

Prof. dr hab. inż. Józef Gawlik
Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny
Katedra Inżynierii i Automatyzacji Produkcji

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. **Konrada Trzopa nt.: „Opracowanie metody badania obudowy zmechanizowanej w celu określenia wytycznych dla systemu monitorującego parametry jej pracy”**

Promotor: dr hab. inż. Jarosław Brodny, prof. PŚ.

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Dawid Szurgacz, prof. PŚ.

Podstawa opracowania: zlecenie PP/2025/11/00387 Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, z dnia 28.11.2025r.

1. Zakres i charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa obejmuje 159 stron, a w tym: spis treści (2 str.), streszczenie w j. polskim (3 str.), streszczenie w j. angielskim (3 str.), literatura (10 str.- 137 pozycji), spis rysunków (5 str.), spis tabel (1 str.), wykaz symboli (2 str.) Zasadnicza część rozprawy składa się z 11 rozdziałów (137 str.).

We wprowadzeniu - rozdział 1 (s.11- s.17) Autor rozprawy nakreśla główne aspekty dotyczące roli węgla, jako strategicznego surowca w przemyśle energetycznym, metalurgicznym, chemicznym, farmaceutycznym oraz w wielu innych gałęziach gospodarki. W Polsce, która posiada spore zasoby węgla stanowi on podstawę krajowego miksu energetycznego. Rola górnictwa dla pozyskiwania surowców metalicznych, chemicznych i skalnych zdecydowanie wzrasta i stanowi obszar o dużym potencjale rozwojowym, włączając w to także nowe obszary wydobywania surowców, np. z dna morskiego i z kosmosu.

Nieprzewidywalność zachowania środowiska, w którym jest prowadzona podziemna eksploatacja górotworu zaburza stan jego równowagi generując szereg zagrożeń, które powodują, że proces eksploatacji jest również nieprzewidywalny i często niebezpieczny. Konieczne zatem staje się podejmowanie różnego typu działań w celu zapewnienia bezpiecznego środowiska pracy górników jak i wyposażenia technicznego.

Spośród urządzeń technicznych szczególne znaczenie ma zmechanizowany kompleks ścianowy, wykorzystywany w wysokowydajnych ścianach do bezpośredniego urabiania górotworu oraz transportu urobku ze strefy przodkowej. Kompleksy z kombajnem ścianowym, jako główną maszyną urabiającą są obecnie dominującymi zestawami maszynowymi, wykorzystywanymi w procesie produkcji węgla. Ze względu na trudne warunki środowiskowe, w których są one eksploatowane, muszą charakteryzować się wysoką jakością konstrukcji oraz jakością technologiczną i eksploatacyjną - szczególnie niezawodnością, a także powinny być przyjaznymi w obsłudze.

W przypadku obudowy zmechanizowanej, składającej się z od kilkudziesięciu do ponad stu pięćdziesięciu niezależnych sekcji, istotne znaczenie ma system sterowania i kontroli parametrów pracy tych sekcji, a co za tym idzie całej obudowy. Obudowa ta nie tylko zabezpiecza przestrzeń roboczą od strony urabianego górotworu, ale musi również 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 dla zapewnienia ciągłości, bezpieczeństwa oraz efektywności całego procesu produkcji górniczej.

Aktualnie stosowane w Polsce zmechanizowane obudowy ścianowe charakteryzują się dużym zróżnicowaniem ich parametrów mechanicznych, konstrukcji oraz sposobów sterowania i kontroli parametrów pracy. 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. Ograniczona jest też

możliwość doskonalenia procesu jej eksploatacji oraz optymalizacji parametrów pracy. Brak jest kompleksowego systemu do bieżącej oceny parametrów pracy obudowy zmechanizowanej, monitoringu wartości tych parametrów oraz sterowania jej pracą. Sytuacja ta często powoduje zaburzenia w realizacji procesu eksploatacji oraz negatywnie wpływa na jego efektywność i bezpieczeństwo załogi.

Poszukiwanie nowych rozwiązań, które umożliwią poprawę efektywności eksploatacji obudowy oraz lepszą ochronę pracowników jest zadaniem pierwszoplanowym. Opracowanie i zastosowanie nowych systemów do monitorowania parametrów pracy obudowy stanowi ważny kierunek badań, ukierunkowany na doskonalenie procesu sterowania jej pracą. Bieżący dostęp do aktualnych wartości parametrów pracy obudowy oraz możliwość zdalnego sterowania jej eksploatacją powinny wpływać na poprawę bezpieczeństwa pracy oraz umożliwić efektywne wykorzystanie jej potencjału. Omówione kwestie jednoznacznie wskazują, że rola oraz znaczenie zmechanizowanej obudowy górniczej, zarówno pod względem technicznym, organizacyjnym i ekonomicznym ma dominujące znaczenie dla ciągłości i efektywności oraz bezpieczeństwa procesu podziemnej eksploatacji węgla kamiennego.

Należy podkreślić, że Doktorant proponował nowe i niestosowane dotychczas w sektorze górnictwa podejście do doskonalenia pracy maszyn stosowanych w procesie produkcji górniczej, obejmujące badania łączące parametry pracy obudowy z warunkami geologiczno-górnictwymi oraz parametrami pracy całego kompleksu ścianowego.

W świetle przedstawionego skrótkowo zakresu proponowanych badań podjęty temat rozprawy doktorskiej uznaję za w pełni uzasadniony, gdyż jest on aktualny oraz ważny ze względów poznawczych oraz utylitarnych – w szczególności z uwagi na możliwość poprawy zapewnienia bezpieczeństwa pracy w kopalni.

W rozdziale 2 - uzasadnienie celowości podjęcia tematu pracy (s.18-s.38) Doktorant przedstawił pogłębioną analizę dotyczącą:

- roli i znaczenia obudowy zmechanizowanej w całym procesie produkcji górniczej, a w szczególności w jego części realizowanej w środowisku podziemnym;
- sposobów jej projektowania i doboru oraz problemu sterowania jej pracą.

Głównymi kryteriami uzasadniającymi celowość podjęcia tego problemu badawczego są:

- poprawa i zapewnienie bezpieczeństwa oraz komfortu pracy w górnictwie;
- ograniczenie negatywnego wpływu górnictwa na środowisko oraz utrzymanie efektywności eksploatacji.

Z pośród różnych systemów zabezpieczenia wyrobisk najlepsze wyniki można osiągnąć poprzez stosowanie obudów zmechanizowanych. Podział obudów zmechanizowanych z uwzględnieniem różnych kryteriów, związanych z ich przeznaczeniem oraz konstrukcją przedstawiono na rys. 2.1 Obecnie najczęściej stosuje się obudowy podporowo-osłonowe (przykład – rys.2.5).

Obudowa zmechanizowana jest zbudowana z kilkunastu do ponad stu pięćdziesięciu niezależnych sekcji. Istotne znaczenie ma system sterowania i kontroli parametrów pracy tych sekcji, ponieważ obudowa zabezpiecza przestrzeń roboczą od strony górotworu oraz musi zapewnić odpowiednią wielkość tej przestrzeni w celu obsługi pozostałych maszyn, a także zapewnić bezpieczeństwo wentylacyjne.

Podstawowymi elementami konstrukcyjnymi są wszystkie części przenoszące obciążenia wywołane deformacyjnym oddziaływaniem górotworu, zaś wyposażenie dodatkowe stanowią wszystkie elementy nieprzenoszące obciążenia, ale które są niezbędne do funkcjonowania 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. Ważnym czynnikiem jest więc odpowiedni dobór sekcji obudowy zmechanizowanej do warunków w jakich ma być eksploatowana.

Przykład wyznaczonego na podstawie badań modelowych rozkładu sił działających na elementy sekcji obudowy zmechanizowanej pod wpływem zewnętrznego obciążenia został przedstawiony na rysunku 2.6. W procesie eksploatacji kluczową rolę odgrywa sterowanie poszczególnymi fazami pracy obudowy. Bardzo ważnym czynnikiem jest odpowiedni dobór sekcji obudowy zmechanizowanej do warunków w jakich ma być eksploatowana. Ten proces wraz z projektowaniem obudowy został skrótowo omówiony w kolejnym podrozdziale.

Proces projektowania obudowy górniczej obejmuje elementy konstrukcyjne, hydrauliczne i elektryczne. Każdy z tych elementów projektuje się z uwzględnieniem warunków geologiczno-górnich, eksploatacyjnych oraz technicznych, w których będzie pracowała obudowa. Doktorant ujął je w kilku działaniach dotyczących:

- analizy warunków geologiczno-górnich, które uwzględniają rozciągłość warstw w rejonie projektowanej ściany; miąższość pokładu wg wyników badań otworów geologicznych; wytrzymałość węgla; zagrożenia oraz warunki eksploatacyjne ścian prowadzonych w bezpośrednim otoczeniu;
- sposobu prowadzenia ściany;
- przewidywanych danych geometrycznych obudowy zmechanizowanej;
- rekonsolidacji zrobów zawalowych (wpływ na ten proces ma głębokość eksploatacji, wilgotność, zawartość skał typu ilastego, zawartość w gruzowisku klasy ziarnowej, czas rekonsolidacji);
- oceny stanu zagrożenia tąpnięciami;
- oceny stanu odprężenia górotworu na polu ścianowym;
- oceny stanu obciążenia wyrobiska ścianowego;
- oceny utrzymania stanu wyrobiska przez przewidzianą do zastosowania obudowę zmechanizowaną (obejmuje to wyznaczenie podporności obudowy zmechanizowanej oraz obliczenia wskaźnika nośności stropu);
- upodatkowania obudów zmechanizowanych, przewidzianych do zastosowania w warunkach prognozowanych dociążeń.

Dominujące znaczenie mają dwa czynniki, tj.: dobór odpowiedniej obudowy do warunków geologiczno-górnich w rejonie eksploatacyjnym w oparciu o wskaźnik nośności stropu oraz dostosowanie upodatkowania sekcji obudowy zmechanizowanej, które wpływa na sposób współpracy tej obudowy z górotworem.

Proponuję Doktoranta zastosowania do analizy i obliczeń metody elementów skończonych (MES), a do procesu projektowania i konstruowania oraz modernizacji i remontu obudów zmechanizowanych, systemów CAD, MES (Ansys) , lub branżowego oprogramowania ZRP PGG S.A. uznaję za trafny wybór.

Etapy procesu projektowania sekcji obudowy zmechanizowanej zostały przedstawione na rys.2.7, a ich szczegółowy opis wraz z wyjaśnieniami i komentarzami odpowiednio na rys. 2.8. – rys.2.14. Ta analiza i podsumowanie jednoznacznie potwierdzają, że:

- w procesie podziemnej eksploatacji górniczej, obudowa zmechanizowana jest jedną z głównych maszyn decydujących o jakości, efektywności i bezpieczeństwie pracy całego kompleksu ścianowego;
- poszczególne etapy projektowania muszą uwzględniać procedury dopuszczenia do użytkowania obudów, bowiem stanowią one podstawę do wprowadzania modyfikacji i doskonalenia konstrukcji obudowy;
- efektywna, skuteczna i bezpieczna praca obudowy górniczej umożliwia ograniczenie obecności załogi wyrobiskach ścianowych, które są strefami szczególnie niebezpiecznymi;

Wstępne badania i analizy wykonane przez Doktoranta wskazują na dużą skuteczność obudowy ścianowej w zakresie wspomagania procesu urabiania górotworu oraz poprawy bezpieczeństwa pracy górników. Uzasadnione jest zatem podjęcie opracowania odpowiedniej metody badania obudowy zmechanizowanej dla określenia

wytocznych dla systemu monitorowania parametrów jego pracy oraz wyjaśnienia procesów zachodzących podczas funkcjonowania w środowisku pracy z uwagi na jej stateczność i dopuszczalne zmiany geometrii obudowy.

W rozdziale 3 – cel i zakres pracy Doktorant określił jednoznacznie, że:

- **celem naukowym** „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”,
- **celem użytkowym** „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”

Na podkreślenie zasługuje interdyscyplinarne ujęcie złożonych problemów badawczych i aplikacyjnych poprzez badania modelowe oraz stanowiskowe, realizowane w warunkach rzeczywistych, co też warunkuje możliwości praktycznego wdrożenia wyników tej pracy.

Do tego zakresu zostały dostosowane poszczególne zadania obejmujące:

- krytyczną analizę literatury w zakresie: projektowania, budowy i eksploatacji obudowy zmechanizowanej; aktualnie stosowanych systemów monitorowania pracy obudowy oraz kierunków ich rozwoju; metodyki badań stanowiskowych, modelowych oraz w warunkach rzeczywistych proponowanych obudów; wymagań, które powinna spełniać zmechanizowana obudowa do realizacji swoich funkcji oraz niezbędnych parametrów jej pracy do skutecznego wdrożenia systemu monitoringu;
- opracowanie metodyki prowadzenia badań sekcji obudowy zmechanizowanej z uwzględnieniem badań modelowych, stanowiskowych oraz w warunkach rzeczywistych;
- opracowanie sposobu montażu czujników i rejestracji parametrów pracy poszczególnych sekcji obudowy zmechanizowanej;
- przeprowadzenie niezbędnych badań modelowych oraz stanowiskowych w warunkach rzeczywistych dla stwierdzenia możliwości osiągnięcia założonych celów pracy;
- 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;
- opracowanie wytycznych dla systemu monitorującego parametry pracy obudowy zmechanizowanej oraz dokumentacji techniczno-ruchowej dla tego systemu;
- przeprowadzenie procesu certyfikacji opracowanego systemu i jego wdrożenie.

Rozdział 4 – metodyka postępowania badawczego zawiera koncepcję pracy i ogólny plan pracy badawczej (rys.4.1) oraz szczegółowy przebieg postępowania badawczego (rys.4.2).

Uwaga: ze względu na merytoryczny zakres tego rozdziału uważam, że lepiej oddaje jego zawartość sformułowanie: „**tok postępowania badawczego**”, bowiem zawiera on między innymi opracowanie metodyk badawczych. Natomiast metodyka badawcza określa szczegółową procedurę rozwiązywania określonych zadań badawczych.

Doktorant sformułował jednoznacznie planowane zadania badawcze, obejmujące:

- systematyczny przegląd literatury;
- badania modelowe konstrukcji sekcji obudowy zmechanizowanej z zastosowaniem metody elementów skończonych;
- badania stanowiskowe sekcji obudowy zmechanizowanej oraz wybranych jej części;
- badania w warunkach rzeczywistych wraz z pomiarem właściwości fizycznych sekcji obudowy zmechanizowanej;
- obróbkę danych z pomiarów wraz z analizą niepewności pomiarowej;

- analizę i syntezę uzyskanych wyników diagnostycznych;
- sformułowanie zaleceń eksploatacyjnych.

Rozdział 5 – badania modelowe sekcji obudowy zmechanizowanej zawiera 2 główne etapy realizacji badań modelowych sekcji obudowy zmechanizowanej z wyznaczeniem stanów naprężenia i odkształcenia jej elementów. Dotyczą one:

- wyznaczenia parametrów wytrzymałościowych, niezbędnych do przeprowadzenia badań modelowych elementów sekcji obudowy;
- określenia etapów badań modelowych sekcji obudowy zmechanizowanej.

Badania modelowe zostały wykonane z właściwie dobraną metodyką i z należytą starannością. W podsumowaniu wyników tych badań Autor rozprawy stwierdził m. innymi, że:

- zaproponowane miejsca montażu dodatkowych elementów do zamontowania czujników nie mają istotnego wpływu na rozkłady naprężeń zredukowanych w elementach sekcji oraz nie pogarszają jej właściwości kinetostatycznych;
- badania modelowe z zastosowaniem metody elementów skończonych dają możliwość prześledzenia stanów naprężenia i odkształcenia elementów sekcji pod obciążeniami odwzorowującymi stany rzeczywiste w warunkach geologiczno-górnich;
- szczególnie pomocny jest model przestrzenny, który daje możliwość analizy stanów naprężenia i odkształcenia praktycznie w każdym punkcie badanej konstrukcji;
- uzyskane wyniki i analizy stanowią podstawę do prowadzenia badań w warunkach stanowiskowych, a następnie także w warunkach rzeczywistych.

Rozdział 6 – badania zmian ciśnienia w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej są podstawowymi sygnałami diagnostycznymi do określenia wytycznych dla systemu monitorowania parametrów pracy obudowy. Zmiany ciśnienia są także ważnym sygnałem stanów awaryjnych. Głównym celem tych badań było wyznaczenie czasowych zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaków obudowy zmechanizowanej w trakcie procesu jej eksploatacji.

Badania zostały przeprowadzone w jednej z czynnych kopalń węgla kamiennego na głębokości 840 m, w zakresie stanów pracy sekcji bez wystąpienia dynamicznych zjawisk w górotworze oraz z tymi zjawiskami, czyli w przypadku najczęściej spotykanym w krajowym systemie eksploatacji. Charakterystyka wyrobiska została w rozprawie szczegółowo opisana.

Lokalizacja zaistniałych wstrząsów w rejonie badanej ściany została przedstawiona na rys.6.1. Mapa rozkładu ciśnienia w stojakach hydraulicznych sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej z rejonu badanej ściany wraz z zaznaczonymi strefami badań została uwidoczniona na rys. 6.2, oraz widok stanowiska pomiarowego na rys. 6.3.

Przykłady czasowych przebiegów zmiany ciśnienia w stojakach badanych sekcji obudowy zmechanizowanej zostały przedstawione na rys. 6.4 – rys.6.7. W tabelach 6.1 - tab. 6.3 zostały ujęte wartości ciśnień, które zarejestrowano w przestrzeni podtłokowej stojaków obudów zmechanizowanych podczas zarejestrowanej energii wstrząsów w górotworze w badanej strefie.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów Doktorant wykonał 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). Syntetycznie te wyniki zostały zestawione na rys.6.8 – rys.6.20.

Wykonane badania i uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują na znaczącą rolę pomiaru ciśnienia w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej. Analizowane pomiary są ważnym sygnałem diagnostycznym, niezbędnym do możliwie szerokiej analizy pracy obudowy zmechanizowanej w warunkach rzeczywistych. Stanowiąc one równie ważne źródło informacji do opracowania systemów automatycznego sterowania obudową.

Rozdział 7 – opracowanie systemu monitorującego parametry geometryczne zmechanizowanej obudowy ścianowej (badania stanowiskowe) – I etap został zrealizowany w oparciu o prototyp czujników pomiarowych. Ten etap realizacji pracy wymagał zrealizowania przez Doktoranta szeregu podstawowych zadań, które między innymi dotyczyły:

- określenia miejsc montażu czujników bezpośrednio na elementach obudowy tak, aby wykluczyć możliwość kolizji pozostałych elementów konstrukcyjnych obudowy z czujnikami podczas jej fazy pracy;
- przeprowadzenia wstępnych badań na hali technologicznej z wykorzystaniem do montażu czujników na elementach obudowy prototypowej podstawy montażowej czujnika;
- wykonania badań w zakresie sterowania obudową symulując jej fazy pracy i weryfikując pomiary pozyskiwane z czujników z pomiarami ręcznymi. Na tym etapie badań czujniki komunikowały się poprzez przewody połączone ze stanowiskiem wyposażonym w komputer, celem obróbki pozyskiwanych danych;
- określenia wstępnych wytycznych dla układu pomiarowo-rejestrującego oraz sposobu jego współpracy z obudową zmechanizowaną na podstawie wykonanych badań stanowiskowych;
- dostosowania konstrukcji czujników do rzeczywistych, trudnych warunków pracy, wykonania testów układu pomiarowego oraz sposobów wyznaczenia miejsc stabilnego montażu czujników podczas pracy obudowy;
- opracowania i przetestowania bezprzewodowego systemu komunikacji pomiędzy poszczególnymi czujnikami z autoryzowanym dostępem.

Wymienione, główne cechy proponowanego systemu muszą być spełnione, aby można go było zastosować w wyrobiskach zakładów górniczych oraz w tych częściach ich instalacji powierzchniowych, w których jest prawdopodobne zagrożenie wybuchem metanu lub pyłu węglowego. Czujniki geometrii nadają się także do wykorzystania w instalacjach pneumatycznych i hydraulicznych maszyn i obiektów przemysłowych.

Na rysunku 7.2 został przedstawiony schemat komunikacji czujników z uwzględnieniem możliwości przesyłu danych na powierzchnię.

Kolejnym zadaniem było określenie geometrycznych parametrów sekcji obudowy. Wymagało to określenia kątów pomiędzy pracą poszczególnych elementów sekcji obudowy zmechanizowanej. Doktorant opracował odpowiednie rysunki konstrukcyjne (rys.7.3 – rys.7.5 oraz rys.7.7 – rys.7.8) oraz lokalizację czujników monitoringu (rys.7.6 i rys.7.9) i wymagane zależności matematyczne do obliczeń geometrii obudowy.

Przeprowadzone badania modelowe i stanowiskowe były podstawą do weryfikacji modelu obliczeniowego. Wyniki tej oceny zostały ujęte na rys.7.10 -rys.7.15, a układ został przystosowany do testów wykonanych w warunkach dołowych w kopalni.

Zmechanizowana obudowa ścianowa pracuje w trudnych warunkach geologicznych i 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.

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. Te wymagania zostały również uwzględnione w przeprowadzonych badaniach. Testy na stanowisku badawczym wykazały brak kolizji z czujnikami systemu.

Podsumowując analizę dotychczasowego stanu zaawansowania rozwiązań konstrukcyjnych systemu monitorującego parametry pracy obudowy stwierdzam, że

prototyp został dobrze opracowany i przygotowany do pracy w rzeczywistych, trudnych warunkach w kopalni.

Rozdział 8 – badania prototypowego systemu monitorującego parametry pracy obudowy zmechanizowanej w warunkach rzeczywistych – I etap dotyczył pozyskania wiarygodnych informacji na temat kompatybilności czujników z konstrukcją obudowy ścianowej, weryfikacji pomiarów uzyskanych z czujników z pomiarami ręcznymi oraz określeniu sprawności pracy układu pomiarowego. Przygotowane stanowisko badawcze (rys.8.1 – rys.8.4) pomyślnie przeszło testy w rzeczywistym środowisku pracy.

Wyniki przeprowadzonych testów zostały przedstawione na rys.rys.8.5 – rys.8.13 oraz zestawione w tabeli 8.1 i w tabeli 8.2. Układ pomiarowy umożliwił rejestrację i wyznaczenie głównych parametrów pracy badanych elementów obudowy. Ważną informacją jest również pozyskanie praktycznej wiedzy w zakresie miejsc montażu czujników w sekcjach przeznaczonych do ścian wysokich, średnich i niskich oraz kluczowych informacji, niezbędnych do podjęcia dalszych badań do doskonalenia układu pomiarowego.

Rozdział 9 – badania parametrów geometrycznych sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej - II etap badań stanowiskowych i w warunkach rzeczywistych dotyczył wprowadzenia pewnych zmian w celu udoskonalenia sposobu montażu czujników do pomiaru parametrów geometrycznych sekcji obudowy oraz ich eksploatacji, poprawę stabilności oraz ułatwienia serwisowania w warunkach eksploatacyjnych.

W trakcie tych badań proces komunikacji i rejestracji danych diagnostycznych odbywał się w sposób bezprzewodowy. Przesyłanie danych odbywało się za pomocą przetwornika danych, a wizualizacje w trakcie badań stanowiskowych były wyświetlane na komputerze na stanowisku w hali technologicznej. Natomiast w warunkach rzeczywistych były wyświetlane na komputerze zlokalizowanym w wyrobisku przyścianowym, a za pośrednictwem sieci światłowodów dane były przesyłane na powierzchnię do dyspozytorni energomechanicznej.

Doktorant zamieścił także niezbędne obliczenia i przykłady wybranych elementów infrastruktury pomiarowej (rys.9.2 – rys.9.7 oraz rys.9.9 i rys.9.21 – rys. 9.22)., a także przebieg zmian wysokości pracy obudowy na stanowisku badawczym (rys.9.8).

Skuteczność opracowanego systemu monitorowania położenia obudowy zmechanizowanej została przetestowana powtórnie w warunkach rzeczywistych (rys.9.10). Wyniki tych testów zostały ujęte na wykresach (rys.9.11 – rys.9.20).

W rozprawie Doktorant stwierdza, że: ... „*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 uchwytach montażowych w ścianie wydobywczej...*” (rys. 9.10).

Pozyskanie szybkiej informacji o pojawiających się nieprawidłowościach w ustawieniu sekcji daje możliwość ograniczenia dalszego pogarszania się jej współpracy z górotworem i pozostałymi maszynami kompleksu ścianowego.

Przeprowadzone badania określiły metodykę postępowania, sposób funkcjonowania i zabudowy układu pomiarowo – rejestrującego, a to stanowi podstawę do opracowania wytycznych dla układu pomiarowo – rejestrującego. Pozyskane informacje o zmianach geometrii sekcji obudowy są istotną informacją do określenia zależności między jej stanem, a zjawiskami zachodzącymi w górotworze. Stosowanie systemów monitorujących pracę obudowy, jako narzędzia stanowiącego kompletny układ wizualizacji pracy obudowy stanowi podstawę do stworzenia precyzyjnego systemu sterowania zautomatyzowanym kompleksem ścianowym, wpływającym na poprawę bezpieczeństwa pracy zmechanizowanej obudowy ścianowej.

Podsumowując uzyskane przez Doktoranta wyniki dotyczące opracowanego systemu monitorowania stanu zmechanizowanej obudowy należy podkreślić, że dominującym efektem tych działań jest zwiększenie zapewnienia bezpiecznej pracy każdej

sekcji, a więc i bezpieczeństwa pracy górników oraz bezpieczeństwa zewnętrznej infrastruktury kopalni.

W rozdziale 10 – metoda badania obudowy zmechanizowanej wraz z wytycznymi systemu dla monitorowania parametrów jej pracy mgr inż. Konrad Trzop przedstawił syntezę poszczególnych etapów badań niezbędnych do określenia wytycznych dla systemu monitorującego parametry pracy obudowy (rys.10.1) oraz szczegółową procedurę badań sekcji obudowy zmechanizowanej do opracowania wytycznych dla systemu monitoringu parametrów jej pracy (rys.10.2).

Za szczególnie ważne uznaje się zwięzłe opracowanie wytycznych (9 punktów) dla wdrożenia systemu monitorującego i diagnozującego parametry pracy obudowy ścianowej. Wytyczne zostały zawarte w dokumentach dotyczących wdrożenia układu pomiarowego na podstawie Opinii Instytutu Badawczego KOMAG, Zakład Badań Atestacyjnych Jednostka Certyfikująca – Opinia nr 152/AO/2022. Są to:

- Dokumentacja Techniczno-Ruchowa 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.

W rozdziale 11 – podsumowanie i wnioski końcowe oraz kierunki dalszych badań Doktorant syntetycznie (w XIII punktach) skomentował zakres opracowania i uzyskane efekty. Należy podkreślić, że wyniki zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaków badanych sekcji umożliwiły zobrazowanie w 75 % przypadków oddziaływanie górotworu w czasie zaistniałych wstrząsów wysokoenergetycznych. Jest to znaczący efekt poprawy bezpieczeństwa pracy w kopalni, bowiem z wyprzedzeniem można podjąć decyzję o rozpoczęciu prac profilaktycznych celem zmniejszenia ryzyka powstawania obwałów lub tąpnięć.

Doktorant ma również świadomość prowadzenia dalszych badań w celu doskonalenia już istniejących rozwiązań oraz opracowania nowych w zakresie:

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

2. Ocena metodologicznej i metodycznej koncepcji rozprawy doktorskiej

Uwaga ogólna: Rozprawa jest napisana poprawnie pod względem językowym i edycyjnym. Natomiast w tekście występuje kilkanaście niezauważonych przez Doktoranta pomyłek głównie literowych oraz w kilku przypadkach także stylistycznych. Nie zmienia to jednak merytorycznej spójności i zawartości rozprawy doktorskiej.

Na podstawie przedstawionej analizy rozprawy doktorskiej, sformułowania i procedury rozwiązywania postawionych zadań badawczych, **metodologiczną i metodyczną koncepcję rozprawy doktorskiej oceniam jednoznacznie pozytywnie**. Mgr inż. Konrad Trzop opracował spójną merytorycznie analizę stanu wiedzy z zakresu tematu rozprawy. Wykazał, że dysponuje bardzo dobrze opanowaną wiedzą i praktycznym doświadczeniem do rozwiązywania złożonych

problemów technicznych, związanych z funkcjonowaniem przemysłu wydobywczego. Opanował umiejętność prowadzenia badań diagnostycznych maszyn i urządzeń technologicznych w trudnych warunkach przemysłowych oraz merytorycznej analizy uzyskanych wyników.

3. Ocena końcowa rozprawy doktorskiej

Opiniowana rozprawa doktorska należy do ważnego obszaru badawczego, związanego z zarządzaniem eksploatacją i zapewnieniem bezpieczeństwa w przemyśle górniczym. **Rozprawa doktorska, mieszcząca się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna posiada oryginalne cechy nowości, a także potwierdzone, znaczące walory użyteczne. Poszerzają one wiedzę i możliwości skutecznej poprawy oraz ochrony bezpieczeństwa pracy załogi w przemyśle wydobywczym.**

W mojej ocenie rozprawa doktorska mgr inż. Konrada Trzopa posiadająca znaczące walory poznawcze i użyteczne spełnia warunki do uzyskania wyróżnienia. Przedstawiam zatem wniosek o wyróżnienie opiniowanej rozprawy.

Na podstawie przedstawionej opinii stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Konrada Trzopa nt.: „Opracowanie metody badania obudowy zmechanizowanej w celu określenia wytycznych dla systemu monitorującego parametry jej pracy”” spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (ustawa z dnia 14 marca 2003 r. wraz z późniejszymi zmianami, a także ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, art.185.) i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Kraków, dnia 10 stycznia 2026 r.

Prof. Józef Gawlik

/podpis odręczny/

*wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz.U. z 2016 r., poz. 1764)