

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Krauze
Akademia Górniczo-Hutnicza
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Kraków, dnia 03 grudnia 2025 r.

Recenzja pracy doktorskiej

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

1. Wprowadzenie.

Recenzję pracy doktorskiej wykonano na prośbę Rady Dyscyplina Mechaniczna Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Przedmiotowej oceny dokonano na podstawie otrzymanego egzemplarza pracy doktorskiej przekazanego wraz z pismem przewodnim z dnia 23.10.2025 r. (RDIMe.512.75.2025) Do oceny pracy doktorskiej wzięto również pod uwagę wystąpienia Doktoranta na różnych konferencjach naukowych i seminariach.

2 Uzasadnienie celowości podjęcia tematu.

Wybieranie węgla kamiennego w polskich kopalniach głębinowych prowadzone jest systemami ścianowymi. Wyrobisko ścianowe, często nazywane ścianą, wyposażane jest w zmechanizowany kompleks ścianowy. Zadaniem tego kompleksu jest pozyskanie węgla kamiennego poprzez urabianie mechaniczne i przy założonym wydobywaniu dobowym. Temu celowi służy maszyna urabiająca, najczęściej frezujący kombajn ścianowy, rzadziej statyczny strug węglowy, zgrzeblowy przenośnik ścianowy i podścianowy oraz zmechanizowana obudowa ścianowa podporowo-osłonowa. Zestaw tych maszyn jest odpowiednio dobrany, tak by uwzględnić warunki górniczo-geologiczne występujące w pokładzie węgla i wyrobisku ścianowym. Pozyskanie węgla rozpoczyna frezujący kombajn ścianowy lub strug (skrawanie, ładowanie). Powstały urobek przekazywany jest na przenośnik ścianowy, a potem na podścianowy i taśmowy. Natomiast głównym zadaniem zmechanizowanej obudowy ścianowej jest utrzymanie stateczności wyrobiska ścianowego w czasie jego eksploatacji. Stąd musi ona mieć wymaganą podporność i wskaźnik nośności stropu g. Oczywiście współpraca obudowy z pozostałymi maszynami wymaga dodatkowych funkcji. Dotyczy to możliwości przestawiania jej w nowe pole o wielkość zabioru, podobnie przemieszczenie przenośnika ścianowego oraz prowadzenie maszyny urabiającej.

Zmechanizowana obudowa ścianowa, najczęściej podporowo-osłonowa, pracuje w polskich kopalniach na tak zwanym kroku wstecz. Umożliwia to po przejściu maszyny urabiającej, kolejno rabowanie jej poszczególnych sekcji i przemieszczenie ich w nowe pole, a następnie ich rozparcie i przestawianie przenośnika. Wymaga to odpowiedniego systemu sterowania fazami pracy obudowy. Może to być sterowanie indywidualne, pilotowe lub coraz częściej stosowane elektrohydrauliczne. To ostatnie umożliwia, przy odpowiednim oczujnikowaniu poszczególnych sekcji, sterowanie pojedynczymi sekcjami ze sterownika, tak w cyklu pojedynczym jak i zbiorowym. Wydatnie skraca to czas przestawiania pojedynczej sekcji oraz całej obudowy.

Wspomniane przed chwilą odpowiednie oczujnikowanie obudowy związane jest z jej wysokością rozparcia (przetworniki drogi, kąta) oraz położeniem w stosunku do przenośnika i długości ściany (przetworniki drogi, czujniki zbliżeniowe). Ważnym jest

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 05.12.2025
RDGMe/258/51/2025
nr zał.

również pomiar ciśnienia w siłownikach hydraulicznych obudowy, a głównie w stojakach (przetworniki ciśnień). W tym przypadku możliwe jest również monitorowanie pracy obudowy, ale również ściany. Wspomniano wcześniej, że taki stan rzeczy dotyczy obudów ze sterowaniem elektrohydraulicznym, co nie często spotyka się w polskich kopalniach. Wtedy monitorowanie pracy obudowy wymaga opracowania takiej metody wraz z oprzyrządowaniem i możliwością przetwarzania danych, która bez naruszania konstrukcji sekcji jest w stanie zmierzyć jej parametry konstrukcyjne i podpornościowe (ciśnienie w stojakach).

Rozwiązanie powyższego zagadnienia, poprzez zaproponowanie poprawnej oraz skutecznej metody monitoringu pracy obudowy, pozwala na pozytywną ocenę wyboru i zasadności podjęcia do realizacji tego tematu jako pracy doktorskiej.

3. Ogólna charakterystyka i zakres pracy.

W oparciu o dotychczasowy stan wiedzy zaczerpnięty z literatury (137 pozycji) oraz własnych doświadczeń zawodowych, Autor dokonał próby uzasadnienia celowości podjęcia prac związanych z opracowaniem metody pozwalającej na monitorowanie stanu sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej (parametry konstrukcyjne), a głównie wyznaczenie jej wysokości rozparcia, bez ingerencji w jej budowę (*rozdział pierwszy i drugi*), z możliwością powielenia jej na inne sekcje.

Cel naukowy i użyteczny oraz zakres pracy przedstawiono w *rozdziale trzecim*. Opracowanie metody badania zmechanizowanych obudów ścianowych, w aspekcie monitorowania ich pracy w wyrobisku ścianowym, zdefiniowano jako cel naukowy (badania modelowe, na stanowisku badawczym, w wyrobisku ścianowym). Natomiast opracowanie wytycznych i założeń do budowy takiego systemu sformułowano jako cel użyteczny. Stąd dla realizacji i rozwiązania tego zagadnienia ustalono zakres pracy obejmujący osiem punktów wraz z podpunktami.

Opis metodyki postępowania badawczego zamieszczono w *rozdziale czwartym*. Podzielono ją na siedem etapów, zaczynając od przeglądu literatury (etap 1), a kończąc na sformułowaniu wniosków końcowych (etap 7). Zamieszczono również szczegółowy tok postępowania badawczego.

Badania modelowe (model 3D) sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej podporowo-osłonowej przeprowadzono dla ustalenia możliwych miejsc montażu czujników (przetworników) pomiarowych. Do analizy wybrano sekcję o wysokości rozparcia od 1,5 m do 3,5 m i podziałce 1,5 m (*rozdział piąty*).

Obecnie obciążenie poszczególnych sekcji w wyrobisku ścianowym mierzone jest przetwornikami ciśnień zabudowanymi na stojakach obudowy. Przebieg wartości tych ciśnień umożliwią ocenę obciążenia obudowy po rozparciu i w czasie współpracy z górotworem. Dlatego w *rozdziale szóstym* opisano badania zmiany ciśnienia w stojakach sekcji obudowy ścianowej w warunkach wybranej ściany o wysokości około trzech metrów i długości 252 m. Wyniki tych badań posłużyły dla ustalenia wytycznych i założeń dla układu monitorującego pracę obudowy (wysokość rozparcia, obciążenie).

Rozdział siódmy poświęcony został w całości przedstawieniu systemu monitorującego parametry geometryczne sekcji obudowy ścianowej oraz badań stanowiskowych (trzy sekcje). W rozdziale tym wskazano miejsca lokalizacji czujników pomiarowych (stropnica, spagnica, ciągnio lemniskaty – łączni przedni, osłona odzawałowa), krótko opisano układ pomiarowy, sposób wyznaczania parametrów geometrycznych sekcji obudowy oraz badania stanowiskowe (etap-I). W konkluzji stwierdzono prawidłową pracę układu pomiarowego i możliwość prowadzenia badań dołowych.

Rozdział ósmy zawiera opis badań prototypowego systemu monitorującego parametry zmechanizowanej, ścianowej obudowy podporowo-osłonowej w warunkach kopalnianych (rzeczywistych). Wykorzystując wnioski i doświadczenia z badań stanowiskowych podobne badania przeprowadzono w warunkach wyrobiska ścianowego, konfrontując je z pomiarami ręcznymi parametrów konstrukcyjnych (geometrycznymi) obudowy i jej wysokością rozparcia. Przeprowadzono również analizę przebiegu wartości ciśnień w stojakach obudowy. Uznając wyniki badań za pozytywne stwierdzono również konieczność modernizacji mocowania czujników do elementów obudowy (etap-I).

Docelowe badania geometrii sekcji ścianowej, zmechanizowanej obudowy podporowo-osłonowej na stanowisku badawczym oraz w warunkach kopalnianych (rzeczywistych) przedstawiono w *rozdziale dziewiątym*. Opisano w nim dokładnie metodę wyznaczania kątów pochylenia elementów sekcji obudowy przy wykorzystaniu technologii MEMS, bez podania parametrów czujników. Następnie opisano w miarę dokładnie badania stanowiskowe i rzeczywiste obudowy ścianowej (pięć sekcji), bez układu pomiarowo-rejestrującego. W podsumowaniu stwierdzono prawidłowe działanie układu pomiarowego oraz zalety dedykowanych uchwytów do czujników pomiarowych. Wskazano, że uzyskane wyniki i zaproponowany układ pomiarowy pozwala na opracowanie systemu monitorującego parametry pracy obudowy.

W *rozdziale dziesiątym* opisano metodę badania zmechanizowanej obudowy ścianowej wraz z wytycznymi do monitorowania parametrów jej pracy. Badanie obudowy podzielono na cztery etapy, począwszy od badań stanowiskowych (etap 1), poprzez badania modelowe (etap 2) i kopalniane (etap 3), a skończywszy na wytycznych dla systemu (etap 4) i jego dokumentacji technicznej.

Rozdział jedenasty zawiera podsumowanie i wnioski końcowe (trzyście) oraz kierunki dalszych badań (sześć punktów).

Całość pracy wraz załącznikami i spisem literatury została zawarta na 159 stronach.

4. Ocena merytoryczna pracy.

Rozprawa doktorska mgr inż. Konrada Trzopa ma charakter pracy analityczno-badawczej, a jej efektem końcowym jest opracowanie metody badania ścianowej obudowy zmechanizowanej wraz systemem monitorującym parametry jej pracy.

Prace Autor poprzedził rozeznaniem literatury z dziedziny dotyczącej tematu (137 pozycji). Dobór literatury, na który powołuje się Autor w tekście należy uznać za wystarczający. Brakuje jednak w opracowanym przez Autora przeglądzie literatury wyraźnie sformułowanych wniosków i uwag krytycznych odnoszących się do obecnie stosowanych systemów monitorujących i sterujących pracą obudowy ścianowej oraz ścianowych kompleksów zmechanizowanych. Wtedy jasno, precyzyjnie i przekonująco można by było sformułować cel pracy, związany z monitorowaniem pracy zmechanizowanej obudowy ścianowej.

Cele naukowy oraz użyteczny pracy założone przez Autora zostały osiągnięte w całości, pomimo przeprowadzenia trudnych badań analitycznych i eksperymentalnych. Stąd w wielu przypadkach trudno jest znaleźć granicę, gdzie jest wkład własny doktoranta.

Metodyka postępowania badawczego precyzuje dokładnie tok postępowania związany z badaniem obudowy ścianowej i to należy ocenić pozytywnie. Jednak zamieszczony schemat szczegółowego toku postępowania badawczego jest mało czytelny i trudny do identyfikacji.

Opis badań modelowych (model 3D) sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej podporowo-osłonowej przeprowadzono dla ustalenia możliwych miejsc montażu czujników

z uwagi na wyłączenie materiału elementów sekcji obudowy. Ważne jest to z uwagi na miejsc montażu czujników, by odkształcenia nie wpływały na dokładność pomiarów. Należy podkreślić, że miejsca te mają być zlokalizowane bez naruszania konstrukcji sekcji obudowy. W tym przypadku można by ten rozdział, bez uszczerbku na jakości pracy, zmniejszyć omawiając tylko to co dotyczy miejsc posadowienia czujników.

Pomiar ciśnienia w stojakach realizowany jest powszechnie dla ustalenia stanu pracy obudowy w czasie rozparcia (podporność wstępna) i właściwej pracy (podporność robocza, nominalna). Stąd taki pomiar musi być realizowany z uwagi na obowiązujące przepisy oraz prawidłowe rozparcie obudowy. Dlatego bez uszczerbku na jakości pracy, można zawartość tego rozdziału zmniejszyć omawiając tylko to co dotyczy wymagań związanych z parametrami przetworników ciśnień i realizacją pomiarów.

Zawartość rozdziałów siódmego i ósmego można potraktować jako badania wstępne potwierdzające i uzasadniające wybór metody i układu pomiarowego dla monitorowania stanu sekcji obudowy. Wspomniano wcześniej, że zaletą tej metody i układu pomiarowego jest brak ingerencji w konstrukcję obudowy. Możliwe jest wtedy wykorzystanie tej metody i układu pomiarowego dla każdej obudowy nie posiadającej systemu monitorowania. Nasuwają się tutaj następujące pytania związane z wyborem czujników (akcelerometry, metoda MEMS), ich parametrów i dokładności pomiarowej. Dotyczy to również, dokładności opisu wyznaczania wysokości rozparcia sekcji (brak oznaczenia na rysunku). Dlatego trudno jest jednoznacznie ocenić jakość zaproponowanego sposobu pomiaru wysokości rozparcia sekcji, pomimo realizacji badań stanowiskowych.

Zawsze realizacja badań stanowiskowych, a szczególnie badań dołowych (wyróbisko ścianowe) przynosi wiele cennych informacji i doświadczeń pozwalających na planowanie i przewidywanie dalszych działań. Cenną rzeczą jest, że przeprowadzone przez Doktoranta badania zostały zrealizowane w całości i pozwoliły wprowadzić zmiany konstrukcyjne mocowania czujników dla zwiększenia dokładności pomiarów. Jednak opis przeprowadzonych pomiarów jest za mało szczegółowy, odnośnie dokładności i powtarzalności pomiarów (układ pomiarowy, rejestracja, opracowanie wyników).

Najcenniejsze informacje związane z realizacją tematu monitoringu pracy obudowy ścianowej zawarto w rozdziale dziewiątym. Zamieszczono w nim najważniejsze dane dotyczące budowy czujników, ich mocowania (uchwyty) i sposobu wyznaczania wysokości rozparcia obudowy. Następnie opisano w miarę dokładnie badania stanowiskowe i rzeczywiste obudowy ścianowej (pięć sekcji), bez układu pomiarowo-rejestrującego. Należy w tym miejscu docenić wkład Doktoranta w realizację badań oraz w opracowanie wyników oraz ich analizę.

Mając na uwadze złożoność zjawisk występujących w czasie monitorowania pracy obudowy oraz trudności metodologiczne i techniczne w pomiarze ciśnień oraz parametrów konstrukcyjnych, jak również sposób prowadzenia eksperymentu i opracowanie oraz analizę wyników badań, to można pozytywnie ocenić umiejętności i samodzielność Doktoranta.

Należy jednocześnie zaznaczyć, że praca, od strony edytorskiej, została przygotowana bardzo starannie z niewielką ilością trudno zauważalnych błędów, które przekazano oddzielnie Doktorantowi.

5. Uwagi końcowe.

Praca doktorska mgr inż. Konrada Trzopa stanowi oryginalny dorobek Autora o charakterze naukowym i wnosi dostateczny wkład w dziedzinę dotyczącą monitorowania pracy zmechanizowanej obudowy ścianowej.

Na podstawie przeprowadzonej przez Doktoranta analizy prac badawczych z tej

dziedziny i oceniając sposób rozwiązania postawionego zagadnienia można stwierdzić, że Autor wykazuje wystarczającą samodzielność i dostateczny stopień wiedzy w zakresie dyscypliny naukowej (inżynieria mechaniczna), której rozprawa dotyczy.

Biorąc pod uwagę wszystkie cechy oryginalności pracy, wystarczającą samodzielność Autora w realizacji pracy, stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca **mgr inż. Konrada Trzopa: *Opracowanie metody badania obudowy zmechanizowanej w celu określenia wytycznych dla systemu monitorującego parametry jej pracy***, spełnia wymagania Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571), Art. 187. stawianych rozprawom doktorskim i wnoszę o jej przyjęcie oraz dopuszczenie do publicznej obrony.

prof. Krzysztof Krauze

/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)