

Katowice, 18.12.2023 r.

Dr hab. inż. Andrzej Pytlik, prof. instytutu  
Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy  
Zakład Badań Mechanicznych i Inżynierii Materiałowej  
Plac Gwarków 1,  
40-166 Katowice

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**autorstwa mgr. inż. Mateusza Szczerbakowicza**  
**pt. „Projektowanie zbiorników retencyjnych stosowanych w ciągłym systemie**  
**transportowym kopalni Rudna z wykorzystaniem nowoczesnych metod numerycznych”**

### 1. Podstawa formalna recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana w oparciu o nadesłany egzemplarz rozprawy doktorskiej przez Zastępcę Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, Pana dr. hab. inż. Bartosza Zajączkowskiego, prof. Politechniki Wrocławskiej. Podstawą do jej opracowania jest §1 ust. 11, §19 ust. 5 w zw. z §7 ust. 1 Regulaminu nadawania stopni naukowych na Politechnice Wrocławskiej (tj. Uchwała nr 487/35/2020-2024 Senatu PWr z dnia 22 czerwca 2023 oraz na podstawie Uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka z dnia 18 października 2023 r.).

### 2. Ocena ogólna pracy

Na podstawie przeprowadzonego przez Autora rozprawy doktorskiej przeglądu literatury dotyczącej zbiorników retencyjnych stosowanych w Zakładach Górniczych KGHM Polska Miedź S.A. oraz osobistych doświadczeń z ich stosowania w ciągłym systemie transportowym Zakładów Górniczych „Rudna”, jak również na podstawie badań własnych, Doktorant stwierdził, że w obecnie użytkowanych zbiornikach retencyjnych obserwuje się pewne problemy techniczne. Główne ich źródło wynika ze zmiany geometrii konstrukcji zbiornika powstałej pod wpływem nacisku masy zgromadzonego w nim urobku. Może to doprowadzić do trwałego uszkodzenia konstrukcji zbiornika i zatrzymania jego pracy. Doktorant słusznie zauważył, że istotnym problemem są także zatory kosza zsykowego i w wózku podawacza, które niejednokrotnie powodują dłuższy postój w pracy urządzenia, a usunięcie awarii jest czynnością niebezpieczną dla pracowników obsługujących tego typu urządzenia. Długotrwała praca w trudnych warunkach eksploatacyjnych oraz ciągłe przemieszczanie się urobku powoduje szereg problemów związanych z wycieraniem elementów konstrukcyjnych (okładzin), które w skrajnym przypadku w wyniku oderwania mogą zablokować kosz zsykowy, bądź także spowodować uszkodzenie taśmy przenośnika. Spadające ze znacznej wysokości

bryły urobku, uderzając w odsłonięty górotwór, powodują powstawanie ubytków, a następnie wnęk i kawern o znacznej objętości, co w konsekwencji może doprowadzić do utraty stateczności ścian zbiornika.

Zgadzam się z przedstawionymi przez Doktoranta argumentami, że pomoc w rozwiązaniu tych problemów mogą stanowić zintegrowane metody elementów dyskretnych i elementów skończonych, pozwalające na przeprowadzenia zaawansowanych analiz stanu naprężenia elementów zbiorników retencyjnych.

Zasadniczym celem pracy 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 obciążeń. Dotychczasowa wiedza w tym obszarze nie dostarczała informacji na temat zakresu wartości obciążeń jakie należy przyjmować dla projektowania tego typu konstrukcji”.

Rozprawa doktorska przedstawiona do recenzji w wersji papierowej składa się z 92 stron i podzielona jest na dwanaście rozdziałów oraz spis: literatury (63 pozycje), rysunków (85 pozycji) i tabel (20 pozycji). Układ pracy jest logiczny i czytelny, typowy dla prac naukowych i badawczych, a sposób jej wydania i edycji jest bardzo staranny. Jakość elementów graficznych zawartych w pracy oceniam bardzo wysoko, rysunki wykonane są starannie i przejrzysto, a literatura cytowana jest właściwie dobrana. Układ pracy zawiera jej streszczenie, a następnie: wprowadzenie oraz charakterystykę zbiorników retencyjnych w Zakładów Górniczych „Rudna” (rozdział 1 i 2), analizę awaryjności zbiorników retencyjnych (rozdział 3), definicje problemu i uzasadnienie wyboru tematu pracy (rozdział 4) oraz cel pracy (rozdział 5). W kolejnych rozdziałach zawarto część doświadczalną: przygotowanie eksperymentów numerycznych (rozdział 6), badania eksperymentalne szuflady podajnika (rozdział 7), walidację opracowanego modelu numerycznego (rozdział 8), badania modelowe (rozdział 9) oraz analizę stanu naprężeń i odkształceń z wykorzystaniem MES dla obecnej i proponowanej konstrukcji – sprzężenie DEM i MES (rozdział 10). W końcowych dwóch rozdziałach rozprawy Doktorant przedstawił zalecenia i wytyczne projektowania zbiorników retencyjnych stosowanych w KGHM Polska Miedź S.A. (rozdział 11) oraz wnioski (rozdział 12).

Na wysoką ocenę zasługuje przeprowadzenie przez Doktoranta głębokiej analizy problematyki związanej z projektowaniem i eksploatacją zbiorników retencyjnych. Duże znaczenie praktyczne ma przeprowadzona przez Doktoranta analiza awaryjności aż 15 zbiorników retencyjnych zlokalizowanych w sześciu oddziałach wydobywczych oraz analiza jakościowa i ilościowa stwierdzonych awarii. Wszystko zostało bardzo dobrze udokumentowane w postaci tabel, wykresów i zdjęć. Analiza uszkodzeń wykazała, że elementami najbardziej narażonymi na zużycie są wykładziny oraz uszczelnienia pionowe. Na szczególną uwagę zasługuje podjęcie się przez Doktoranta wypełnienia pewnej luki badawczej dotyczącej wartości i rozkładu sił pochodzących od masy urobku działających na elementy konstrukcyjne zbiornika, a szczególnie dozownika. W związku z tym, że dotychczas nie wypracowano narzędzi pozwalających na określenie sił działających na dozownik, Doktorant podjął się również

trudnego zadania opracowania rozwiązania konstrukcyjnego pozwalającego na przeprowadzenie tych pomiarów. Dzięki pomiarom tensometrycznym zestawu kołowego, wykalibrowanego podczas badań laboratoryjnych, a następnie badań in situ, wyznaczył rzeczywiste siły działające na dozownik. Opracowany przez Doktoranta system pomiarowy dostarczył nieznanych dotąd danych pomiarowych dotyczących obciążenia konstrukcji dozownika, które posłużyły również do walidacji modelu numerycznego. Wysoko oceniam również przeprowadzone przez Doktoranta badania modelowe oraz weryfikację wybranego modelu. Wielu cennych, praktycznych danych dostarcza również przeprowadzona przez Doktoranta ocena zużycia ściernego dla strefy wylotu z dozownika, za pomocą modelu Archarda. Ważnym elementem oceny i wkładem do modelu są cykliczne pomiary grubości wykładki szuflady wykonanej z blachy stalowej (stal S235) w 70 punktach. Jedną z największych zalet recenzowanej pracy jest użycie przez Doktoranta analizy stanu naprężeń i odkształceń z wykorzystaniem MES dla obecnej i proponowanej konstrukcji, z wykorzystaniem sprzężenia DEM i MES. Doktorant przeprowadził tę analizę dla dwóch różnych środowisk: EDEM+SIMSOLID oraz EDEM+ANSYS. Pozwoliło mu to na porównanie wyników z obydwu symulacji oraz na wyznaczenie kierunków optymalizacji konstrukcji przy pomocy MES. Ważnym osiągnięciem praktycznym są również opracowane przez Doktoranta zalecenia i wytyczne projektowania zbiorników retencyjnych stosowanych w transporcie rud miedzi w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A.

Uważam, że przedstawiona problematyka ma duże znaczenie nie tylko dla Zakładów Górniczych KGHM Polska Miedź S.A., ale również dla górnictwa i warta jest dalszego rozwijania. Podjęcie przez Doktoranta tematyki projektowania zbiorników retencyjnych stosowanych w ciągłym systemie transportowym kopalni Rudna było celowe i przemyślane, a tematyka rozprawy jest moim zdaniem w pełni uzasadniona. Z informacji zawartych na pierwszych stronach rozprawy doktorskiej wynika również, że: "Realizacja rozprawy doktorskiej była wspierana przez program "Doktorat wdrożeniowy" finansowany przez Ministerstwo Edukacji i Nauki, edycja III". Wszystko to podkreśla nie tylko naukowy, ale i użyteczny charakter pracy.

### 3. Uwagi do pracy

Autor nie ustrzegł się drobnych błędów bądź niejasności rodzących następujące uwagi i pytania dyskusyjne:

- 1) W rozdziale 7.1 Doktorant podał, że zgodnie z dotychczasową praktyką inżynierską oszacowano, że szuflada dozownika obciążana jest maksymalnie siłą skupioną rzędu 500 kN. W rozdziale 7.3 przedstawiona została kalibracja wstępna tensometrycznego układu pomiarowego zainstalowanego na podporach zestawu kołowego. W mojej ocenie użyto do tej kalibracji zbyt małego obciążenia próbnego w postaci stalowych obciążników o masie łącznej około 190 kg (co odpowiada sile o wartości ok. 1,86 kN) porównywalnej tylko z samą masą zestawu kołowego o wartości ok. 128 kg. Doktorant przeprowadził natomiast analizę numeryczną wyężenia zestawu kołowego przy obciążeniu siłą skupioną o wielkości 50 kN w punkcie podparcia ramion szuflady.

W przyszłych pracach badawczych sugerowałbym przeprowadzenie kalibracji urządzeń pomiarowych w całym zakresie pomiarowym spodziewanych sił działających na badany układ. Pozwoli to na zmniejszenie niepewności pomiaru i pozwoli na uchwycenie ewentualnych nieliniowości układu pomiarowego w całym zakresie pomiarowym.

- 2) W tabeli 9. „Ustawienia symulacji w programie EDEM” zauważyłem błędne wartości modułu Younga dla rudy, stali i taśmy przenośnikowej oraz współczynnika Poissona dla taśmy przenośnikowej. Są one niespójne z prawidłowymi parametrami przedstawionymi wcześniej w tabeli 5. „Przyjęte parametry rudy, stali i gumy taśmy przenośnikowej”. Proszę o poprawienie tych błędów w przyszłych publikacjach.
- 3) Z czego wynikają tak duże różnice w obliczonych przez Doktoranta maksymalnych naprężeniach elementów dozownika, wykonanych ze stali o minimalnej granicy plastyczności 235 MPa, przedstawione w dwóch tabelach:
  - tabela 18: 262 MPa (dozownik pierwotny) i 257 MPa (konstrukcja opracowana),
  - tabela 19: 2394,2 MPa (dozownik pierwotny) i 2054,7 MPa (konstrukcja opracowana).

Czy podczas obliczeń Doktorant wziął pod uwagę model liniowy materiału stali, czy użył modelu nieliniowego?

Przedstawione powyżej uwagi i komentarze nie umniejszają mojej wysokiej oceny recenzowanej pracy. Podjęcie tematu badań w rozprawie było uzasadnione jego dużym znaczeniem poznawczym i utylitarnym, a uzyskane wyniki w pełni odpowiadają postawionemu celowi badawczemu.

#### 4. Wniosek końcowy

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Mateusza Szczerbakowicza odpowiada warunkom określonym w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r., poz. 742), gdyż:

- 1) prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w zakresie dyscypliny naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, a Doktorant potwierdził w niej umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.
- 2) Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a zaprezentowane przez niego rozwiązania konstrukcyjne mogą być zastosowane w górnictwie.

Praca poszerza wiedzę w zakresie projektowania zbiorników retencyjnych stosowanych w ciągłym systemie transportowym kopalni. Sposób rozwiązania problemów naukowych i badawczych świadczy o bardzo dobrym opanowaniu wiedzy przez Doktoranta.

Mając na względzie powyższe przesłanki wnoszę do Wysokiej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie mgr. inż. Mateusza Szczerbakowicza do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

*Andrzej Ryzliński*