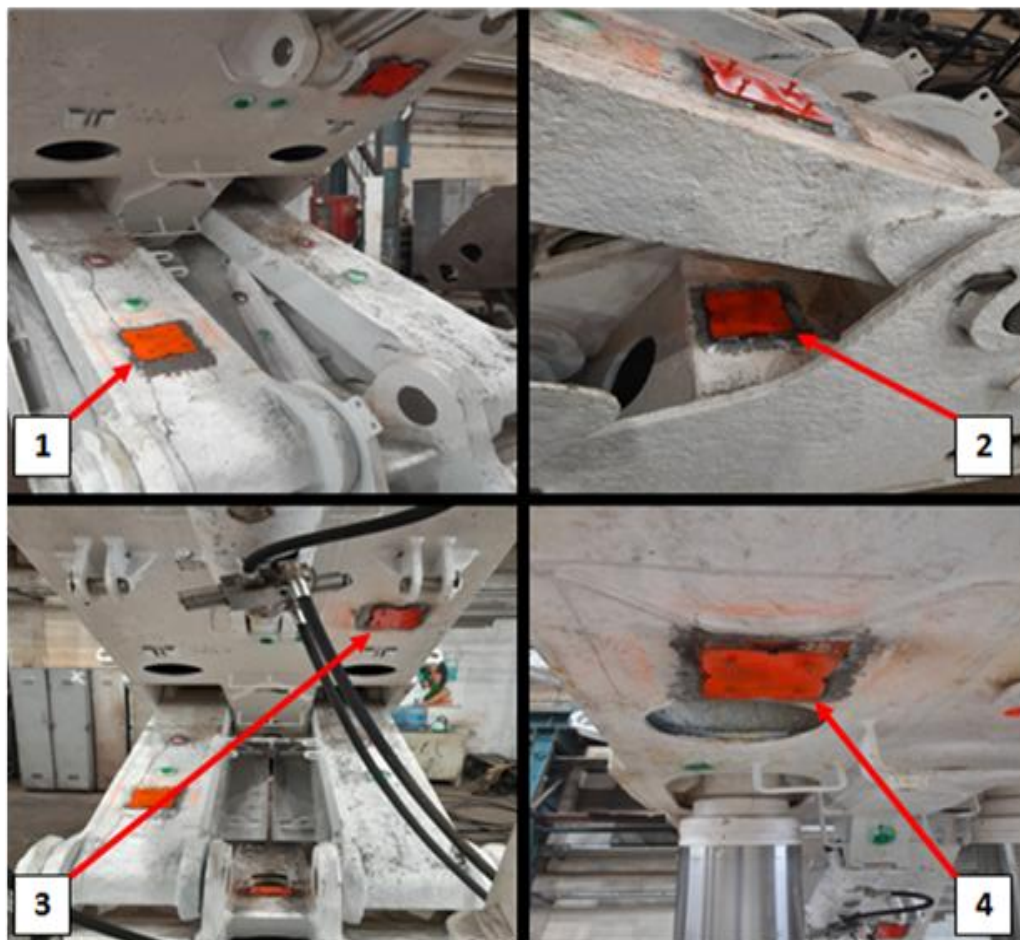
Wykonane uchwyty wymagały specjalistycznego montażu, który ma kluczowe znaczenie dla prawidłowego wzorcowania i pracy systemu pomiarowego. Poziomowanie czujników tworzących układ pomiarowo – rejestrujący pozwala uzyskać znacznie precyzyjniejszy pomiar i ułatwia ich zabudowę.

Kolejnym krokiem związanym ze wzorcowaniem układu pomiarowego był sposób ułożenia klosza czujnika, w którym zainstalowany jest czujnik pomiarowy wykorzystujący technologie MEMS. Do tego celu, w uchwytach montażowych zostały wykonane wcięcia (rys. 9.5, c)), za pomocą których przy wykorzystaniu specjalnie opracowanego przyrządu (rys. 9.6) ułożenie czujnika jest zgodne z wytycznymi konstruktorów. Sposób ręcznej kalibracji czujnika został przedstawiony na rys. 9.6.



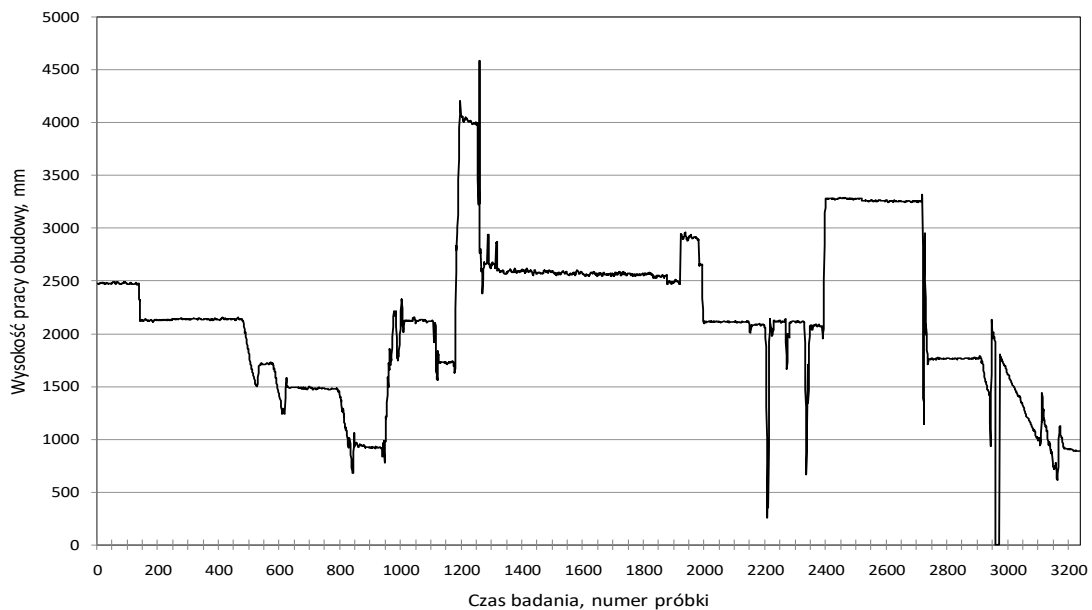
Rys. 9.6. Ręczna kalibracja czujnika za pomocą specjalistycznego przyrządu

Na podstawie przeprowadzonych analiz i badań stanowiskowych określono miejsca montażu uchwytów wraz z czujnikami układu pomiarowego. Na rys. 9.7 przedstawiono widok stanowiska badawczego z zabudowanymi uchwytami montażowymi na podstawowych elementach sekcji obudowy zmechanizowanej.



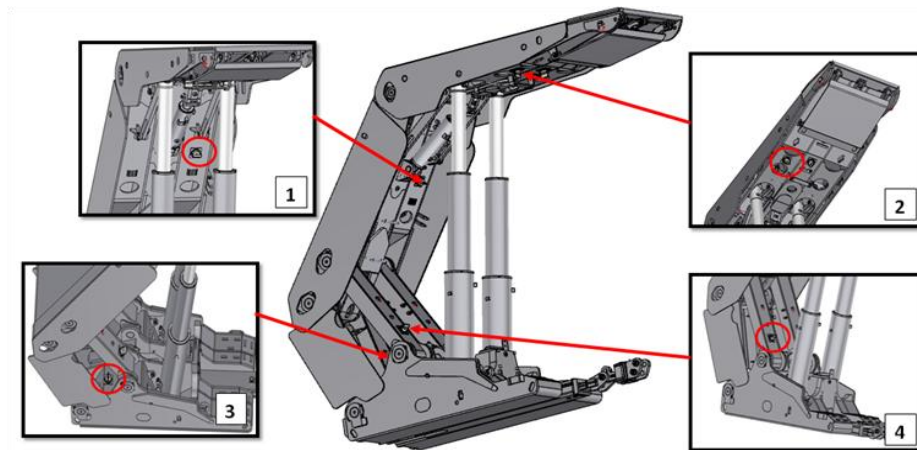
Rys. 9.7. Widok położenia uchwytów montażowych w badanej sekcji, gdzie: uchwyt łącznika przedniego - lemniskaty (1), uchwyt spągnicy (2), uchwyt osłony odzawałowej (3), uchwyt stropnicy (4)

Lokalizacja uchwytów (czujników) ma istotne znaczenie dla precyzji i jakości wykonania pomiarów geometrii obudowy. Położenie czujników, które mocowane są na zaprojektowanych uchwytach, wynika z przyjętego sposobu obliczania parametrów geometrycznych obudowy zmechanizowanej. Monitorowanie parametrów poszczególnych elementów obudowy pozwala na wyznaczenie nachyleń poprzecznych, podłużnych i wysokości roboczej obudowy zmechanizowanej. Przykład zmian wysokość pracy obudowy wyznaczony na stanowisku badawczym w warunkach powierzchniowych przedstawiono na rysunku 9.8.



Rys. 9.8. Przebieg zmian wysokości pracy obudowy na stanowisku badawczym

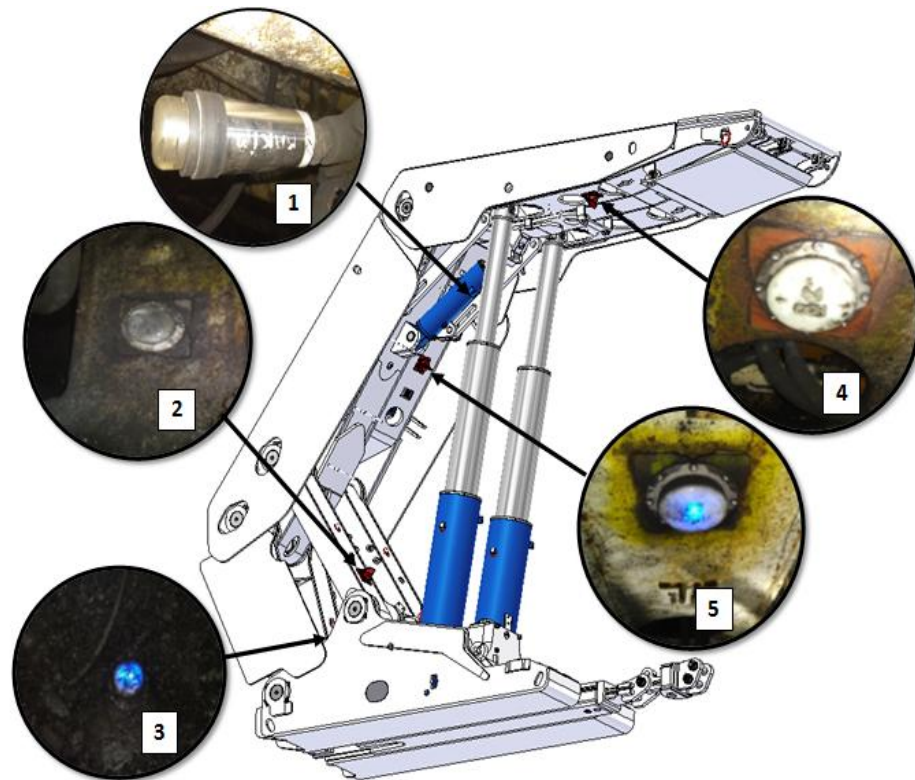
Przedstawiony przebieg określa wysokość obudowy na stanowisku badawczym w czasie testów systemu. Zmienny cykl pracy obudowy odzwierciedla realne warunki współpracy obudowy z kompleksem ścianowym. Zmiana wysokości zależna jest od cyklu pracy obudowy podczas urabiania węgla. Obudowa sterowana była w zakresie od 4200 mm do 750 mm. Tak zainstalowany układ pomiarowy z wykorzystaniem uchwytów montażowych został przystosowany do 5 sekcji obudowy, które zabudowano w ścianie wydobywczej. Układ pomiarowy komunikował się w sposób bezprzewodowy wykorzystując do tego czujniki, konwerter, komputer dołowy oraz infrastrukturę sieciową zakładu górniczego. Celem tej części badań było określenie sprawności systemu w warunkach rzeczywistych. Miejsca montażu czujników przedstawiono na rysunku 9.9.



Rys. 9.9. Rozmieszczenie czujników do monitoringu położenia sekcji obudowy zmechanizowanej, gdzie: czujnik osłony odzawałowej (1), czujnik stropnicy (2), czujnik spągnicy (3), czujnik łącznika przedniego – lemniskaty (4)

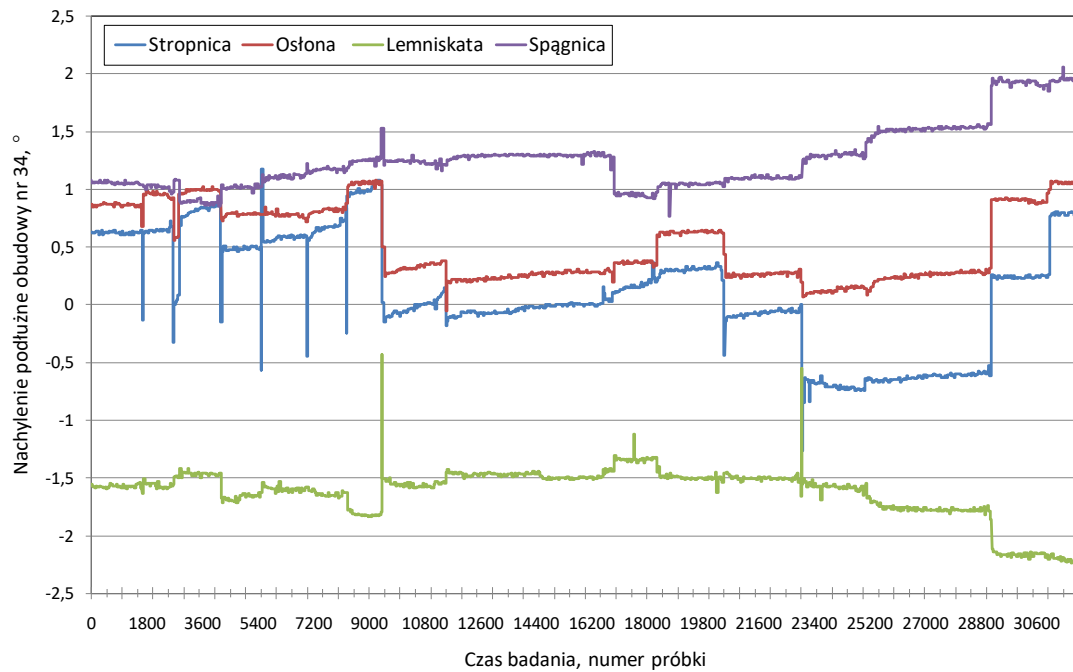
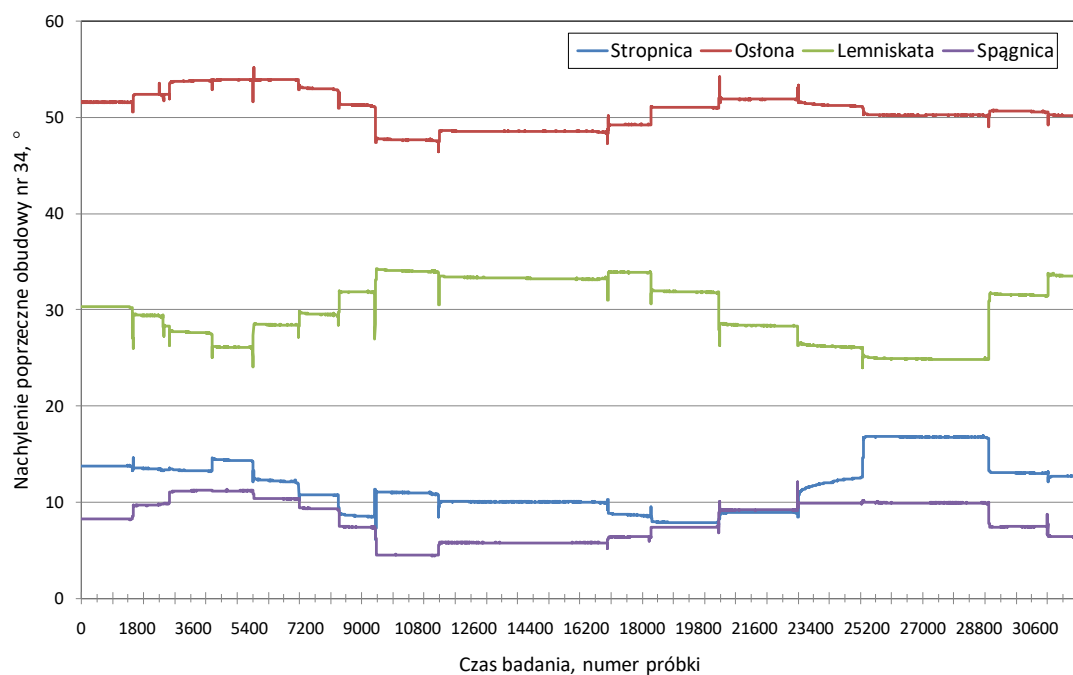
9.2.2. Badania w warunkach rzeczywistych – II etap

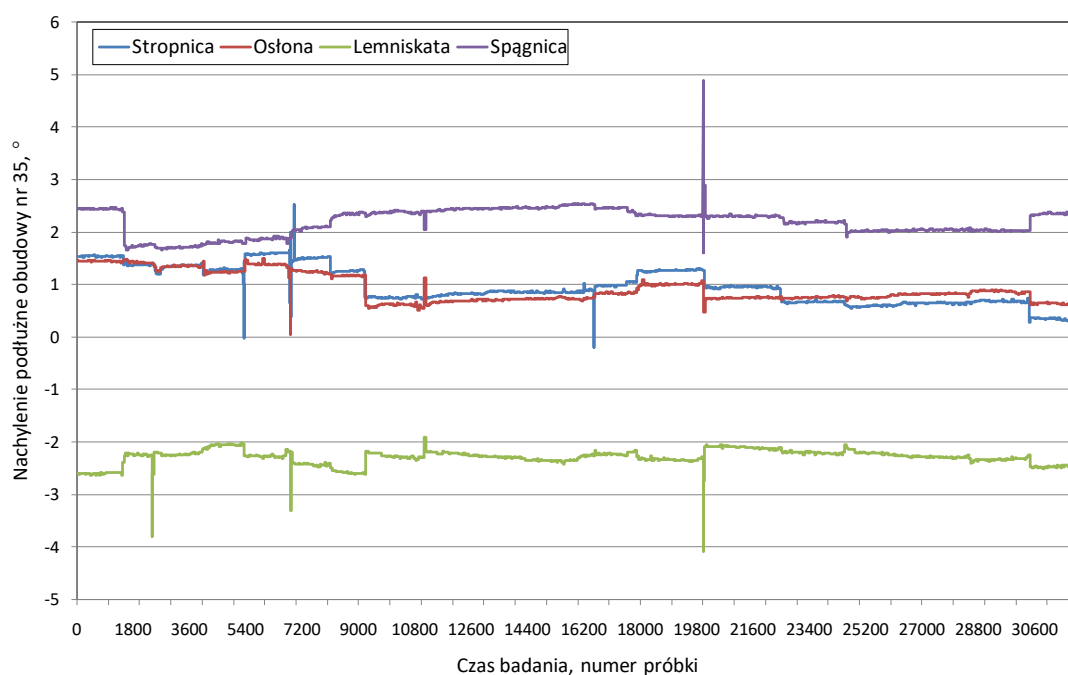
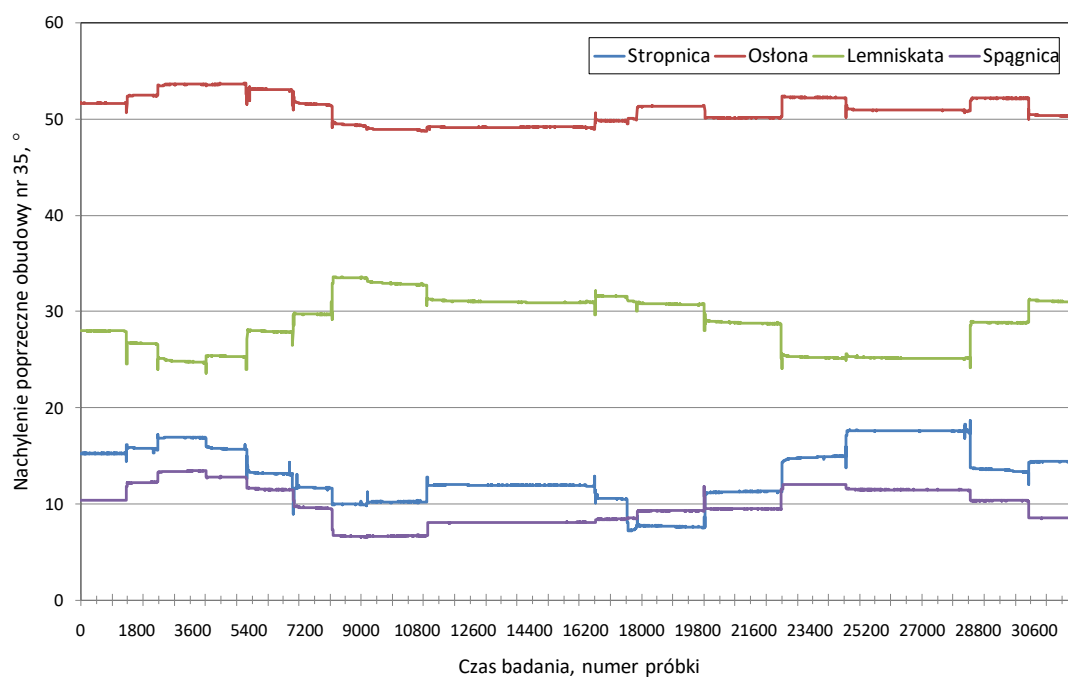
W oparciu o wyniki II etapu badań stanowiskowych systemu monitorowania położenia obudowy zmechanizowanej przeprowadzono powtórne badania w warunkach rzeczywistych. Ten etap zakładał montaż w ścianie wydobywczej układu pomiarowo – rejestrującego. Wyrobisko ścianowe wyposażone było w 96 sekcji obudowy zmechanizowanej. Monitoringiem objęto pięć sekcji. Trzy sekcje wyposażone w układ pomiarowy zlokalizowane były obok siebie tj. sekcje nr 34, 35, 36. Kolejne miejsce montażu stanowiły sekcje nr 60 i 70. Czujniki komunikowały się bezprzewodowo dokonując pomiaru nachylenia podstawowych elementów sekcji obudowy oraz jej wysokości. Zgodnie z wytycznymi określonymi w czasie badań stanowiskowych zainstalowano czujniki na uchwytych montażowych w ścianie wydobywczej, które prezentuje rys. 9.10.

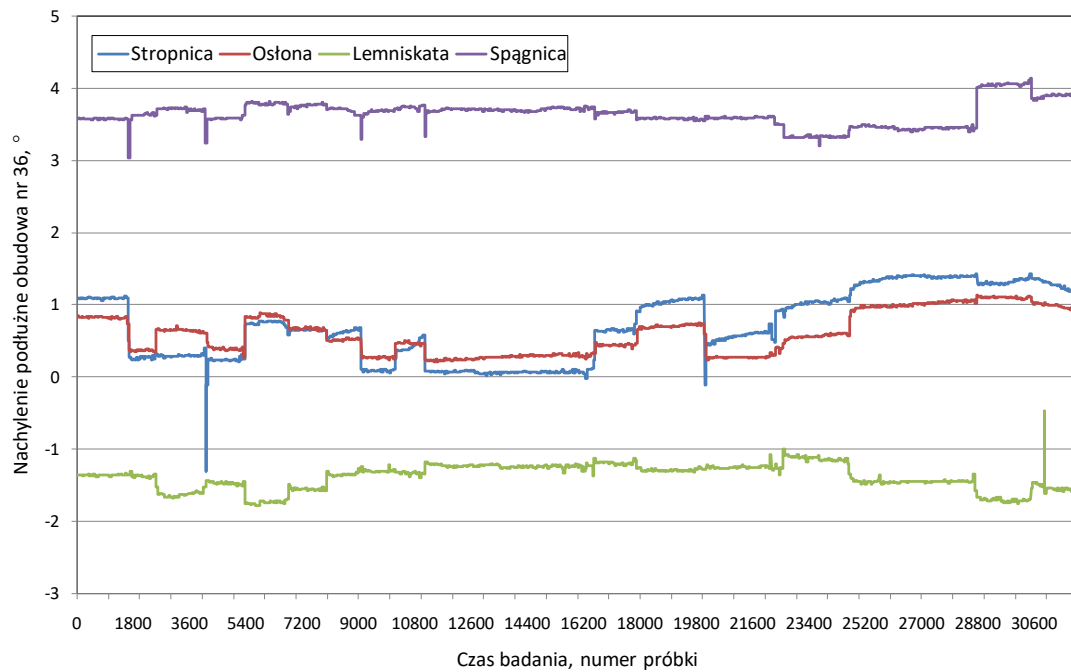


Rys. 9.10. Schemat stanowiska badawczego w warunkach rzeczywistych, gdzie: karta pamięci zainstalowana w czujniku (1), czujnik przedniego łącznika - lemniskaty (2), czujnik spągnicy (3), czujnik osłony odzawałowej (4), czujnik stropnicy (5)

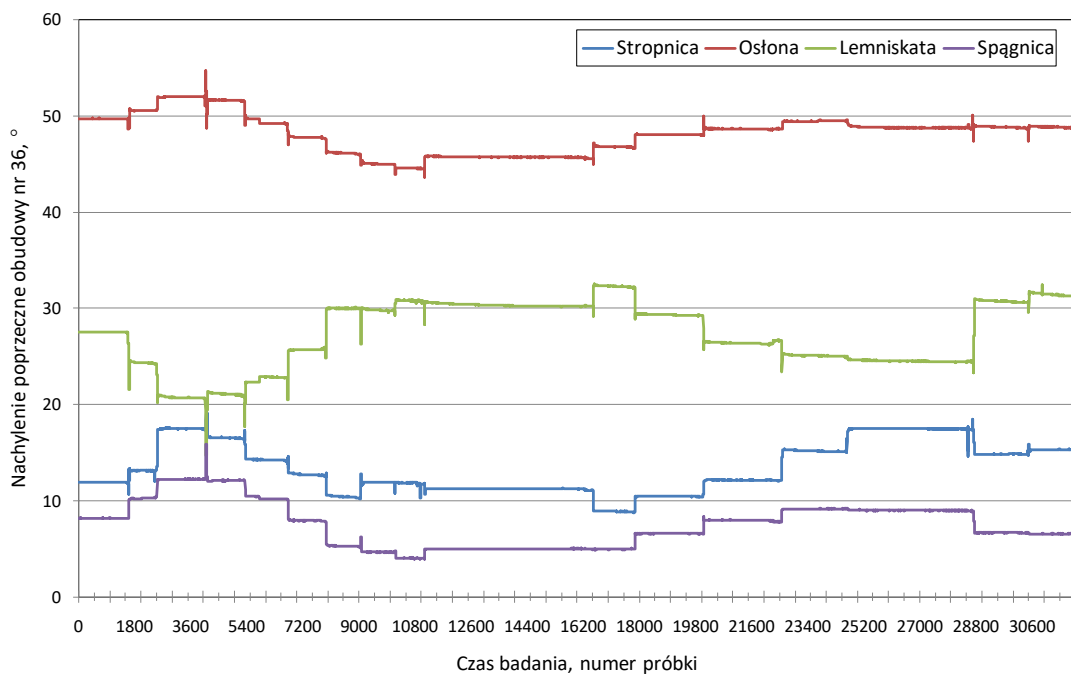
Badania przeprowadzono dla okresu 66 dni. Dane zapisywane zostały na karcie pamięci zainstalowanej w czujniku ciśnienia, który prezentuje rys. 9.10. Wstępne wyniki badań dla okresu trzech dni, przedstawiono na rysunkach rys. 9.11 - 9.16. Przebiegi te obrazują zmiany nachylenia podłużnego i poprzecznego elementów badanych sekcji.

**Rys. 9.11.** Nachylenie podłużne sekcji 34**Rys. 9.12.** Nachylenie poprzeczne sekcji 34

**Rys. 9.13.** Nachylenie podłużne sekcji 35**Rys. 9.14.** Nachylenie poprzeczne sekcji 35

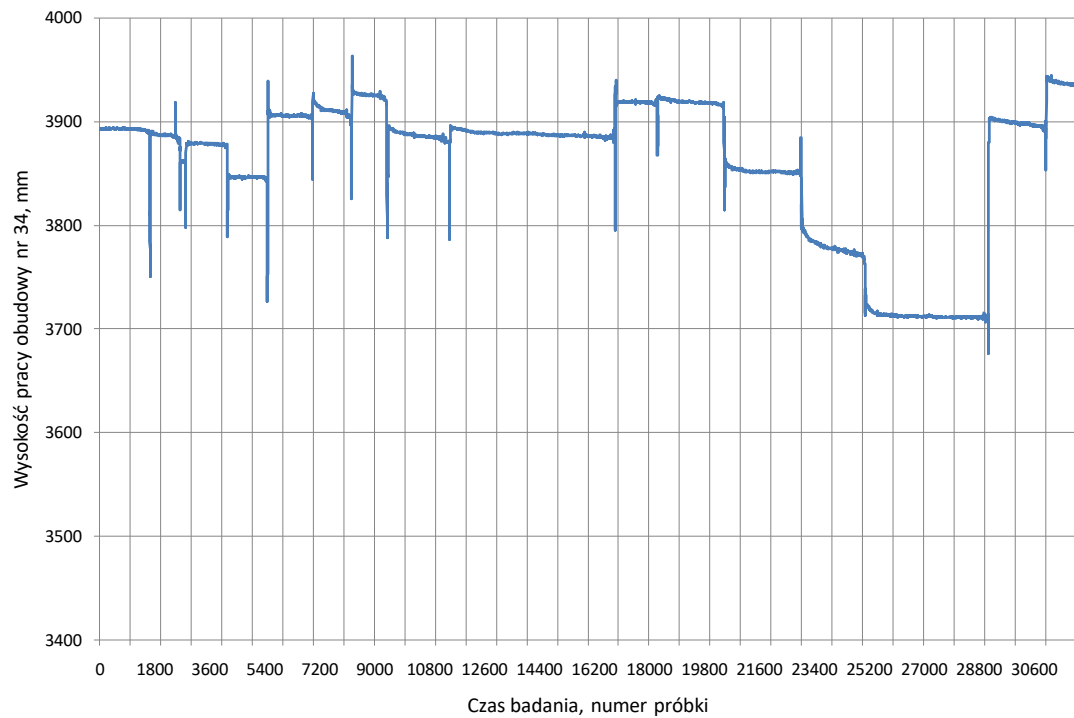


Rys. 9.15. Nachylenie podłużne sekcji 36

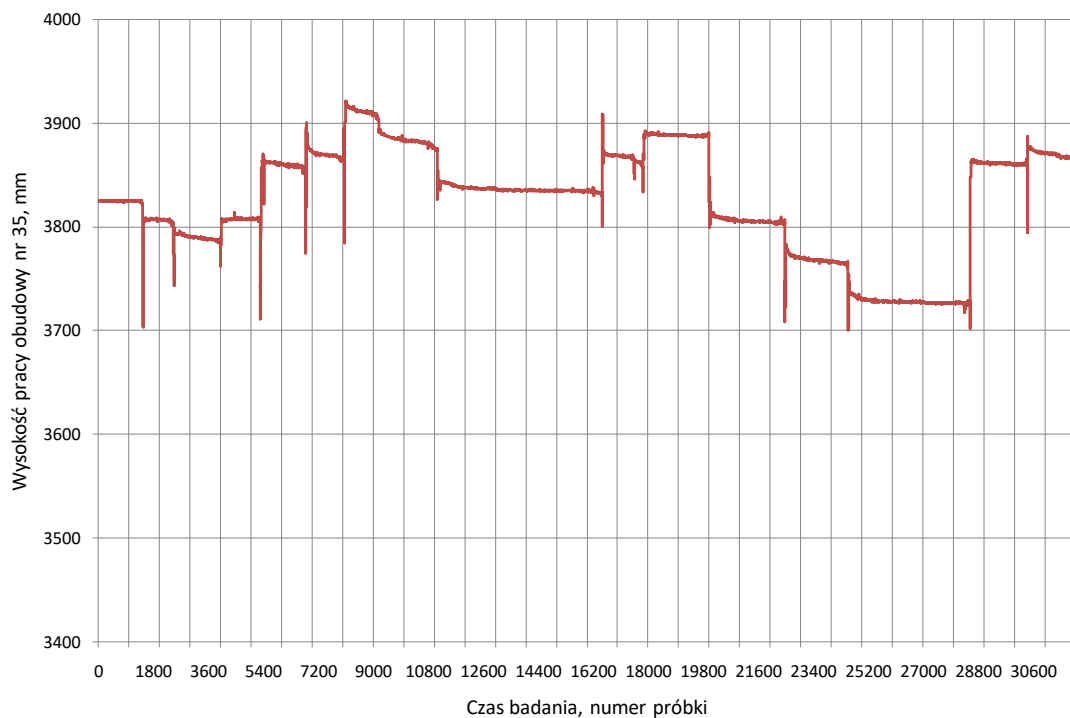


Rys. 9.16. Nachylenie poprzeczne sekcji 36

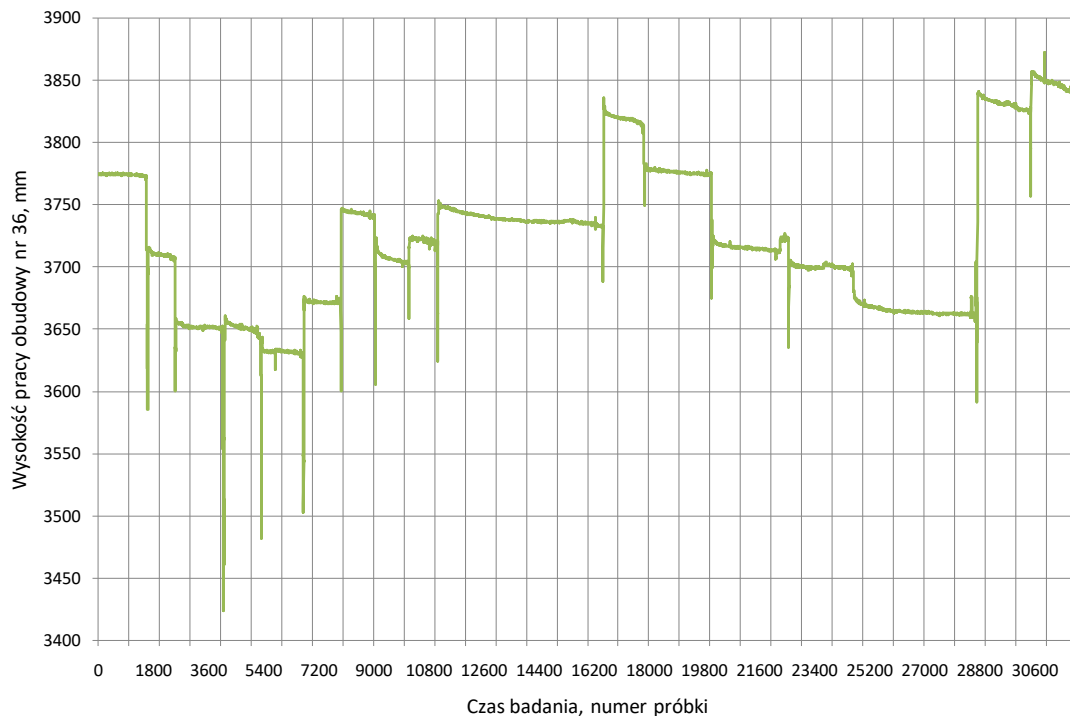
Na podstawie wyznaczonych nachyleń i kątów pracy elementów sekcji obudowy określono jej wysokość roboczą. Na rys. 9.17 – 9.19 przedstawiono zmiany wysokości trzech badanych sekcji w wyrobisku ścianowym w warunkach rzeczywistych.



Rys. 9.17. Czasowe zmiany wysokość sekcji obudowy zmechanizowanej w czasie badań w warunkach rzeczywistych - sekcja 34



Rys. 9.18. Czasowe zmiany wysokość sekcji obudowy zmechanizowanej w czasie badań w warunkach rzeczywistych - sekcja 35

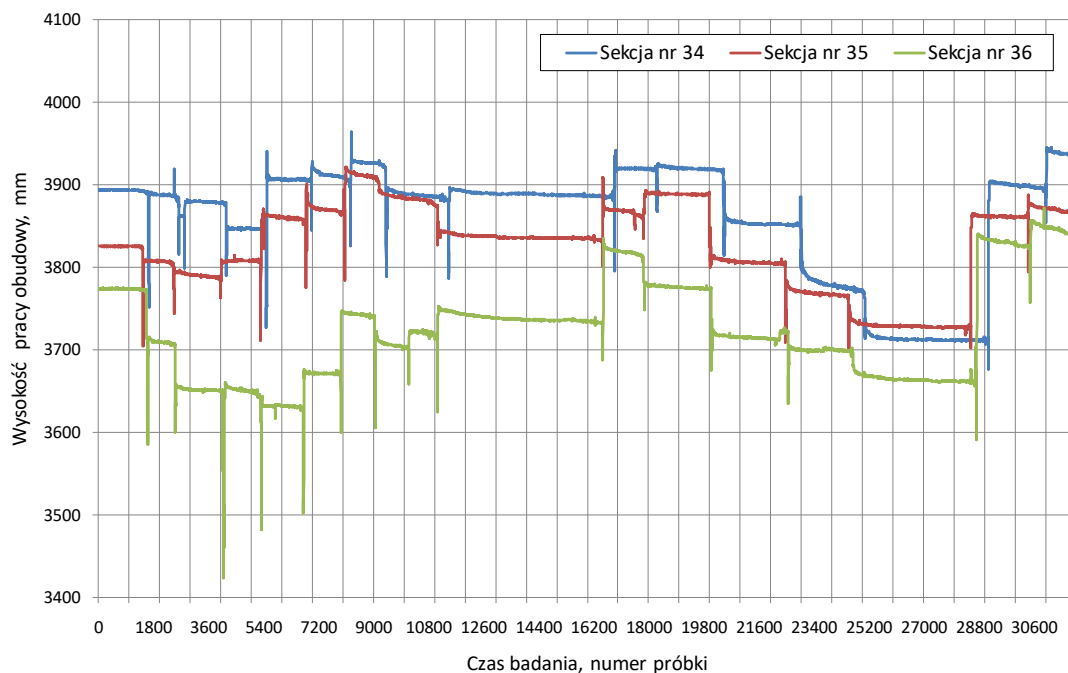


Rys. 9.19. Czasowe zmiany wysokość sekcji obudowy zmechanizowanej w czasie badań w warunkach rzeczywistych - sekcja 36

Wyniki badań w wyrobisku ścianowym stanowią bazę danych do przeprowadzenia analizy zjawisk zachodzących w wyrobisku ścianowym oraz cyklu pracy sekcji obudowy zmechanizowanej. Wstępne określenie warunków geologiczno - górniczych umożliwia dobór obudowy do wyrobiska ścianowego. Warunki te zmieniają się wraz z kolejnym etapem prowadzonej eksploatacji. W trakcie prowadzonej eksploatacji system monitorowania pracy obudową może posłużyć za narzędzie do ciągłego monitorowania zmian zachodzących w wysokości urabiania.

Nachylenie podłużne monitorowanych elementów wynosiło od 2° - 4° . Nachylenie poprzeczne znacznie się różniło. Wynika to z budowy sekcji zmechanizowanej. Nachylenie poprzeczne dla spągnicy wynosiło od 4° do 11° , stropnicy od 9° do 20° , lemniskaty od 20° do 35° , osłony odzawałowej od 47° do 53° . Kąty nachylenia zmierzone przez system pozwoliły określić wysokość roboczą badanych obudów. Wysokość sekcji 34 wynosiła od 3920 mm do 3700 mm za prezentowany okres 3 dni. Dla sekcji nr 35 wysokość wynosiła od 3710 mm do 3910 mm. Sekcja nr 36 pracowała w zakresie od 3620 mm do 3880 mm. W dużej mierze wpływ na różnice wysokości pracy tych sekcji obudowy mają warstwy skał otaczających, które generują naprężenia oddziałujące na elementy obudowy zmechanizowanej. Na rys. 9.20 przedstawiono wyniki badań dołowych pracy sekcji

obudowy zmechanizowanej, gdzie określono wysokość roboczą monitorowanych sekcji w badanym wyrobisku ścianowym.



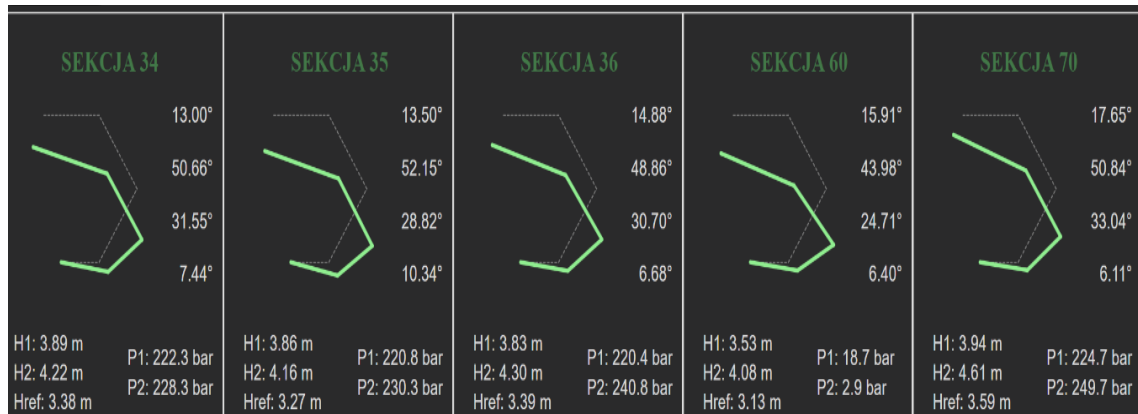
Rys. 9.20. Czasowe zmiany wysokości sekcji obudowy zmechanizowanej w czasie badań w warunkach rzeczywistych - dla trzech sekcji (34,35,36)

Wykresy wysokości również prezentują zmiany spowodowane przemieszczaniem się obudowy w kierunku calizny węglowej. Proces ten odbywa się za pomocą cyklicznych ruchów obudowy, które związane są z jej cyklem pracy - rabowaniem, przemieszczeniem się w kierunku calizny węglowej i powtórным rozparciem. Powtórne rozparcie umożliwia przemieszczenie się przenośnika zgrzebłowego w kierunku calizny węglowej oraz zabezpieczenia stropu wyrobiska.

Prowadzone badania w warunkach rzeczywistych miały na celu podłączenie układu pomiarowego do systemu monitorującego parametry pracy obudowy zmechanizowanej i sprawdzenie jego pracy. Za pośrednictwem komunikacji czujników w ścianie wydobywczej nastąpiło przekazywanie informacji bezpośrednio na powierzchnię. Zlokalizowane w wyrobisku przyścianowym stanowisko do wizualizacji wyposażono w komputer dołowy, na którym była możliwość wizualizacji parametrów geometrycznych i wartości ciśnienia w stojakach dla pięciu sekcji wyposażonych w układ pomiarowy. Czujniki komunikowały się bezprzewodowo przekazując informacje do stanowiska dołowego, gdzie dane były diagnozowane i archiwizowane. Dane ze stanowiska dołowego przekazywane były z wykorzystaniem infrastruktury

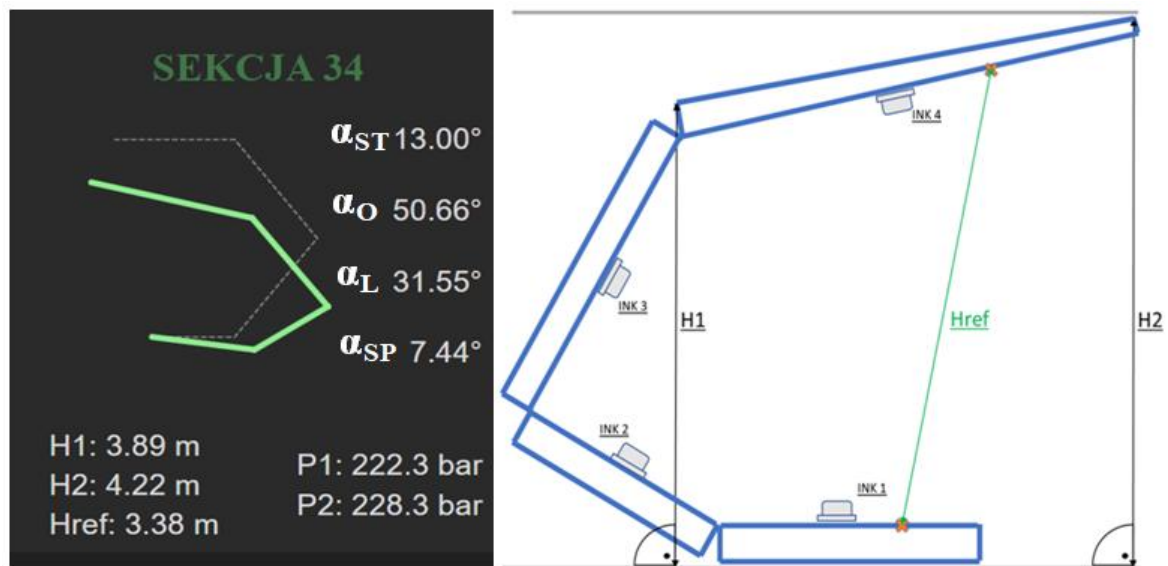
dołowej w postaci światłowodów i przesyłane na powierzchnię zakładu górniczego do dyspozytorni energomaszynowej.

Na rysunku 9.21 przedstawiono interface opracowanego systemu wraz z wynikami uzyskanymi w czasie badań po podłączeniu czujników do systemu monitoringu.



Rys. 9.21. Interface systemu monitoringu

Na rysunku 9.22 przedstawiono opis danych wyświetlanych dla użytkownika z systemu. Dla przykładu, na rysunku zobrazowano interface dla sekcji nr 34 wraz z oznaczeniami wysokości sekcji, które analizowane były na potrzeby prowadzonych badań.



Rys. 9.22. Interface systemu monitoringu dla przykładowej sekcji nr 34, gdzie:

α_{ST} – nachylenie stropnicy, α_O – nachylenie osłony, α_L – nachylenie łącznika przedniego lemniskaty, α_{SP} – nachylenie spągnicy, H1, H2, Href – pomiar wysokości, P1 – wartość ciśnienia dla stojaka 1, P2 – wartość ciśnienia dla stojaka 2

9.3. Podsumowanie

Prowadzone badania opracowanego systemu do pomiaru parametrów pracy sekcji obudowy zmechanizowanej, który stanowi integralną część odpowiedzialną za pomiar parametrów geometrycznych w systemie monitoringu obudowy zmechanizowanej, pozwoliły określić wysokości (rys. 9.20) oraz nachylenia poprzeczne i podłużne elementów obudowy (rys. 9.11 - 9.16). Pozyskane dane stanowią bazę, która w przyszłości pozwoli usprawnić cykl pracy obudowy. Użytkownik wykorzystujący nowy system będzie mógł zaobserwować zmiany nachylenia elementów obudowy zachowując równoległość pracy spągnicy w stosunku do stropnic, co prowadzi np. do efektywniejszego i bezpieczniejszego prowadzenia stropu wyrobiska.

Opracowany system umożliwia szybką identyfikację wszelkiego typu odchył w ustawieniu każdej z sekcji obudowy. Wynikiem tych działań jest zapewnienie optymalnej i bezpiecznej pracy każdej sekcji. Przede wszystkim pozyskanie szybkiej informacji o pojawiających się nieprawidłowościach w ustawieniu sekcji ogranicza dalszy proces pogarszania się jej współpracy z górotworem i pozostałymi maszynami kompleksu.

Przeprowadzone badania określiły metodykę postępowania, sposób funkcjonowania i zabudowy układu pomiarowo – rejestrującego. Informacje te stanowią podstawę do opracowania wytycznych dla układu pomiarowo – rejestrującego. Przebiegi zmian mierzonych parametrów przedstawiają zróżnicowane zmiany zachodzące podczas cyklu pracy obudowy oraz prezentują współpracę elementów obudowy. Pozyskane informacje o geometrii sekcji obudowy powinny umożliwić ocenę jej pracy i dać możliwość określenia zależności między jej stanem, a zjawiskami zachodzącymi w górotworze. Praktyczne wykorzystanie systemu, pod warunkiem zagęszczenia czujników w wyrobisku ścianowym może prowadzić do znacznych zmian w sposobie prowadzenia eksploatacji, ograniczenia postojów oraz zwiększenia bezpieczeństwa pracy załogi. Stosowanie systemów monitorujących pracę obudowy, jako narzędzia stanowiącego kompletny układ wizualizacji pracy obudowy prowadzi do stworzenia precyzyjnego systemu odpowiedzialnego za sterowanie zautomatyzowanym kompleksem ścianowym. Analizowany układ powinien zatem istotnie wpłynąć na poprawę bezpieczeństwa pracy zmechanizowanej obudowy ścianowej.

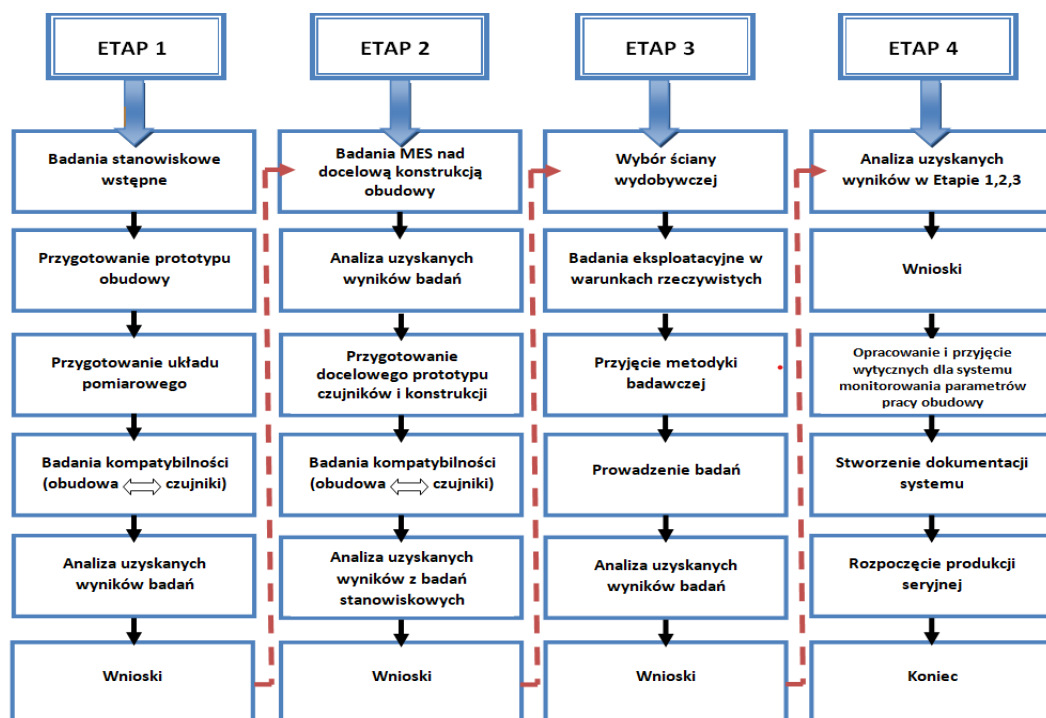
Prezentowane wyniki badań (w rozdziale 9) stanowią przykład praktycznego wykorzystania danych pozyskanych z opracowanego systemu monitoringu, które pozwoliły opracować metodę prowadzonych badań celem określenia wytycznych dla systemu monitorującego parametry pracy obudowy ścianowej. W kolejnym rozdziale przedstawiono opracowaną metodę prowadzenia takich badań.

10. Metoda badania obudowy zmechanizowanej wraz z wytycznymi systemu dla monitorowania parametrów jej pracy

W rozdziale przedstawiono szczegółową metodę badań sekcji obudowy zmechanizowanej do opracowania wytycznych dla systemu monitorującego parametry jej pracy oraz etapy prowadzonych badań do ich wyznaczenia. Dodatkowo sformułowano także wytyczne dla opracowania i wdrożenia systemu zdalnego monitorowania i diagnozowania parametrów pracy sekcji obudowy zmechanizowanej, w oparciu o dane pozyskane z systemu monitorującego parametry jej pracy.

10.1. Metoda badania obudowy zmechanizowanej

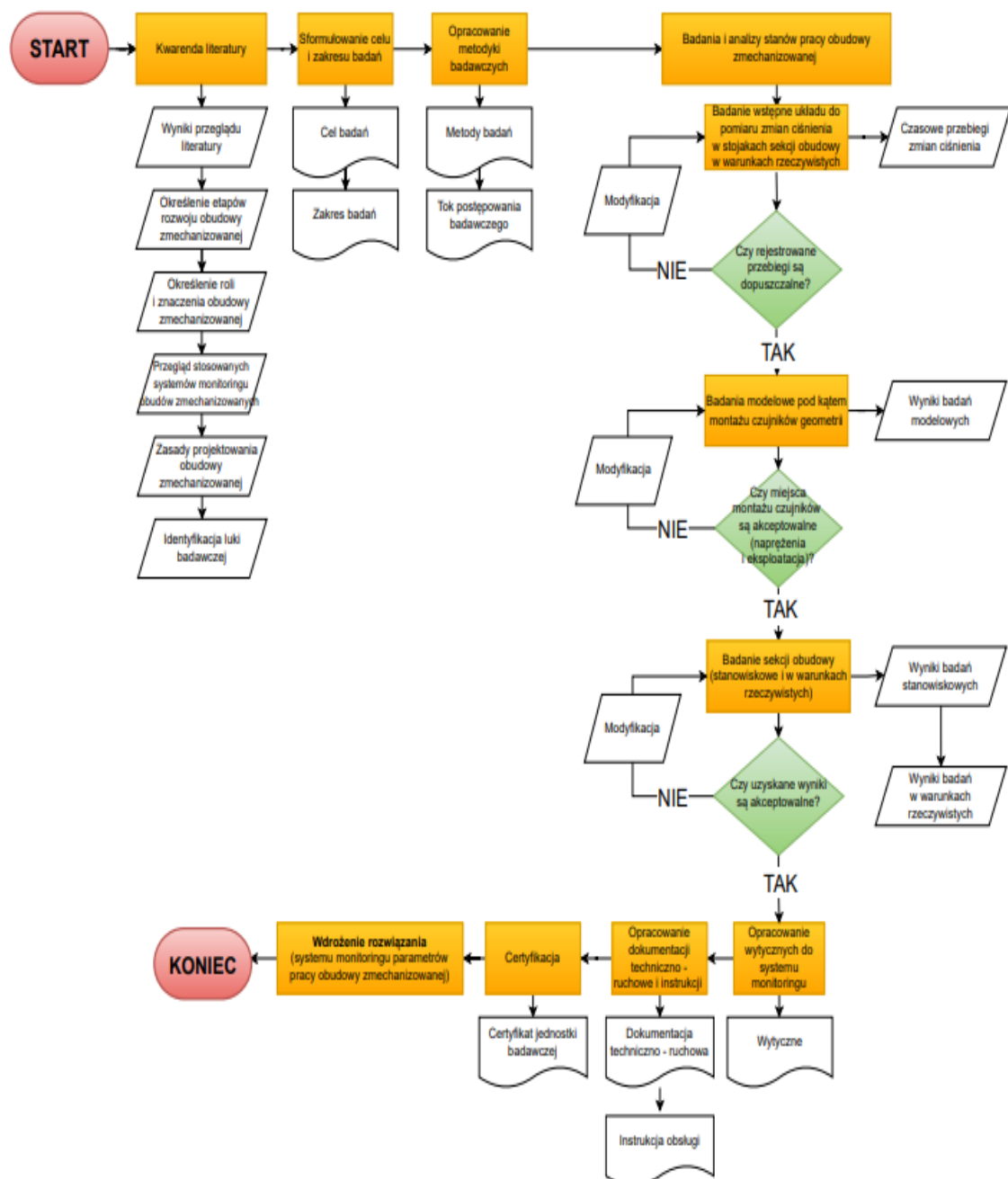
Opracowana w rozdziale czwartym i wdrożona metodyka badawcza może być potraktowana (całościowo) jako metoda badania obudowy zmechanizowanej dla określenia wytycznych do systemu monitoringu oraz innych parametrów jej pracy. Realizując cele badawcze i naukowe pracy dokonano przeglądu literatury oraz określono zastosowane metody badawcze. Realizując cel użytkowy, opracowano wytyczne, metodę badań oraz przystosowano układ pomiarowy do wdrożenia. Dla jego zastosowania - opracowana metoda opierała się o etapy praktyczne, które prezentuje rys. 10.1.



Rys. 10.1. Etapy badań niezbędnych do określenie wytycznych dla systemu monitorującego parametry pracy obudowy

Etap I badań obejmował przeprowadzenie badań stanowiskowych. Przeprowadzone badania stanowiskowe zainstalowanego układu pomiarowego na sekcji obudowy pozwoliły rozpocząć wstępne analizy dotyczące ich kompatybilności. Analiza polegała na wykluczeniu kolizji czujników z poszczególnymi elementami obudowy oraz wskazała na miejsca ich montażu. W etapie II skupiono się na badaniach modelowych z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych (MES). Wyniki tych prac pozwoliły wykluczyć miejsca na obudowie, które są najbardziej narażone na odkształcenia i uszkodzenia podczas prowadzonej eksploatacji. Po tej analizie podjęto działania związane z przygotowaniem docelowego układu pomiarowego. Po zaprojektowaniu i wykonaniu układu rozpoczęto jego montaż na obudowie z uwzględnieniem poprzednio wykonanych analiz. Do tego celu przygotowano specjalistyczne uchwyty montażowe, które zainstalowano na elementach konstrukcji, tworząc bazę do montażu czujników. Badania w ścianie stanowiły III etap prac nad układem pomiarowo - rejestrującym. Uzyskane wyniki pomiarowe z warunków rzeczywistych pozwoliły określić sprawność pracy systemu, a dane oraz zdobyte doświadczenie na doprecyzowanie metody badań prowadzonych nad wdrożeniem rozwiązania. W etapie IV ostatecznie określono wytyczne oraz stworzono dokumentację techniczną dla opracowanego systemu.

Na rysunku 10.2 przedstawiono szczegółową metodę badań sekcji obudowy zmechanizowanej, która posłużyła do opracowania wytyczny dla systemu monitoringu parametrów jej pracy.



Rys. 10.2. Szczegółowa metoda badań sekcji obudowy zmechanizowanej do opracowania wytycznych dla systemu monitoringu parametrów jej pracy

Opracowana metoda (rys.10.2) powstała na podstawie określenia toku postępowania badawczego, który stanowi zbiór zastosowanych metod badawczych, za pomocą których osiągnięto założone cele pracy. Jej zastosowanie pozwoliło na identyfikację sygnałów diagnostycznych istotnych z punktu widzenia tego monitoringu, a to z kolei umożliwiło przeprowadzenie prac, aby te sygnały wykorzystać do

monitorowania pracy sekcji, a co za tym idzie całej obudowy ścianowej (kwestia ujednolicenia czasu – integracja rejestracji sygnałów dla wszystkich sekcji).

Opracowana metoda badań umożliwia praktycznie ciągłą rejestrację ciśnień i położenia elementów sekcji celem wykorzystania tych parametrów w układzie jej sterowania. Układ taki stanowi zatem praktyczny efekt wdrożenia opracowanych wytycznych.

Wyniki realizacji pracy obejmowały opracowanie wytycznych niezbędnych do budowy i wdrożenia systemu monitorowania parametrów pracy obudowy zmechanizowanej. Stanowi to podstawę do działań ograniczających (czy wręcz eliminujących) udział pracowników w jej obsłudze w bardzo niebezpiecznej strefie przodkowej. Opracowane wytyczne obejmowały aspekty konstrukcyjne sekcji obudowy, oddziaływanie środowiska na jej pracę oraz parametry techniczne tej pracy i całego kompleksu ścianowego, a także techniczno-informatyczne systemu do monitorowania tych parametrów, które mają kluczowe znaczenie dla opracowania i wdrożenia systemu zdalnego sterowania obudową. System posiada ogromny potencjał w zakresie wdrożeniowym, który wynika z konieczności ograniczenia pracy ludzi w niebezpiecznych strefach, co wiąże się także z realizacją koncepcji budowy inteligentnej kopalni. Wyniki zrealizowanej pracy wpisują się w tą koncepcję i stwarzają szanse poprawy efektywności procesu produkcji górniczej, a co za tym idzie całej działalności górniczej.

Praktyczne znaczenie wyników projektu i jego potencjał wdrożeniowy jest duży i możliwy do szybkiej realizacji.

10.2. Określenie wytycznych dla wdrożenia systemu monitorującego i diagnozującego parametry pracy obudowy ścianowej

Opracowane wytyczne dla układu pomiarowo – rejestrującego parametry pracy obudowy zmechanizowanej stanowią niezbędny element do opracowania i wdrożenia systemu monitoringu w warunkach rzeczywistych. Wytyczne te zostały określone w oparciu o badania modelowe, stanowiskowe oraz w warunkach rzeczywistych.

Tak kompleksowe podejście do badań sekcji obudowy, wraz z uzyskanymi wynikami pozwoliło określić następujące wytyczne dla wdrożenia systemu monitorującego i diagnozującego parametry pracy obudowy ścianowej:

1. Czujniki stanowiące układ pomiarowo - rejestrujący powinny być zabudowane na stropnicy, spągnicy, łączniku przednim lemniskaty i osłonie odzawałowej.
2. Do montażu czujników powinny być wykorzystane specjalistyczne uchwyty montażowe.
3. Miejsca montażu czujników należy wyznaczyć z uwzględnieniem miejsc najbardziej narażonych na oddziaływanie sił zewnętrznych w warunkach rzeczywistych.
4. Czujniki zlokalizowane powinny być w taki sposób, aby dostęp w czasie prac serwisowych związanych z awarią lub wymianą baterii zasilającej był łatwy i wygodny.
5. Montaż czujników powinien uwzględnić wpływ elementów konstrukcji na jakość komunikacji układu pomiarowego.
6. Czujniki należy zabudować w widocznym miejscu, aby załoga znacznie lepiej dostrzegała sygnały świetlne sygnalizujące stan pracy obudowy.
7. Czujniki należy zabudować minimum na co 10 sekcji obudowy zmechanizowanej, aby zapobiec zakłóceniom w ich komunikacji.
8. Każdy czujnik pomiarowy przed rozpoczęciem pracy należy skalibrować urządzeniem ręcznym wyznaczonym przez producenta.
9. Należy dokonać testów systemu przed rozpoczęciem prac celem sprawdzenia poziomu baterii, komunikacji oraz wypoziomowaniu sekcji obudowy.

Opracowane wytyczne oraz nabyte doświadczenie i wiedza pozyskana w trakcie realizacji pracy niewątpliwie przyczynią się do rozwoju innowacyjnych systemów monitoringu pracy obudowy zmechanizowanej. Opracowane wytyczne dla systemu monitoringu zostały udokumentowane w:

- Dokumentacji Techniczno Ruchowej nr M-092.01.IO, nr M-092.02.IO, nr F19-001/2015 INSTRUKCJA OBSŁUGI ZMECHANIZOWANA OBUDOWA ŚCIANOWA Aneks nr 2/2022/ZRP.
- Instrukcja Obsługi i Stosowania (IO) DAISY-01-DTR Bezprzewodowy sygnalizator optyczny typu DAISY-01.
- Instrukcja Obsługi i Stosowania (IO) DROPSy - DTR System bezprzewodowego monitoringu ciśnienia DROPSy.

Wdrożenie układu pomiarowego zostało zdefiniowane na podstawie Opinia Instytutu Badawczego KOMAG Zakład Badań Atestacyjnych Jednostka Certyfikująca – Opinia nr 152/AO/2022.

11. Podsumowanie i wnioski końcowe oraz kierunki przyszłych badań

Obudowa zmechanizowana ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia ciągłości, bezpieczeństwa i efektywności procesu produkcji górniczej. Zasadne zatem jest prowadzenie badań w zakresie jej doskonalenia. W pracy doktorskiej przeprowadzono szereg badań modelowych, stanowiskowych i w warunkach rzeczywistych.

W trakcie prowadzonych badań modelowych został określony stan naprężeń i odkształcenia jej elementów na podstawie, których wykonano symulacje stanów obciążeń jej elementów. Ciało, na które oddziałują siły zewnętrzne może ulec odkształceniu. W przypadku odkształcenia plastycznego występuje odkształcenie trwałe, które powoduje zmianę jej kształtu. Z tych powodów wykluczono te miejsca z montażu czujników, gdzie występuje największa kumulacja naprężeń. Uwzględniając analizy komputerowe, określono wstępne miejsca montażu czujników tworzących układ pomiarowo – rejestrujący. Szereg analiz popartych badaniami modelowymi, stanowiskowymi i w warunkach rzeczywistych pozwoliły określić wytyczne dla systemu monitorującego parametry geometryczne oraz metodę badań sekcji obudowy zmechanizowanej.

Opracowana metoda badań obudów pod kątem rozwoju obecnego systemu monitorującego parametry prac, stanowi nowe podejście do tej tematyki. Przyjęty sposób rozwiązania problemu badawczego, wykorzystujący metody badań stanowiskowych, modelowych oraz w warunkach rzeczywistych, a także analizy parametrów pracy sekcji obudowy i kompleksu ścianowego jako dużych zbiorów danych, stanowi kompleksowe podejście do podjętego problemu.

Opracowane wytyczne obejmują wprowadzenie dodatkowych elementów w konstrukcji sekcji obudowy w postaci innowacyjnych uchwytów montażowych. W czasie opracowania wytycznych uwzględniono oddziaływanie środowiska na pracę systemu i obudowy ścianowej oraz parametry techniczne jej pracy i całego kompleksu ścianowego. Dane techniczno-informatyczne systemu do monitorowania tych parametrów mały kluczowe znaczenie dla opracowania i wdrożenia rozwiązania w procesie eksploatacji obudów zmechanizowanych. Miejszem wdrożenia była ściana wydobywcza w jednej w Kopalni wchodzącej w skład PGG S.A, w której zabudowany system pomiarowy został poddanych testom. Zabudowany układ pomiarowo – rejestrujący, na potrzeby prowadzonych testów w warunkach rzeczywistych, stanowił kompletny system monitorujący parametry geometryczne oraz wartości ciśnienia

w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej w ścianie wydobywczej. Na podstawie prowadzonych badań modelowych, stanowiskowych i eksploatacyjnych określono warunki prawidłowej pracy i sposobu zabudowy systemu monitoringu obudowy ścianowej. Wyniki tych badań stanowiły podstawę do wyznaczenia wytycznych do jego zastosowania w procesie eksploatacji obudów zmechanizowanych.

Na podstawie przeprowadzonych prac oraz uzyskanych wyników można sformułować następujące wnioski:

- I.** Sekcja obudowy zmechanizowanej jest maszyną, której skuteczna i niezawodna praca ma ogromne znaczenie dla efektywności całego procesu produkcji górniczej. Ocena stanu pracy sekcji obudowy zmechanizowanej uwzględniająca warunki geologiczno – górnicze, wpływ sił zewnętrznych oddziałujących na konstrukcje, parametry geometryczne i wartości ciśnienia stanowi istotę opracowanego systemu. Rozwój systemu monitoringu sekcji poprzez zebrane dane pozwala rozszerzyć ocenę stanu jej pracy. Szeroki zakres danych umożliwia rozwój efektywniejszego zastosowania zadanego sterowania obudową ścianową.
- II.** Poddany analizie model przestrzenny obudowy zmechanizowanej wymagał zastosowania dodatkowych elementów konstrukcyjnych oraz wprowadzenia zmian konstrukcyjnych celem wdrożenia opracowanego systemu. Wprowadzone zmiany były poprzedzone badaniami modelowymi. Ich efektem było wyznaczenie miejsc najbardziej narażone na ewentualne uszkodzenia powstałe przy przekroczeniu dopuszczalnych wartości naprężeń.
- III.** Za pomocą systemu monitoringu ciśnienia cieczy w stojakach dokonano analizy danych z pomiarów w warunkach rzeczywistych. Określono wpływ zjawiska wstrząsu na pracę stojaków hydraulicznych, które mogą spowodować ich uszkodzenia i zaburzenia w pracy obudowy. Uzyskane wyniki zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaków badanych sekcji umożliwiły zobrazowanie oddziaływania górotworu w czasie zaistniałych wstrząsów wysokoenergetycznych.
- IV.** Analizowana praca systemu monitorowania parametrów sekcji obudowy względem zaistniałych 63 wstrząsów wysokoenergetycznych wykazała zmiany wartości ciśnienia w 75% przypadkach. Pozostały brak rejestracji w 25%

spowodowany był, wg obserwacji, zmiennym cyklem pracy obudowy, specyfikacją sytemu, lokalizacją wstrząsu i kierunkiem rozprzestrzeniania się fal sejsmicznych. Z analizy wynika, że wykorzystywany system monitoringu pracy obudowy daje możliwości szerszej prognozy i wyznaczenia dodatkowego kierunku zastosowania środków profilaktycznych prowadzonych ścian w warunkach zagrożenia tąpnięciami. Zastosowany system daje większe możliwości zapewnienia bezpieczeństwa prowadzonej eksploatacji oraz zwiększenia efektywności np. ze względu na wcześniejsze wykrywanie awarii w pracy obudowy ścianowej.

- V. Obserwując zmiany zachodzące w górotworze w odniesieniu do parametrów pracy obudowy ścianowej, rejestrowane za pomocą systemu monitoringu, można z wyprzedzeniem podjąć decyzję o rozpoczęciu prac profilaktycznych celem zmniejszenia powstawania ryzyka obwałów lub tąpnięć.
- VI. System monitoringu pracy obudowy zmechanizowanej jest narzędziem do diagnozowania i analizy pracy sekcji obudowy. Badania umożliwiły wyznaczenie wysokości oraz nachylenia poprzecznego i podłużnego obudowy na stanowisku badawczym w oparciu o uzyskane parametry geometryczne i kąty pracy podstawowych elementów obudowy. Na podstawie tych badań udostępniono układ pomiarowo – rejestrujący do badań w warunkach rzeczywistych.
- VII. Wyniki badań modelowych, stanowiskowych i warunkach rzeczywistych wykazała brak kolizji elementów obudowy ścianowej z czujnikami systemu. Układ pomiarowy został zabudowany na stropnicy, spągnicy, osłonie odzawałowej i łączniku przednim lemniskaty.
- VIII. Analizowany układ pomiarowy parametrów geometrycznych sekcji obudowy zmechanizowanej stanowi kierunek rozwoju dotychczasowej kontroli nad jej pracą. System pozwala na szerszą analizę w zakresie diagnozowania jej stanu pracy. Stosowanie tego typu systemów wpisuje się w podstawowe cele branży wydobywczej, które zakładają poprawę bezpieczeństwa i rozwoju parku maszyn i urządzeń. System jest jednym z elementów wysoce zaawansowanych

rozwiązań, który daje możliwości pełnej automatyzacji kompleksów ścianowych.

- IX.** Stosowanie systemu monitorowania parametrów pracy obudowy wymaga od użytkownika stałego nadzorowania zmian zachodzących w prowadzeniu obudowy w wyrobisku ścianowym. Za pomocą obserwacji pomiarów wykonanych przez system monitoringu (wysokości, ciśnienia, nachylenia poprzecznego i podłużnego), możemy stale kontrolować wpływ czynników zewnętrznych i wewnętrznych na jej pracę.
- X.** Optymalne sterowanie obudową wpływa na prawidłowe prowadzeniu stropu. Zachowanie odpowiedniego podparcia warstwy stropowej przez obudowę, generuje zmniejszenie ilości obwałów na ścianie, w konsekwencji prowadząc do zwiększenia efektywności. Prawidłowy nadzór i kontrola nad cyklem pracy obudowy zapewnia utrzymanie gabarytów prowadzonej ściany. Dodatkowo użytkownik za pomocą obserwacji zmian nachylenia elementów obudowy może zachować równoległość pracy spągnicy w stosunku do stropnic, co prowadzi do efektywnego i bezpiecznego prowadzenia stropu wyrobiska.
- XI.** Przygotowany układ pomiarowy umożliwia szybką identyfikację wszelkiego typu odchył w ustawieniu każdej z sekcji obudowy. Przede wszystkim pozyskanie szybkiej informacji o pojawiających się nieprawidłowościach w ustawieniu sekcji, ograniczy dalszy proces pogarszania się jej współpracy z górotworem i pozostałymi maszynami kompleksu.
- XII.** Przeprowadzone badania pozwoliły określić metodykę postępowania, sposób funkcjonowania i zabudowy układu pomiarowo – rejestrującego. Informacje te stanowią wytyczne dla opracowanego układu pomiarowo – rejestrującego.
- XIII.** Praktyczne wykorzystanie systemu pod warunkiem zabudowy kompletu czujników (spągnica, łącznik przedni – lemniskaty, osłona odzawałowa, stropnica) na każdej sekcji obudowy ścianowej daje możliwości pozyskania znacznie szczegółowych danych na temat pracy każdej monitorowanej sekcji. Posiadając informacje na temat parametrów jej pracy w efekcie możemy ograniczyć ilości postojów, awarii oraz zwiększyć bezpieczeństwo pracy. Stosowanie systemów monitorujących prace obudowy jako narzędzia

stanowiącego kompletny układ wizualizacji pracy obudowy prowadzi do stworzenia systemu odpowiedzialnego za sterowanie zautomatyzowanym kompleksem ścianowym.

Dynamiczny rozwój i konkurencyjność gospodarki światowej oraz badań naukowych wymuszają także potrzebę ciągłego doskonalenia procesu produkcji górniczej. Dotyczy to zarówno rozwiązań technicznych jak i organizacyjno - zarządczych. Przeprowadzone w szerokim zakresie prace związane z realizacją rozprawy, które objęły także proces wdrożenia opracowanych rozwiązań wskazują na konieczność prowadzenia dalszych badań w celu doskonalenia już istniejących rozwiązań oraz opracowania nowych. W tym zakresie zasadnym staje się:

- dalsze doskonalenie metod projektowania elementów sekcji obudowy zmechanizowanej dla poprawy jej ergonomiczności pod kątem wprowadzenia zdalnego sterowania jej pracą,
- prowadzenie badań w warunkach rzeczywistych celem ograniczenia ilości czujników pozwalających określić parametry geometryczne pracy obudowy ścianowej,
- doskonalenie systemu pod kątem jego współpracy z pozostałymi maszynami kompleksu ścianowego,
- wprowadzenia rozwiązań, z wykorzystaniem sztucznej inteligencji, do uczenia się systemu celem, np. wypracowania jego reakcji i ostrzegania użytkownika o zachodzących zmianach w górotworze,
- doskonalenie opracowanego systemu pod kątem określenia wartości rejestrowanych parametrów, które mogą niekorzystanie oddziaływać na prace obudowy ścianowej oraz całego kompleksu ścianowego pod kątem bezpieczeństwa,
- doskonalenie sposobu zasilania czujników, tak aby nie zachodziła konieczność wymiany baterii w warunkach powierzchniowych.

Literatura

1. Andrzejewski S. (1968): *Mechanical Engineer's Guidebook*. WNT.
2. Analog Devices (2010): *Using an accelerometer for inclination sensing*. AN-1057 Application Note, 1-8.
3. Babyr N., Babyr K. (2021): *To improve the contact adaptability of mechanical roof support*. E3S Web Conference, 266, 03015.
4. Bazan Ł., Diederichs R., Garda W., Lubryka J., Ptak K., Zych K. (2015): *Doświadczenia eksploatacyjne z wdrożenia systemu monitorowania ciśnienia EH-PressCater w kopalni soli*. Napęd i Sterowanie, 3: 124–129.
5. Biały W., Czerwińska- Lubszczyk A., Czerwiński S. (2019): *System monitorowania geometrii sekcji obudowy zmechanizowanej. Systemy wspomagania w inżynierii produkcji*. Górnictwo – perspektywy i zagrożenia.
6. Biały W. (2024): *Assessment of the technical state of mining machinery and devices with the use of diagnostic methods*. Production Engineering Archives 30 (2), 266-272.
7. Biały W., Habek P. (2018): *Quality engineering tools in analysis of failure of longwall of mining complex*. Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering, 33-39.
8. Biliński A. (2005): *Metoda doboru obudowy ścianowych wyrobisk wybierkowych i chodnikowych do warunków pola eksploatacyjnego*. Wydawnictwo CMG KOMAG, Gliwice.
9. Bodnar A. (2004): *Strength of materials. Section 10 - Stress hypotheses*. KWM IMB PK, pp. 230.
10. Bołoz Ł., Biały W. (2020): *Automation and robotization of underground mining in Poland*. Applied Sciences 10 (20), 7221.
11. Brodny J. (2018): *The fourth industrial revolution as an opportunity to enhance the effectiveness of the mining sector*. International Multidisciplinary Scientific Geo Conference: SGEM, 1.3, pp.949-956.
12. Brodny J. (2018): *Analysis of the impact of unscheduled downtimes on their availability in machine operations*. Multidisciplinary Aspects of Productions Engineering, 1,1 pp. 145-151.
13. Brodny J. (2018): *Application of Industrial Automatics Systems for Monitoring of Operational States of Machines*. Multidisciplinary Aspects of Productions Engineering, 1,1 pp. 315-321.
14. Brodny J., Brzana E. (2021): *Availability Study of a Longwall Shearer Including Phases of its Operation*. Multidisciplinary Aspects of Production Engineering, pp.200-211.
15. Brodny J., Tutak M. (2019): *Analysing the Utilisation Effectiveness of Mining Machines Using Independent Data Acquisition System: A Case Study*. Energies, 12, 3.

16. Brzoska Z.(1972): *Strength of Materials*. PWN, pp. 33-49.
17. Burtan Z., Stasica J., Rak Z. (2017): *Wpływ katastrofogennych zagrożeń naturalnych na bezpieczeństwo pracy w górnictwie węgla kamiennego w latach 2000-2016*. nr 101, p.7-18.
18. Buyalich G., Byakov M., Buyalich K., Shtenin E. (2019): *Development of Powered Support Hydraulic Legs with Improved Performance*. E3S Web Conference, 105, 3025.
19. 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.
20. Doległo L.(2012): *Analityczna metoda wyznaczania przeciążeń zmechanizowanej obudowy ścianowej powstałych w wyniku wstrząsów górotworu*. Rozprawa doktorska (niepublikowana), Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
21. Domagała Z. (2009): *Modelowanie i symulacja zjawisk zachodzących w zmechanizowanej obudowie ścianowej*. Maszyny Górnicze, 27, 4, s. 25-30.
22. Dubiński J., Konopko W.(2000): *Tąpania – ocena – prognoza – zwalczanie*. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice.
23. Epikhin A., Zhironkin V., Szurgacz D., Trzop K.(2021): *Method for determining the loads on the deflection module of the push-the-bit rotary steerable system*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
24. Frith RC. (2015): *A holistic examination of the load rating design of longwall shields after more than half a century of mechanised longwall mining*. Int.J. of Min. Sci. and Tech. 2015, 26(2), 199-208.
25. Frolik A., Kubica J. (2015): *Ocena zagrożenia wodnego i jego ryzyka w kopalniach węgla kamiennego*, p. 61-75.
26. 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.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. Gwiazda J.B. (1997): *Górnicza obudowa hydrauliczna odporna na tąpania*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice.

31. 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.
32. 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.
33. 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.
34. Irresberger H., Grawe F., Migenda P. (2003): *Zmechanizowane obudowy ścianowe (podręcznik dla praktyków)*. Wydawnictwo Tiefenbach Polska Sp. z o.o., Piekary Śląskie 2003.
35. Jasiulek D., Bartoszek S., Lubryka J. (2019): *Efektywność wykorzystania i bezpieczeństwo techniczne górniczej obudowy zmechanizowanej – PRASS III*. „System Zasilania, Sterowania, Monitoringu i Diagnostyki”, 1: 73–79.
36. Jasiulek D., Bartoszek S., Perutka K., Korshunov A., Jagoda J., Płonka M. (2019): *Shield Support Monitoring System – operations during the support setting*. „Acta Montanistica Slovaca”, 24, 4: 391–401.
37. Jaszczuk M. (2004): *Problematyka bezpiecznego użytkowania sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
38. Jaszczuk M. (2007): *Ścianowe systemy zmechanizowane*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice.
39. Ji, Y.; Ren, T.; Wynne, P.; Wan, Z.; Zhaoyang, M.; Wang, Z. (2016): *A comparative study of dust control practices in Chinese and Australian longwall coal mines*. Int.J. of Min. Sci. and Tech., 25(5), 687-706.
40. Juárez-Ferreras, R.; González-Nicieza, C.; Menéndez-Díaz, A.; Álvarez-Vigil, A.E.; Álvarez-Fernández M.I. (2008): *Measurement and analysis of the roof pressure on hydraulic props in longwall*. International Journal of Coal Geology, Volume 75, Issue 1, pp. 49-62.
41. Kasprusz A.(2007): *Optymalizacja konstrukcji hydrauliki sterującej stojaka dla warunków zagrożenia wstrząsami górotworu*. Praca doktorska (niepublikowana), Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
42. Kasprusz A., Mikuła S., Wojtas M.(2013): *Sterowanie elektrohydrauliczne DOH-matic do automatyzacji pracy obudowy zmechanizowanej*. „Wiadomości Górnicze”, 5, 64: 275–282.

43. 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.
44. Korsi J. (2019): *Longwall complex efficient time and reasons of its decreasing*. InżynieriaMateriałowa – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, pp. 35-43.
45. 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.
46. Kotwica K., Stopka G., Prostański D. (2021): *Study and Application of Asymmetrical Disk Tools for Hard Rock Mining*. Energies, 14, 1826.
47. Krauze K., Rączka W., Stopka G. (2019): *Project and test results of new solution for powered roof support for low seams*. Mining, Informatics, Automation and Electrical Engineering, 1, 537: 29–34.
48. Krauze K, Mucha K., Wydro T., Klempka R.(2022): *Assessment of the structure of cutting heads with regard to the mining machine load using proprietary software*. Energies, 15(19), 6886.
49. Krauze K., Kotwica K. (2007): *Selection and underground tests of the rotary tangential cutting picks used in cutting heads of the longwall and roadway miners*. Archives of Mining Sciences, vol. 52, no 2, s. 195 - 217.
50. Leyko J. (2021): *General mechanics*; PWN, pp. 53-59.
51. Liduchowski L. (2020): *Monitoring stanu obudowy zmechanizowanej przy zastosowaniu sterowania elektrohydraulicznego firmy Tiefenbach*. , Prace Naukowe GIG, seria „Konferencje”, 40: 123–128.
52. Liu B., Sang H., Wang Z., Kang Y. (2020): *Experimental Study on the Mechanical Properties of Rock Fracture after Grouting Reinforcement*. Energies 13, 4814.
53. Łuczak S., Oleksiuk W., Bodnicki M. (2006): *Sensing Tilt with MEMS Accelerometers*. IEEE Sensors Journal 6(6), 1669-1675.
54. Łuczak S. (2008): *Pomiar odchylenia od pionu z użyciem akcelerometrów MEMS*. Pomiar Automatyka Robotyka, 14-16.
55. Małkowski P. (2017): *Zarządzanie monitoringiem zagrożeń w górnictwie*. Journal of the Polish Mineral Engineering Society, Inżyniera Mineralna.
56. 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.
57. Markowicz J., Rajwa S., Szweda S.(2017): *Modeling of Powered Roof Support Cooperation with the Floor of Low Bearing Capacity in the aspect of Shaping the Section Design*. Archives of Mining Sciences, No 1, pp. 177-188.

58. Matuszewski K. (2009): *Zapobieganie katastrofom górniczym w kopalniach węgla kamiennego*. Wyższy Urząd Górniczy, p. 20-23.
59. Ministerstwo Energii (2019): *Program dla sektora górnictwa węgla kamiennego w Polsce (obejmujący okres do 2030 i prezentujący warunki rozwoju górnictwa węgla kamiennego w Polsce wraz z celami i działaniami niezbędnymi dla ich osiągnięcia)*.
60. Misiak J. (1999): *Technical mechanics*. WNT, pp. 22-41.
61. Mo, S.; Tutuk, K.; Saydam, S. (2019): *Management of floor heave at Bulga Underground Operations – A case study*. Int.J. of Min. Sci. and Tech., 29(1), 73-78.
62. *Ocena stanu bezpieczeństwa pracy ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego w związku z działalnością górnictwo-geologiczną w 2020 roku*. Wyższy Urząd Górniczy, Katowice 2021.
63. Oset K., Juzwa J. (2015): *Bezpieczeństwo pracy urządzeń hydraulicznej obudowy zmechanizowanej i osób w rejonie ściany wydobywczej na przykładzie innowacyjnego systemu X-MAN, „Napęd i Sterowanie”*, 12: 110–114.
64. Palka D., Trzop K. (2021): *Gas hazard monitoring systems in hard coal mines In Poland*. Published at the 38th IBIMA Conference on 23-24 November 2021 Seville, Spain. Conference proceedings (ISBN: 978-0-9998551-7-1) and (ISSN: 2767-9640), Published in the USA.
65. Pałka D., Paczesny B., Gurdziel M., Wieloch W. (2020): *Industry 4.0 in development of new technologies for underground mining*, „E3S Web of Conferences”, 174, 01002.
66. Peng S. (2006): *Longwall Mining. Second Edition*. Morgantown, West Virginia, University Press.
67. 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.
68. Płonka M. (2004): *Metoda doboru zmechanizowanych obudów ścianowych z wykorzystaniem trójwymiarowego modelu górotworu odprężonego*. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, nr 859, Katowice.
69. PN-EN 1804-1:2021-05 – *Maszyny dla górnictwa podziemnego. Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej. Część 1: Sekcje obudowy i wymagania ogólne*.
70. PN-EN 1804-2:2021-05 – *Maszyny dla górnictwa podziemnego. Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej. Część 2: Stojaki i pozostałe siłowniki*.
71. PN-EN 1804-3:2021-06 – *Maszyny dla górnictwa podziemnego. Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej. Część 3: Hydrauliczne i elektrohydrauliczne układy sterowania*.

72. Pola-Micewicz M. (2013): *Badanie zmechanizowanych obudów górniczych ze względu na trwałość zmęczeniową*. Rozprawa doktorska (niepublikowana), Politechnika Opolska, Opole.
73. Projekt techniczny eksploatacji pokładu 402 w partii „K” na poziomie 830 m ścianą 7a wraz z technologią wykonywania robót, 2019 [praca niepublikowana].
74. Prostański D. (2017): *Empirical Models of Zones Protecting Against Coal Dust Explosion*. Archives of Mining Sciences, 62(3), s. 611-619.
75. Prostański D. (2013): *Use of air-and-water spraying systems for improving dust control in mines*. Journal of Sustainable Mining 12 (2), 29-34.
76. Prostański D. (2015): *Experimental study of coal dust deposition in mine workings with the use of empirical models*. Journal of Sustainable Mining.
77. Prusek S. (2014): *Czynniki wpływające na powstawanie obwałów skał w ścianach prowadzonych z zawalem skał stropowych*. Przegląd Górniczy, nr 3, s. 71–78.
78. Rajwa S. (2015): *Wpływ nośności spągu na warunki utrzymania stropu*. Przegląd Górniczy, nr 10, s. 44–50.
79. Rajwa S. (2017): *Główne przyczyny utraty stateczności wyrobiska ścianowego*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 3, s. 3–12.
80. 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.
81. 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.
82. Rajwa S., Lubosik Z., Płonka M. (2019): *Bezpieczeństwo eksploatacji ścian zawałowych w świetle danych z systemów monitoringu*. Maszyny Górnicze, 4, s. 24–34.
83. Rajwa S., Masny W., Wrana A. (2017): *Kompleksowa metoda doboru obudowy zmechanizowanej w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu*. Wiadomości Górnicze, nr 1, s. 2–7.
84. 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.
85. 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.
86. Raport Roczny (2019) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. Praca zbiorowa pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Józefa Kabiesza, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2020.

87. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 stycznia 2013 r. w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych. Dz.U. 2013 poz. 230.
88. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U. 2017, poz. 1118).
89. Smużyński J. (1993): *Obudowy zmechanizowane*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice.
90. Sprawozdanie GIG nr 583 17039-152: Określenie warunków poprawności oraz współpracy różnych typów obudów zmechanizowanych w polu ściany 7a w pokładzie 402 w partii „K” dla KWK Ruda Ruch Halemba, Katowice 2019 [praca niepublikowana].
91. Stempniak M., Zhironkin K., Trzop K., Szurgacz D. (2021): *Preliminary research to determine the thermal condition of the belt conveyor's drive unit in an underground hard coal mine*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
92. Stoiński K. (1985): *Metody wyznaczania obciążeń dynamicznych stojaków hydraulicznych oraz obudów ścianowych*. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górniczego, Katowice.
93. Stoiński K. (2000): *Obudowy górnicze w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu*. Główny Instytut Górniczy, Katowice.
94. Stoiński K. (2006): *Praktyczne aspekty upodatkowania obudowy zmechanizowanej*. Napędy i Sterowanie, nr 7/8, s. 101–107.
95. Stoiński K. (2018): *Zmechanizowane obudowy ścianowe do warunków zagrożenia wstrząsami górotworu*. Główny Instytut Górniczy, Katowice.
96. Stoiński K., Mika M. (2003): *Dynamics of Hydraulic Leg of Powered Longwall Support*. Journal of Mining Science, 39, 72–77.
97. 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.
98. Szurgacz D., Brodny J. (2019): *Analysis of the Influence of Dynamic Load on the Work Parameters of a Powered Roof Support's Hydraulic Leg*, Sustainability 11(9).
99. Szurgacz D. (2017): *Bezpieczeństwo eksploatacyjne zmechanizowanej obudowy ścianowej w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu*. Wiadomości Górnicze, nr 1, s. 13–21.
100. Szurgacz D. (2016): *Sposób dostosowania obudowy ścianowej do warunków obciążeń dynamicznych*, „Przegląd Górniczy”, 7: 57–62.
101. Szurgacz D., Więcek P. (2019): *Realizacja upodatkowania zmechanizowanej obudowy ścianowej*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górniczym, nr 6 (298), s. 10–15.
102. Szurgacz D., Brodny J. (2018): *Role and importance of pressure monitoring for electro-hydraulic control system designed for powered roof supports*. Conference proceedings, Science and technologies in geology, Exploration and Mining, 18, 1.3: 793–800.

103. Szurgacz D.(2017): *Budowa uniwersalnego stanowiska do badań elementów hydrauliki sterowniczej maszyn górniczych*. Napędy i Sterowanie, nr 7/8, s. 110–116.
104. 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.
105. Szurgacz D. (2011): *Zjawiska dynamiczne w obudowie zmechanizowanej spowodowane wstrząsami górotworu*. Wiadomości Górnicze, nr 10, s. 561–567.
106. Szurgacz D. (2013): *Zmodyfikowana metoda doboru zmechanizowanej obudowy ścianowej do pracy w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu*. Rozprawa doktorska (niepublikowana), Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
107. 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.
108. 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.
109. Szurgacz D. (2019): *Zmechanizowana obudowa ścianowa w zmiennych warunkach górniczo-geologicznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2019.
110. Szurgacz D., Brodny J. (2020): *Adapting the Powered Roof Support to Diverse Mining and Geological Conditions*. Energies, 13,405.
111. Szurgacz D., Brodny J. (2019): *Tests of Geometry of the Powered Roof Support Section*, Energies 12,3945.
112. Szurgacz D., Bazan Ł., Trzop K., Diederichs R. (2021): *A wireless pressure parameters visualization system of a powered roof support on the example of Polish mines*. Mining – Informatics Automation and Electrical Engineering.
113. Szurgacz D., Zhironkin S., Trzop K., Vóth S., Sobik L., Cehlar M. (2021): *Geometrical Tests of Powered Roof Support Positioning In a Longwall Complex*. Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 2(46), p. 177-182.
114. Szurgacz D., Trzop K., Gil J., Zhironkin S., Pokorný J., Gondek H. (2022): *Numerical Study for Determining the Strength Limits of a Powered Longwall Support*.
115. Szurgacz D., Trzop K., Spearing J.S. Anthony, Pokorný J., Zhironkin S.: *Determining the pressure increase in the hydraulic cylinders of powered roof support based on actual measurements*. Acta Montanistica Slovaca, Volume 27, 4; DOI: 10.46544/AMS.v27i4.04. 2022.
116. Szurgacz D., Chyrowski P., Trzop K. (2023): *Granice wytrzymałości konstrukcji zmechanizowanej obudowy ścianowej na przykładzie badań numerycznych*. Czasopismo:

- Bezpieczeństwo Pracy i Ochrony Środowiska W Górnictwie, nr 09/2023.
https://www.wug.gov.pl/wydawnictwa/miesiecznik_wug
117. Szweda S. (2004): *Identyfikacja parametrów charakteryzujących obciążenia sekcji obudowy zmechanizowanej spowodowane dynamicznym oddziaływaniem górotworu*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1648, Gliwice.
118. 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.
119. Trzop K., Palka D, Szurgacz D, Sobik L.(2021): *Preventive measures to minimize natural hazards in the Polish underground mining industry*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
120. Trzop K., Szurgacz D., Zhironkin S., Kasprusz A. (2021): *Analysis of mining and geological conditions in active longwall regarding pressure monitoring of powered roof supports*. IOP Publishing The Conference Of Innovative Mining Technologies IMTECH.
121. Trzop K. (2021): *The analysis of the currently used systems related to the monitoring of the mining production process*. E3S Web Conf. Volume 278, 2021The Second Interregional Conference “Sustainable Development of Eurasian Mining Regions (SDEMR-2021)”. Development of Geotechnology.
122. Trzop K., Rozmus A., Szurgacz D., Maślanka J., Bazan Ł., Wojnar N., Rosół M. (2023): *Monitorowanie położenia zmechanizowanej obudowy w warunkach ścian wydobywczej*. Napędy i Sterowanie, nr 7-8 2023 <https://nis.com.pl/magazine,282>
123. Trzop K., Szurgacz D. (2024): *Optimal geometry of the powered roof support's operation*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 1295, s.1-7, DOI:10.1088/1755-1315/1295/1/012005
124. Trzop K. (2024): *Application of MEMS technology in the system monitoring parameters of powered roof support's operation*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science , 2024, vol. 1295, s.1-9, DOI:10.1088/1755-1315/1295/1/012004
125. Trzop K., Szurgacz D., Gil J. (2024): *Development of a method for testing a powered roof support in order to determine its operating parameters*. Civil and Environmental Engineering Reports, 2024, vol. 34, nr 4, s.539-562. DOI:10.59440/ceer/196749
126. Trzop Konrad, Szurgacz D. (2024): *Tests result of the prototype monitoring system for the operating parameters of the powered roof support in real conditions*. Civil and Environmental Engineering Reports, 2024, vol. 34, nr 3, s.165-181, DOI:10.59440/ceer/191567
127. Trzop K. (2023): *Application of a measuring and recording system with MEMS technology for a powered roof support*. MINING - Informatics, Automation and Electrical Engineering, nr 2, s.31-44. DOI:10.7494/miag.2023.2.554.31

128. Trzop K., Kuric I., Brodny J. [i in.] (2024): *Application of modern machine diagnostic systems to improve safety in the underground mining process*. Management Systems in Production Engineering, vol. 32, nr 4, s.474-483. DOI:10.2478/mspe-2024-0044
129. Tutak M., Brodny J. (2018): *Analysis of the Impact of Auxiliary Ventilation Equipment on the Distribution and Concentration of Methane in the Tailgate*, Energies 11(11).
130. Tutak M., Brodny J., Szurgacz D., Sobik L., Zhironkin S. (2020): *The Impact of the Ventilation System on the Methane Release Hazard and Spontaneous Combustion of Coal in the Area of Exploitation—A Case Study*. Energies 13,4891.
131. Turek M. (2010): *Podstawy podziemnej eksploatacji pokładów węgla kamiennego*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
132. Wang J., Wang Z. (2019): *Systematic principles of surrounding rock control in longwall mining within thick coal seams*. Int.J. of Min. Sci. and Tech., 29(1), 591-598.
133. Wang J. Wang Z. (2019): *Systematic principles of surrounding rock control in longwall mining within thick coal seams*. Int.J. of Min. Sci. and Tech., 29(1), 591-598.
134. Wojaczek An., Wojaczek Ad. (2016): *Systemy radiowe w kopalniach (Systemy wspomagania w inżynierii produkcji*. Górnictwo- perspektywy i zagrożenia.
135. Wyższy Urząd Górniczy (2020): *Ocena stanu bezpieczeństwa pracy, ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego w związku z działalnością górnictwo-geologiczną w 2019 roku (porównanie od roku 2015)*, p. 8-36.
136. Wyższy Urząd Górniczy (2019): *Ocena stanu bezpieczeństwa pracy, ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego w związku z działalnością górnictwo-geologiczną w 2018 roku (porównanie od roku 2014)*, p. 9-31.
137. 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.

Spis rysunków

Rys. 2.1. Klasyfikacja obudów zmechanizowanych.....	22
Rys. 2.2. Schemat zmechanizowanego kompleksu ścianowego.....	23
Rys.2.3. Widok wyrobiska ścianowego z sekcjami obudowy ścianowej.....	24
Rys. 2.4. Stany pracy sekcji obudowy zmechanizowanej.....	25
Rys. 2.5. Podstawowe elementy sekcji obudowy zmechanizowanej.....	26
Rys. 2.6. Rozkłady siły oddziałujące na elementy sekcji obudowy zmechanizowanej wyznaczone na podstawie badań modelowych.....	27
Rys. 2.7. Etapy procesu projektowania sekcji obudowy zmechanizowanej.....	30
Rys. 2.8. Zwymiarowanie łańcucha kinematycznego obudowy.....	30
Rys. 2.9. Schemat łańcucha kinematycznego modelu wejściowego z zaznaczoną ścieżką otwarcia stropu w pełnym zakresie pracy.....	31
Rys. 2.10. Przykład wyznaczenia kąta nachylenia stropnicy.....	31
Rys. 2.11. Przykładowy model 3D sekcji obudowy zmechanizowanej.....	32
Rys. 2.12. Przykład dokumentacji konstrukcyjnej sekcji obudowy zmechanizowanej.....	32
Rys. 2.13. Rozkład naprężeń zredukowanych w spągnicy sekcji obudowy zmechanizowanej...	33
Rys. 2.14. Położenie sekcji obudowy zmechanizowanej w poszczególnych fazach pracy.....	35
Rys. 4.1. Ogólny schemat opracowanej metodyki badawczej.....	43
Rys. 4.2. Tok postępowania badawczego.....	45
Rys. 5.1. Etapy realizacji badań modelowych sekcji obudowy zmechanizowanej celem wyznaczenia stanów naprężeń i odkształceń jej elementów.....	47
Rys. 5.2. Wykres rozciągania stali wraz z zaznaczonymi granicom wytrzymałości.....	51
Rys. 5.3. Model 3D sekcji obudowy zmechanizowanej.....	53
Rys. 5.4. Model 3D sekcji obudowy zmechanizowanej z zaprojektowaną kostką do montażu czujników geometrii.....	54
Rys. 5.5. Model 3D sekcji obudowy zmechanizowanej z siatką numeryczną.....	54
Rys. 5.6. Stan odkształcenia elementów sekcji obudowy zmechanizowanej.....	55
Rys. 5.7. Stan deformacji elementów sekcji obudowy zmechanizowanej odniesiony do siatki elementów skończonych.....	55
Rys. 5.8. Rozkład naprężeń zredukowanych w sekcji obudowy zmechanizowanej.....	56
Rys. 5.9. Rozkład naprężeń zredukowanych w sekcji obudowy zmechanizowanej z kostką do montażu czujników geometrii.....	56
Rys. 5.10. Rozkład naprężeń zredukowanych w sekcji obudowy zmechanizowanej w odniesieniu do poszczególnych elementów siatki.....	57
Rys. 5.11. Rozkład naprężeń zredukowanych w sekcji obudowy zmechanizowanej z kostką w odniesieniu do poszczególnych elementów siatki.....	57

Rys. 5.12. Rozkład naprężeń zredukowanych w stropnicy sekcji obudowy zmechanizowanej z kostką montażową w odniesieniu do poszczególnych elementów siatki (widok z boku)	57
Rys. 5.13. Rozkład naprężeń zredukowanych w stropnicy sekcji obudowy zmechanizowanej z kostką montażową w odniesieniu do poszczególnych elementów siatki (widok z dołu).....	58
Rys. 5.14. Rozkład naprężeń zredukowanych w spągnicy sekcji obudowy zmechanizowanej z kostką montażową w odniesieniu do poszczególnych elementów siatki (widok z góry).....	58
Rys. 5.15. Rozkład naprężeń zredukowanych w spągnicy sekcji obudowy zmechanizowanej z kostką montażową w odniesieniu do poszczególnych elementów siatki (widok z dołu).....	58
Rys. 6.1. Lokalizacja zaistniałych wstrząsów w rejonie badanej ściany eksploatacyjnej.....	63
Rys. 6.2. Mapa rozkładu ciśnienia w stojakach hydraulicznych sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej z rejonu badanej ściany wraz z zaznaczonymi strefami badań.....	64
Rys. 6.3. Widok stanowiska pomiarowego w ścianie wydobywczej.....	65
Rys. 6.4. Czasowe zmiany ciśnienia w stojakach wybranych sekcji (1,65,80,162) obudowy zmechanizowanej w trakcie ich eksploatacji podczas pierwszego miesiąca eksploatacji.....	65
Rys. 6.5. Czasowe zmiany ciśnienia w stojakach badanej sekcji nr 3 obudowy zmechanizowanej w pierwszym miesiącu jej eksploatacji.....	66
Rys. 6.6. Czasowe zmiany ciśnienia w stojakach badanej sekcji nr 3 obudowy zmechanizowanej w kolejnym miesiącu (październiku) eksploatacji ściany.....	66
Rys. 6.7. Czasowe zmiany ciśnienia w stojakach badanej sekcji nr 3 obudowy zmechanizowanej w ostatnim miesiącu (listopadzie) eksploatacji ściany	68
Rys. 6.8. Zestawienie ciśnień (P_{max}) w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii $10^4 J$ w pierwszej strefie badawczej.....	69
Rys. 6.9. Zestawienie ciśnień (P_{max}) w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii $10^5 J$ w pierwszej strefie badawczej.....	70
Rys. 6.10. Zestawienie ciśnień (P_{max}) w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii $10^6 J$ w pierwszej strefie badawczej.....	70

Rys. 6.11. Zestawienie ciśnień ($P_{\max}$) w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii 10^4J w drugiej strefie badawczej.....	71
Rys. 6.12. Zestawienie ciśnień ($P_{\max}$) w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii 10^5J w drugiej strefie badawczej.....	72
Rys. 6.13. Zestawienie ciśnień ($P_{\max}$) w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii 10^6J w drugiej strefie badawczej.....	72
Rys. 6.14. Zestawienie ciśnień ($P_{\max}$) w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii 10^4J w trzeciej strefie badawczej.....	73
Rys. 6.15. Zestawienie ciśnień ($P_{\max}$) w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii 10^5J w trzeciej strefie badawczej.....	73
Rys. 6.16. Zestawienie ciśnień ($P_{\max}$) w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego obudowy zmechanizowanej podczas zarejestrowanego wstrząsu o energii 10^6J w trzeciej strefie badawczej.....	74
Rys. 6.17. Zestawienie średnich ciśnień (P_{sr}) w przestrzeni podtłokowej stojaka w trakcie wstrząsów o energii 10^4J dla wszystkich trzech stref badawczych.....	75
Rys. 6.18. Zestawienie średnich ciśnień (P_{sr}) w przestrzeni podtłokowej stojaka w trakcie wstrząsów o energii 10^5J dla wszystkich trzech stref badawczych.....	76
Rys. 6.19. Zestawienie średnich ciśnień (P_{sr}) w przestrzeni podtłokowej stojaka w trakcie wstrząsów o energii 10^6J dla wszystkich trzech stref badawczych.....	76
Rys. 6.20. Zestawienie średnich ciśnień (P_{sr}) w przestrzeni podtłokowej stojaka w trakcie wstrząsów dla wszystkich trzech stref badawczych.....	77
Rys. 7.1. Budowa czujnika pomiaru geometrii sekcji.....	82
Rys. 7.2. Schemat komunikacji czujników do pomiarów geometrii sekcji.....	83
Rys. 7.3. Podział wysokości sekcji obudowy zmechanizowanej.....	84
Rys. 7.4. Obcięcie kąta początkowego α	86
Rys. 7.5. Rozmieszczenie czujników monitoringu.....	86
Rys. 7.6. Lokalizacja czujników monitoringu.....	87
Rys. 7.7. Rozmieszczenie czujników na stanowisku badawczym.....	88
Rys. 7.8. Przykład zamocowania prototypu czujników do pomiaru geometrii sekcji.....	89
Rys. 7.9. Widok stanowiska badawczego.....	90
Rys. 7.10. Czasowy przebieg kątów nachylenia osłony sekcji obudowy.....	91
Rys. 7.11. Czasowy przebieg kątów nachylenia stropnicy sekcji obudowy	91

Rys. 7.12. Czasowy przebieg kątów nachylenia łączników przednich sekcji obudowy	92
Rys. 7.13. Czasowy przebieg kątów nachylenia spągnicy sekcji obudowy	92
Rys. 7.14. Zmiany nachylenia elementów podczas badań obudowy na stanowisku badawczym.....	93
Rys. 7.15. Wysokość sekcji podczas badań stanowiskowych.....	94
Rys. 7.16. Nachylenie wyrobiska ścianowego	95
Rys.8.1. Stanowisko badawcze w warunkach dołowych.....	98
Rys.8.2. Urządzenia pomiarowe.....	99
Rys. 8.3. Pomiary ręczne geometrii rozparcia obudowy.....	100
Rys. 8.4. Pomiary ręczne nachylenia stropnicy.....	100
Rys. 8.5. Rozkład wysokości trzech badanych sekcji.....	101
Rys. 8.6. Nachylenie poprzeczne i podłużne osłony odzawałowej badanej sekcji	102
Rys. 8.7. Nachylenie poprzeczne i podłużne przedniego łącznika - lemniskata badanej sekcji.....	102
Rys. 8.8. Nachylenie poprzeczne i podłużne spągnicy badanej sekcji.....	103
Rys.8.9. Nachylenie poprzeczne i podłużne stropnicy badanej sekcji	103
Rys. 8.10. Czasowe zmiany wartość ciśnienia dla stojaka pierwszej badanej sekcji obudowy.....	104
Rys. 8.11. Czasowe zmiany wartość ciśnienia dla siłownika podpory pierwszej badanej sekcji obudowy.....	105
Rys.8.12. Czasowe zmiany nachylenia poprzecznego podstawowych elementów obudowy....	106
Rys. 8.13. Czasowe zmiany nachylenia podłużnego podstawowych elementów obudowy....	106
Rys. 9.1. Struktura akcelerometr typu MEMS.....	110
Rys. 9.2. Kąty nachylenia czujnika.....	113
Rys. 9.3. Kąt odcięcia wynikający z pierwotnego ustawienia sekcji.....	114
Rys. 9.4. Wysokość całkowita pracy obudowy.....	115
Rys. 9.5. Uchwyt montażowy.....	116
Rys.9.6. Ręczna kalibracja czujnika za pomocą specjalistycznego przyrządu.....	117
Rys. 9.7. Widok położenia uchwytów montażowych w badanej sekcji.....	118
Rys. 9.8. Przebieg zmian wysokości pracy obudowy na stanowisku badawczym.....	119
Rys. 9.9. Rozmieszczenie czujników monitoringu położenia obudowy zmechanizowanej.....	119
Rys. 9.10. Schemat stanowiska badawczego w warunkach rzeczywistych.....	120
Rys. 9.11. Nachylenie podłużne sekcji 34.....	121
Rys. 9.12. Nachylenie poprzeczne sekcji 34.....	121
Rys. 9.13. Nachylenie podłużne sekcji 35.....	122
Rys. 9.14. Nachylenie poprzeczne sekcji 35.....	122
Rys. 9.15. Nachylenie podłużne sekcji 36.....	123
Rys. 9.16. Nachylenie poprzeczne sekcji 36.....	123

Rys. 9.17. Czasowe zmiany wysokość sekcji obudowy zmechanizowanej w czasie badań w warunkach rzeczywistych - sekcja 34.....	124
Rys. 9.18. Czasowe zmiany wysokość sekcji obudowy zmechanizowanej w czasie badań w warunkach rzeczywistych - sekcja 35.....	124
Rys. 9.19. Czasowe zmiany wysokość sekcji obudowy zmechanizowanej w czasie badań w warunkach rzeczywistych - sekcja 36.....	125
Rys. 9.20. Czasowe zmiany wysokość sekcji obudowy zmechanizowanej w czasie badań w warunkach rzeczywistych – dla trzech sekcji (34,35,36).....	126
Rys. 9.21. Interface systemu monitoringu.....	127
Rys. 9.22. Interface systemu monitoringu dla przykładowej sekcji nr 34.....	127
Rys. 10.1. Etapy badań praktycznych celem określenia wytycznych.....	129
Rys. 10.2. Metoda opracowania wytycznych dla systemu monitoringu.....	131

Spis tabel

Tabela 5.1. Parametry badanej sekcji obudowy zmechanizowanej.....	52
Tabela 6.1. Zarejestrowane ciśnienia w przestrzeni podtłokowej w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej dla występujących energii wstrząsów w górotworze w pierwszej strefie badawczej.....	67
Tabela 6.2. Zarejestrowane ciśnienia w przestrzeni podtłokowej w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej dla występujących energii wstrząsów w górotworze w drugiej strefie badawczej.....	68
Tabela 6.3. Zarejestrowane ciśnienia w przestrzeni podtłokowej w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej dla występujących energii wstrząsów w górotworze w trzeciej strefie badawczej.....	68
Tabela 8.1. Wartości nachyleń podłużnych.....	107
Tabela 8.2. Wartości nachyleń poprzecznych.....	107

Wykaz symboli

$\mathcal{E}$	–	odkształcenie
l	–	odległość pomiędzy założonymi punktami przed odkształceniem materiału
Δl	–	suma odległość pomiędzy punktami powstała po odkształceniu materiału, a zmiany wymiarów kąta
γ	–	wartość kąta odkształcenia
CDE	–	punkty wyznaczonych na materiale przed odkształceniem,
$C'D'E'$	–	różnica położenia punktów wyznaczonych na materiale po odkształceniu
$\gamma_{xy,yz,xx}$	–	miary kątów składowych
$\mathcal{E}_{x,y,z}$	–	składowe odkształceń
$\cos \gamma_{xy,yz,xx}$	–	cos kątów składowych odkształceń
ΔV	–	suma przemieszczenia
$\mathcal{E}_{x,y,z}$	–	składowe odkształceń
σ	–	wartości naprężeń
$f(\varepsilon)$	–	wartości funkcji odkształceń
P_n	–	ciśnienie nominalne zaworu bezpieczeństwa
P_{max}	–	maksymalne ciśnienie cieczy w przestrzeni podtłokowej w chwili wstrząsu górotworu
Λ	–	wartość kąta
a_x	–	przyśpieszenie ziemskie w osi x
a_y	–	przyśpieszenie ziemskie w osi y
a_z	–	przyśpieszenie ziemskie w osi z
H_n	–	mierzona wysokość
L_n	–	długość elementu sekcji
α	–	kąt pomiędzy linia przemieszczenia się danego elementu sekcji (β, γ, δ)
h_1	–	wysokość określana na podstawie długości stropnica i kąta β
h_2	–	wysokość określana na podstawie długości osłony odzawałowej i kąta γ
h_3	–	wysokość określana na podstawie długości lemniskaty i kąta δ
A	–	powierzchnia okładek kondensatora
d	–	odległość pomiędzy okładkami kondensatora
ε_0	–	odpowiednio przenikalność elektryczna próżni
ε_r	–	względna przenikalność elektryczna materiału, z którego wykonano okładki izolator

C_1, C_2	–	różnicy pojemności pomiędzy okładkami kondensatora
ϵ_A	–	przyjmując przenikalność powietrza, pomiędzy okładkami kondensatora
ΔC	–	suma różnicy pojemności pomiędzy okładkami kondensatora
$\frac{k_s}{m}$	–	stała wynikająca z budowy akcelerometru
a	–	wartość wychylenia
x	–	stała wyznaczona przez system przetwarzania analogowego do postaci sygnału napięciowego