

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

mgr inż. Mateusz Szczerbakowicz

pt. *„Projektowanie zbiorników retencyjnych stosowanych w ciągłym systemie transportowym kopalni Rudna z wykorzystaniem nowoczesnych metod numerycznych”*

Promotor:

dr hab. inż. Robert Król, prof. uczelni

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Zastępcy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki dr hab. inż. Bartosza Zajączkowskiego, prof. uczelni z dnia 26.10.2023 (nr RDND08/183/2023).

1. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska pt.: *„Projektowanie zbiorników retencyjnych stosowanych w ciągłym stanie transportowym kopalni Ruda z wykorzystaniem nowoczesnych metod numerycznych”* autorstwa mgr inż. Mateusza Szczerbakowicz opisana została na 92 stronach, składająca się z 12 rozdziałów, streszczenia w języku polskim, literatury, spisu rysunków oraz spisu tabel. Realizacja rozprawy doktorskiej była wspierana przez program *”Doktorat wdrożeniowy”* finansowany przez Ministerstwo Edukacji i Nauki, edycja III. Doktorant w swojej pracy umieścił 20 tabel, 85 rysunków. Spis literatury zawiera 63 pozycje, w tym 2 prace z udziałem Doktoranta.

W rozdziale 1 Autor dokonał krótkiej charakterystyki KGHM Polska Miedź S.A. w której opisał jakie jest roczne wydobycie. Wskazał również na sposób stosowanej eksploatacji złoża. Opisany został również system odstawy urobku z przodka na powierzchnię. W oparciu o przegląd literatury Doktorant rozwinął zagadnienia problematyki zbiorników retencyjnych. Doktorant w rozdziale tym wskazał, że zbiorniki retencyjne są kluczowe z punktu widzenia organizacji pracy dla ciągłej pracy odstawy urobku. A oddziaływujące na nie masy urobku mogą negatywnie wpływać na ich konstrukcję i poziom zużycia poszczególnych

elementów. Podsumowując ten rozdział Autor wykazał, że jest możliwe wypracowanie nowego podejścia do projektowania podziemnych zbiorników urobku, pozwalającego na jego optymalizację, co w dalszej części przedmiotowej pracy jest rozwijane.

Rozdział 2 stanowi charakterystykę układu transportu przenośników wraz z polowymi zbiornikami retencyjnymi. Doktorant opisał budowę oraz przeznaczenie przedmiotowego zbiornika. W przedstawionym opisie Autor wskazał, że najbardziej newralgicznym punktem w zbiorniku retencyjnym jest właśnie dozownik urobku. Taki stan rzeczy wynika z faktu, że zbiornik urobku generuje dużo większe obciążenia kosza zasypowego i wózka podawacza aniżeli punkt wysypu urobku. Prowadzi to do stwierdzenia, że dozownik powinien być tak zbudowany, aby możliwa była redukcja obciążeń statycznych i dynamicznych pochodzących od zgromadzonego i przemieszczającego się w nim urobku. Jak wskazuje Doktorant w podsumowaniu tego rozdziału, że dotychczas nie przeprowadzono badań mających na celu poznanie rzeczywistych rozkładów naprężeń na poszczególnych elementach dozownika ani nie przeprowadzono kompleksowej analizy ich awaryjności związanej ze zużyciem się elementów stalowych.

W rozdziale 3 dotyczącym analizy awaryjności zbiorników retencyjnych zwrócono uwagę na to, że wydobywana ruda miedzi w różnych rejonach kopalni składa się ze skał o odmiennych właściwościach fizyko-mechanicznych, wśród których parametr twardości skał jest uznawany za istotny z punktu widzenia tempa zachodzących procesów ściernych powierzchni stalowych. Autor w rozdziale tym przedstawił zróżnicowanie transportowanego urobku, w tym zwrócił uwagę na zatory w leju zasypowym. Przedstawione zostały szerokie przykłady zużycia ściernego dozownika urobku oraz zużycia korozyjnego. Doktorant analizę ilościową przeprowadził w dwóch etapach. W pierwszym z nich wykonano analizę wstępną obejmującą podstawowe dane dotyczące wykonywanych napraw, co pozwoliło na zawężenie obszaru do dalszych analiz. Natomiast w drugi przeprowadzono wnikliwą ocenę awaryjności dozowników opartą na wyznaczonych wskaźnikach. W syntezie tego rozdziału wykazano, że bardzo ważnym zagadnieniem jest dobór odpowiednich materiałów zwiększających trwałość elementów dozownika oraz dobór cech materiałowych i geometrycznych, aby ich zużycie w czasie było zbliżone.

Doktorant w rozdziale 4 zdefiniował problem i uzasadnił wybór tematu pracy. Autor wskazał, że w obecnie użytkowanych zbiornikach retencyjnych obserwuje się problemy związane ze zmianą geometrii konstrukcji powstałych pod wpływem nacisku masy urobku zgromadzonego w zbiornikach, co może doprowadzić do trwałego uszkodzenia konstrukcji i zatrzymania pracy zbiornika. Również istotnym problemem są zatory kosza zsypowego

i wózka podawacza, które niejednokrotnie powodują dłuższy postój w pracy, a usunięcie awarii jest czynnością niebezpieczną dla pracowników obsługujących tego typu urządzenie. Wybór tematu pracy przez Doktoranta jest zasadny, jak i przyjęta zintegrowana metoda DEM i MES do jego realizacji.

W rozdziale 5 Doktorant przedstawił zasadniczy cel pracy. Cel ten został podzielony na poznawczy, naukowy i użyteczny.

Autor w rozdziale 6 opisał przygotowanie eksperymentów numerycznych. Materiał badawczy próbki urobku zostały pobrane z jednej z kopalń należącej do KGHM S.A. Urobek został rozdrobniony i podzielony na odpowiednie frakcje na potrzeby badań laboratoryjnych. W kolejnym etapie omawianego rozdziału zdefiniowano wartości parametrów fizyko-mechanicznych analizowanej rudy miedzi. Zbadano gęstość objętościową urobku i kąt usypu naturalnego. W dalszej części badań przeprowadzono modelowanie przepływu materiału w układzie podajnik-zbiornik. Wstępna ocena poprawności przyjętego modelu badawczego wykazała na podstawie pomiaru wydajności za poprawny.

Rozdział 7 stanowi badania dotyczące obciążenia pionowego szuflady podajnika. Uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań dostarczyły nieznanych dotąd danych w zakresie rzeczywistego obciążenia konstrukcji dozownika. Wykonana analiza obciążenia konstrukcji szuflady dozownika na drodze obliczeń numerycznych rozkładu naprężeń wg. Miesa. Dostarczyła istotnych informacji dla kolejnych badań związanych z układem tensometrycznym zabudowanym na osi zestawu kołowego. Badania zostały przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych a następnie w warunkach rzeczywistych w podziemnej kopalni. Uzyskane wyniki z badań laboratoryjnych oraz rzeczywistych cechują się dużą zgodnością.

W rozdziale 8 Doktorant dokonał walidacji opracowanego modelu numerycznego. Natomiast rozdział 9 stanowi badania modelowe. Zostały one podzielone na trzy etapy. W pierwszym etapie dokonano wstępnej oceny konstrukcji, określono możliwy zakres zmian konstrukcyjnych do przeprowadzenia oraz przeprowadzono badania symulacyjne dla wybranego zakresu zmian konstrukcyjnych. Następnie Autor w etapie II przeprowadził badania wariantowe wybranej konstrukcji w oparciu o zmienne parametry pracy. W etapie III określone zostały optymalny punkt pracy oraz weryfikacja przyjętych założeń. Podsumowaniem tego rozdziału jest ocena zużycia ściernego za pomocą modelu Archarda.

Doktorant w rozdziale 10 dokonuje analizy stanu naprężeń i odkształceń z wykorzystaniem MES dla obecnej i proponowanej konstrukcji. Jak wskazuje autor w tym celu niezbędne jest sprzężenie między DEM i MES. W oparciu o uzyskane wyniki stwierdzono poprawność działania obydwu metod. Głównie odniesiono się do reakcji w podporach oraz ich

rozkładu pomiędzy podpory przednie a podpory tylne, obydwie metody są zbieżne i dają tożsame wyniki. Rozdział podsumowuje określenie możliwego kierunku optymalizacji konstrukcji przy pomocy MES.

W rozdziale 11 Doktorant przedstawia zalecenia oraz wytyczne dla projektowania zbiorników retencyjnych stosowanych w transporcie rud miedzi w kopalniach należących do KGHM Polska Miedź S.A. Natomiast w rozdziale 11 Autor formuje wnioski z uzyskanych rezultatów w swojej pracy.

2. Podjęty problem badawczy

Celem zasadniczym rozprawy doktorskiej było zweryfikowanie możliwości zastosowania zintegrowanych metod numerycznych na potrzeby udoskonalenia procesów eksploatacyjnych zachodzących podczas pracy zbiorników retencyjnych urobku oraz sprawdzenie możliwości poprawy jakości etapu projektowania tego typu urządzeń, ze szczególnym uwzględnieniem rzeczywistych zakresów. Jak wskazał Doktorant dotychczasowa wiedza w tym obszarze nie dostarcza informacji na temat zakresu wartości obciążeń jakie należy przyjmować dla projektowania tego typu konstrukcji.

Celem poznawczym pracy przez Doktoranta było zidentyfikowanie w warunkach in-situ zakresów sił działających na szufladę dozownika pod wpływem obciążenia masy urobku znajdującego się w zbiorniku, które posłużyły do weryfikacji przygotowanych modeli numerycznych. Dotychczasowy stan wiedzy w tym zakresie wykluczał możliwości prowadzenia działań optymalizacyjnych z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi symulacyjnych.

Celem naukowym podstawionym przez Autora rozprawy doktorskiej było opracowanie modelu numerycznego przepływu urobku w układzie zbiornik-podajnik do prowadzenia wielowariantowych symulacji numerycznych opartych na połączeniu Metody Elementów Skończonych (MES) oraz Metody Elementów Dyskretnych (DEM), których wyniki są kalibrowane na podstawie wartości rzeczywistych pomiarów pobranych z działającego zbiornika. Wyniki prowadzonych symulacji posłużą do określenia optymalnego punktu pracy układu zbiornik-podajnik z wykorzystaniem autorskiego podejścia badawczego, uwzględniającego analizę korelacji, analizę składowych głównych oraz optymalizację metodą spadu gradientowego z ograniczeniami. Dzięki zastosowaniu analizy korelacji możliwie będzie określenie wpływu poszczególnych czynników konstrukcyjnych i operacyjnych na jakość pracy dozownika.

Celem utylitarnym jaki założył sobie Autor było opracowanie zaleceń wytycznych do projektowania zbiorników retencyjnych stosowanych w transporcie rud miedzi w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A., tzn. określenie wpływu parametrów pracy (np. prędkości ruchu szuflady podawacza, nachylenie szuflady) oraz konstrukcji urządzeń (np. wymiary dozownika, odległość od osi zbiornika) na osiągnięte parametry nacisków pionowych na konstrukcję. Opracowane wytyczne mają na celu zwiększenie bezpieczeństwa pracy urządzeń, ich bezawaryjności oraz zwiększenie stopnia wykorzystania tego typu obiektów.

3. Oryginalne osiągnięcie badawcze i znaczenie poznawcze Doktoranta

Opiniowana rozprawa doktorska dotyczy projektowania zbiorników retencyjnych stosowanych w ciągłym systemie transportowym kopalni Rudna z wykorzystaniem nowoczesnych metod numerycznych. Do przedstawionej tematyki bardzo dobrze zdefiniowano cel badawczy. W oparciu o który przygotowano szereg eksperymentów numerycznych, badań nad obciążeniem oraz badań modelowych. Doktorant w oparciu o przegląd literatury oraz obecny stan techniki w KGHM zdefiniował i uzasadnił wybór swojego tematu pracy.

Najważniejszym osiągnięciem w przedstawionej rozprawie doktorskiej jest integracja dwóch metod. Polegająca na sprzężeniu metody DEM z modelem MES. Sprzężone symulacje DEM-MES pozwoliły na bezpośrednią analizę obciążenia, odkształceń i naprężeń urządzeń, które oddziałują z materiałami sypkimi. W związku z tym uważam, że powyższe osiągnięcie Doktoranta jest kluczowe do zastosowania w projektowaniu zbiorników retencyjnych w ciągłym systemie transportowym.

4. Uwagi krytyczne do rozprawy

- 1) Czy Doktorant przeprowadził analizę ściernych powierzchni stalowych w aspekcie doboru odpowiedniego materiału?
- 2) Czy Doktorant analizował materiały kompozytowe minimalizujące ścieralność oraz przeciwdziałające korozji dla przedmiotowego dozownika urobku?
- 3) Czy doktorant analizował z jaką prędkością przemieszcza się urobek w dozowniku?
- 4) Czy była wykonana analiza procentowa awaryjności dozownika urobku w całym procesie odstawy?
- 5) Jaki materiał został wykorzystany w prowadzonej symulacji numerycznej dla szuflady dozownika?
- 6) Czy była prowadzona ocena zużycia ściernego za pomocą innego modelu niż model Archarda?

- 7) Który z podzespołów dozownika jest najbardziej awaryjny i jaka byłaby możliwość minimalizacji jego skutków.
- 8) Proszę rozszerzyć rozdział 11 dotyczący zalecenia i wytycznych projektowania zbiorników retencyjnych w transporcie rud miedzi o dobór materiałów z których ma być wykonywany.
- 9) Proszę określić granice wytrzymałości projektowanych elementów w oparciu o Prawo Hooke'a.
- 10) Proszę wskazać dalsze kierunki badań oraz podać jaki mógłby być zakres przyszłych prac?

5. Wnioski końcowe

Przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Mateusza Szczerbakowicza pt.: *„Projektowanie zbiorników retencyjnych stosowanych w ciągłym systemie transportowym kopalni Rudna z wykorzystaniem nowoczesnych metod numerycznych”* z uwagi na obecnie występujące problemy, których tematyka jest jak najbardziej aktualna. Przedstawiony sposób rozwiązania problemu w oparciu o badania modelowe, symulacyjne, stanowiskowe oraz w warunkach rzeczywistych pozwoliło Doktorantowi na wyciągnięcie ciekawych i istotnych wniosków o charakterze eksperymentalnym i poznawczym. Zaprezentowany wysoki poziom przygotowania naukowego Doktoranta pozwolił mu na swobodne poruszanie się w obszarze analizowanej problematyki.

Ujęte wszelkie uwagi krytyczne w przedmiotowej recenzji nie mają wpływu na obniżenie oceny rozprawy. Uwagi te mogą być przydatne w dalszym rozwoju naukowym jeśli będzie on realizowany przez Doktoranta. W przedstawionej rozprawie doktorskiej do opinii Doktorant zaprezentował, iż posiada wszelką wiedzę teoretyczną w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz wykazał się umiejętnościami samodzielnego prowadzenia pracy badawczej.

Przedmiot rozprawy doktorskiej jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w przemyśle miedziowym.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Mateusza Szczerbakowicza pt.: *„Projektowanie zbiorników retencyjnych stosowanych w ciągłym systemie transportowym kopalni Rudna z wykorzystaniem nowoczesnych metod numerycznych”* spełnia wymogi stawiane w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2022. Poz. 574 z późn. zm).

Na tej podstawie wnoszę wniosek do Wysokiej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki o dopuszczenie mgr inż. Mateusza Szczerbakowicza do publicznej dyskusji nad tematem rozprawy.

David Sworszczak