

Prof. dr hab. inż. Jarosław Zawadzki
Zespół Statystyki i Badań Zdalnych Środowiska
Zakład Informatyki i Badań Jakości Środowiska
Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska
Ul. Nowowiejska 20
00-653 Warszawa

Warszawa, dnia 8 marca 2023

Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Doroty Palki p.t.

„Zastosowanie badań modelowych do analizy stanu zagrożenia metanowego w procesie produkcji górniczej”

Podstawa opracowania

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna na Politechnice Śląskiej z dnia 15 lutego 2023r., zgodnie z uchwałą tej Rady z dnia 15 lutego 2023r.

Tytuł rozprawy

Tytuł rozprawy nie budzi moich zastrzeżeń i w pełni odpowiada treści rozprawy

Układ rozprawy

Oceniana rozprawa mgr inż. Doroty Palki została napisana z zachowaniem standardowego układu, jaki się stosuje w pracach doktorskich. Rozprawa jest starannie napisana pod względem językowym i edytorskim. Rozprawa doktorska składa się 8. rozdziałów. Pierwszy rozdział zawiera wprowadzenie, drugi uzasadnienie celowości podjęcia tematu, trzeci cele i zakres pracy. Rozdziały od czwartego do ósmego stanowiące zasadniczą część pracy zatytułowano kolejno „Charakterystyka badań modelowych”, „Charakterystyka procesu podziemnej produkcji węgla kamiennego i występujących w trakcie jego realizacji zagrożeń naturalnych”, „Metodyka oceny zagrożenia metanowego w procesie produkcji górniczej”, „Zastosowanie badań modelowych do oceny zagrożenia metanowego w procesie produkcji”, „Podsumowanie i wnioski końcowe oraz kierunki dalszych badań”. Rozdziały czwartego do siódmego składają się odpowiednio z 4, 3, 6 oraz 5 podrozdziałów. Ponadto w pracy znajdują się dodatkowo: podziękowania, streszczenia w języku polskim i angielskim, bibliografia, spis rysunków oraz spis tabel. Bibliografia obejmuje (zgodnie ze

spisem) aż 355 pozycji literaturowych (strony 207-225) z czego w zdecydowanej części to uznane pozycje polskojęzyczne oraz anglojęzyczne. Na podkreślenie zasługuje fakt, że zdecydowana większość pozycji pochodzi z lat po 2000r., zaś prace starsze to uznane i istotne w swojej dziedzinie pozycje.

Całość zagadnienia została opracowana na 231. stronach. W pracy zamieszczono, według moich wyliczeń, 118 rysunków oraz 50 tabeli. Praca została wykonana na Wydziale Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej pod kierownictwem dr hab. inż. Jarosława Brodnego, prof. uczelni. Tematyka pracy pozostaje w ścisłym związku z prowadzonymi przez Niego pracami naukowymi. Praca była realizowana m.in. w ramach projektu badawczego nr PBS3/B6/25/2015 „Zastosowanie metody ogólnej efektywności urządzeń do poprawy efektywności pracy zmechanizowanych kompleksów ścianowych w procesie eksploatacji węgla”, realizowanego w latach 2015–2018 i finansowanego przez NCBiR.

Cel pracy

Głównym celem naukowym (poznawczym) pracy było, wg. autorki rozprawy, opracowanie metodyki opartej na badaniach modelowych i wynikach pomiarów w warunkach rzeczywistych wyznaczania niebezpiecznych, z punktu widzenia zagrożenia metanowego, stref w wyrobiskach górniczych, w rejonie prowadzonej produkcji węgla.

Autorka sformułowała też następujące cele szczegółowe:

1. opracowanie metody pozyskiwania danych o parametrach wentylacyjnych i wytrzymałościowych skał w rejonie prowadzonej eksploatacji,
2. opracowanie modelu strukturalnego rejonu eksploatacji górniczej do wyznaczania rozkładów stężeń metanu oraz innych składników atmosfery kopalnianej w tym rejonie,
3. uwzględnienie w opracowanym modelu zrobów zawałowych, jako ośrodka porowatego i przepuszczalnego,
4. określenie wpływu pomocniczych urządzeń wentylacyjnych na rozkład stężenia metanu w badanym rejonie,
5. wyznaczenie wpływu zmienności parametrów wentylacyjnych, wynikających np. ze zmiany wydajności eksploatacji na rozkład stężenia metanu w badanym rejonie.

Dodatkowo Autorka rozprawy zdefiniowała cel użyteczny, którym było opracowanie wytycznych dla poprawy stanu bezpieczeństwa metanowego w procesie produkcji górniczej oraz wynikającej z tego poprawy efektywności tego procesu. Dodatkowym celem użytecznym pracy było także wskazanie możliwości zastosowania opracowanej metodyki do badania innych zjawisk związanych z poprawą bezpieczeństwa w procesie podziemnej eksploatacji górniczej.

Zastosowane metody badawcze

Rozwiązanie postawionego zadania naukowego oparto o analizę produkcji górniczej i występujących w nim problemów związanych z zagrożeniem metanowym wykonaną zgodnie z zasadami Systematycznego Przeglądu Literatury opisanym w podrozdziale 4.2, (rysunek 4.1). Efektem tych działań, uwzględniających także doświadczenie własne Autorki, były identyfikacja luki badawczej, sformułowanie problemu badawczego oraz celów pracy, a także wybór metody modelowania badanego procesu. W pierwszej kolejności Autorka opracowała metodę pozyskiwania rzeczywistych danych pozwalających wyznaczyć parametry wentylacyjne i wytrzymałościowe skał w rejonie prowadzonej eksploatacji. Następnie, opracowała metodę pozyskiwania danych wentylacyjnych i geometrycznych badanego rejonu oraz górniczo-geologicznych niezbędnych do wyznaczenia przepuszczalności zrobów zawałowych, a także informacji o prognozowanej wydajności urabiania i zastosowanym systemie przewietrzania badanej ściany. Ważnym etapem opracowanej metodyki było również opracowanie metody wyznaczania przepuszczalności zrobów zawałowych, ze względu na ich istotny wpływ na procesy wentylacyjne w kopalniach, a zatem na kształtowanie się zagrożenia metanowego w kopalni. Zasadniczą część pracy jaką wykonała Doktorantka, stanowiły jednak badania modelowe do oceny stanu zagrożenia metanowego realizowane z wykorzystaniem metody objętości skończonych (ang. Finite Volume Method, FVM), należącej do obliczeniowej mechaniki płynów (ang. Computational Fluid Dynamics - CFD), która nadaje się do opisu zjawisk wentylacyjnych zachodzących w wyrobiskach górniczych. Do badań wykorzystano komercyjny program ANSYS Fluent firmy ANSYS Inc.

Omówienie wyników badań

Podstawą metodyki badań modelowych, opisanych szczegółowo w najdłuższym w pracy rozdziale siódmym (61 stron), mających na celu wyznaczenie rozkładów stężeń metanu w rejonie prowadzonej podziemnej eksploatacji górniczej w pewnej kopalni węgla kamiennego był model strukturalny badanego rejonu opracowany na podstawie pomiarów rzeczywistych

parametrów geometrycznych i wentylacyjnych oraz górnico-geologicznych tego rejonu. W rozdziale tym szczegółowo scharakteryzowano badany rejon rzeczywistej eksploatacji z uwzględnieniem istotnych jego parametrów geomechanicznych, wentylacyjnych i geometrycznych. Na tej podstawie uzyskano model strukturalny, który następnie poddano badaniom weryfikującym i walidacyjnym. Uzyskane i przedstawione w tym rozdziale wyniki potwierdziły, że opracowana metodyka i model dają możliwość zadowalającego odwzorowania badanego rejonu eksploatacji górniczej i istniejących w nim stanów wentylacyjnych.

Wyniki badań weryfikujących, mające na celu ocenę możliwości opracowanego modelu w zakresie diagnozowania stopnia zagrożenia metanowego oraz wskazanie jego ograniczeń i ewentualnych błędów, potwierdziły poprawność przyjętych procedur oraz uzyskiwanych wyników. Następnie, wykorzystując wyniki pomiarów w warunkach rzeczywistych dokonano walidacji modelu oraz całości opracowanej metodyki badawczej. Badania weryfikacyjne i walidacyjne potwierdziły zarówno prawidłowość przyjętych założeń dotyczących modelu badanego zjawiska, jak i dobrą zgodność uzyskanych wyników badań modelowych z wartościami uzyskiwanymi z pomiarów w warunkach rzeczywistych. Proces walidacji dotyczył wartości stężeń metanu oraz tlenu, a także prędkości przepływu powietrza, które wyznaczono na podstawie badań modelowych i pomiarów w warunkach rzeczywistych, w punktach montażu czujników. W celu właściwej walidacji zastosowano czujniki pomiarowe, rozmieszczone w ścianie eksploatacyjnej w sposób ściśle określony przez odpowiednie akty prawne (sposób ich rozmieszczenia pokazano na rysunku 7.23). Dodatkowo wyznaczono rozkłady tych parametrów w wybranych obszarach badanego rejonu. Ma to szczególnie istotne znaczenie, w przypadku wyznaczanych rozkładów przestrzennych stężeń metanu w badanym rejonie. Uzyskane wyniki modelowe mogą bowiem stanowić istotną przesłankę do podejmowania działań, w celu poprawy stanu zagrożenia metanowego w badanym rejonie eksploatacji, którego miarą są wartości stężeń metanu.

Opracowany model odzwierciedlał rzeczywisty rejon eksploatacji górniczej, który był opisany w podrozdziale 7.1 i uwzględniał warunki występujące w trakcie tej eksploatacji. Model ten poddano analizie numerycznej, której celem było wyznaczenie rozkładów stężeń metanu oraz tlenu w badanych wyrobiskach, a także rozkładów prędkości przepływającego powietrza. Badania przeprowadzono dla pięciu różnych położzeń kombajnu w eksploatowanej ścianie, co miało odtwarzać rzeczywisty stan procesu urabiania górotworu. Wynikało to z potrzeby wyznaczenia miejsc wydzielania się metanu z urobku. Do analizy porównawczej wzięto wartości średnie stężeń metanu dla tych pięciu wariantów obliczeń. Również w tym przypadku uzyskane wyniki obejmowały rozkłady stężeń metanu oraz tlenu, a także prędkości

przepływu powietrza i stanowiły podstawę do przeprowadzenia analizy porównawczej z wynikami pomiarów w warunkach rzeczywistych. Uzyskane z badań modelowych wyniki porównano z wynikami uzyskanymi z pomiarów stężeń metanu w warunkach rzeczywistych. Pozyskane z przedsiębiorstwa górniczego dane obejmowały zarejestrowane wartości stężenia metanu w sześciu kolejnych dniach roboczych (na trzech zmianach wydobywczych w każdym dniu), z sześciu czujników zlokalizowanych w obszarze badanej ściany eksploatacyjnej, zgodnie z ich rozmieszczeniem przedstawionym na rysunku 7.23. Dane te podzielono na sześć zestawów (dla zmian roboczych w każdej dobie) dla których wyznaczono podstawowe parametry statystyczne takie jak średnią wartość zarejestrowanych stężeń metanu, maksymalną i minimalną wartość tych stężeń, odchylenie standardowe oraz kurtozę. Przykładowo, pierwszy zestaw danych pomiarowych obejmował łącznie 53429 rekordów zarejestrowanych w ciągu 18 godzin (jeden dzień roboczy). Analizując uzyskane wyniki walidacji można stwierdzić, że zanotowane różnice między danymi z modelu i z pomiarów są na akceptowalnym poziomie, a maksymalna różnica między nimi wyniosła 6,67% dla czujnika znajdującego się na wlocie do ściany eksploatacyjnej.

Drugi zestaw danych pomiarowych obejmował 59 766 pomiarów zarejestrowanych w trakcie 18 godzin pracy ściany eksploatacyjnej w kolejnym dniu pracy. Również w tym przypadku zestawienie wyników pomiarów wartości rzeczywistych stężeń metanu a wynikami modelowymi badań wykazało dobrą zgodność. Największe różnice wystąpiły dla pierwszego i piątego czujnika, ale były na akceptowalnym poziomie i nie przekraczały 7%.

Podobne zestawy danych pomiarowych obejmowały pomiary zarejestrowane w trakcie 18 godzin pracy ściany w kolejnych 4 dniach jej eksploatacji. Otrzymano również podobną dokładność walidacji. Uzyskane wyniki wskazywały, że dla badanych zestawów danych pomiarowych uzyskano różne wartości stężeń metanu w poszczególnych punktach pomiarowych, ale w żadnym z badanych przypadków stężenia te, w tych punktach nie przekroczyły wartości granicznych ujętych w stosownych aktach prawnych.

Podobnie niewielkie różnice, wyrażone błędem względnym, uzyskano dla wartości stężeń tlenu uzyskanych z badań modelowych oraz z pomiarów w warunkach rzeczywistych w badanych punktach kontrolnych oraz na wlocie i wylocie wyrobiska ścianowego. Autorka przeprowadziła również porównanie, wyznaczonych w badaniach modelowych oraz na podstawie pomiarów w warunkach rzeczywistych wartości prędkości przepływu powietrza za pomocą anemometrów zamontowanych na wlocie i wylocie wyrobiska ścianowego, zgodnie z ich rozmieszczeniem przedstawionym na rysunku 7.23.

Na zakończenie Autorka przeprowadziła porównanie wyników badań modelowych z wynikami pomiarów w warunkach rzeczywistych stężeń metanu w wybranych punktach pomiarowych dla całości danych pomiarowych tzn., bez ich podziału na poszczególne dni robocze. W tym wypadku również uzyskano zadawalającą zgodność. Zestawienie wyznaczonych na podstawie badań modelowych oraz pomiarów w warunkach rzeczywistych wartości stężeń metanu w badanych punktach wykazało, że względne różnice między nimi nie przekroczyły 3%. Największą zgodność danych rzeczywistych oraz wyników z badań modelowych uzyskano dla metanomierza zlokalizowanego na wlocie do rejonu ściany, gdzie rejestrowane były najniższe wartości stężeń metanu oraz obserwowana była najmniejsza zmienność rejestrowanych wyników, zaś najmniejszą zgodność uzyskano dla czujnika zlokalizowanego na wylocie ze ściany eksploatacyjnej (czujnik ten rejestrował najwyższe wartości stężeń metanu).

Elementy nowości naukowej rozprawy doktorskiej

W świetle powyższego najważniejszymi elementami nowości naukowej recenzowanej rozprawy doktorskiej są:

1. Opracowanie metody wyznaczania przepuszczalności zrobów zawałowych, traktowanych jak ośrodek przepuszczalny mający duży wpływ na procesy wentylacyjne w kopalniach, a zatem na kształtowanie się zagrożenia metanowego w kopalni,
2. Opracowanie zaawansowanego modelu do badania zagrożenia metanowego w procesie produkcji górniczej z wykorzystaniem metody objętości skończonych należącej do obliczeniowej mechaniki płynów, z wykorzystaniem programu ANSYS Fluent,
3. Szczegółowe badania modelowe rozkładów przestrzennych stężeń metanu, tlenu a także prędkości przepływu powietrza w rejonie prowadzonej eksploatacji,
4. Wielowariantowa analiza porównawcza stężeń metanu otrzymanych drogą badań modelowych z wynikami pomiarów w warunkach rzeczywistych w wybranych punktach pomiarowych w rejonie prowadzonej eksploatacji węgla.

Praktyczne zastosowania uzyskanych wyników badań

Produkcja węgla jest procesem, który ze względu na złożone warunki środowiskowe niesie różnorakie zagrożenia, z których szczególnie niebezpieczne jest zagrożenie metanowe. Opracowana metodyka wyznaczania stref o podwyższonym stężeniu metanu w wyrobiskach górniczych i zrobach zawałowych ścian eksploatacyjnych może zostać szeroko wykorzystana do planowania i prowadzenia profilaktyki metanowej. Metodyka ta wydatnie ułatwia wyznaczanie przestrzennych rozkładów stężeń metanu oraz innych gazów oraz prędkości powietrza w rejonie prowadzonej eksploatacji z uwzględnieniem stosowanych systemów wentylacyjnych oraz zrobów jako ośrodka przepuszczalnego. W związku z tym może stanowić uzupełnienie badań opartych o pomiary w warunkach rzeczywistych, pozwalając symulować atmosferę w rejonie prowadzonej eksploatacji w oparciu o model strukturalny danego rejonu, z uwzględnieniem zjawisk przepływowych, szczególnie tam gdzie wykonywanie pomiarów jest utrudnione lub wręcz niemożliwe. Szczegółowe wnioski o charakterze użytkowym zostały sformułowane na stronach 203 i 204.

Uwagi ogólne do pracy

Uzasadnienie podjęcie tematu pracy, jej cel i zakres zostały przedstawione w sposób przekonujący i zrozumiały. Wpływ zagrożenia metanowego na bezpieczeństwo i efektywność procesu produkcji górniczej, która ma ogromne znaczenie gospodarcze oraz społeczne jest bezdyskusyjny, zaś zastosowanie badań modelowych, a w szczególności metody objętości skończonych do analizy stanu zagrożenia metanowego jest ważnym i nowatorskim zagadnieniem wartym podjęcia w pracy doktorskiej, w obszarze badań ujętych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna w zakresie inżynierii produkcji. Należy się zgodzić z Autorką, że podjęta tematyka jest wieloaspektowa i podkreślić, że liczne zagadnienia podejmowane w pracy zostały przez nią systematycznie omówione. Część teoretyczna pracy (rozdziały 1-5 i częściowo rozdział 6) jest bardzo dokładna, przemyślana i przejrzysta. Wyróżnia się się niezwykłą starannością i odpowiednim doбором tematycznym. Część teoretyczną czytałem z wielką przyjemnością, gdyż dowodziła ona rozległej i głębokiej wiedzy Autorki. Obejmuje ona m.in. charakterystykę badań modelowych (rozdział 4.), charakterystykę procesu podziemnej produkcji węgla kamiennego i występujących w trakcie jego realizacji zagrożeń naturalnych (rozdział 5.), metodykę oceny zagrożenia metanowego w procesie podziemnej produkcji górniczej (rozdział 6.). W tym ostatnim rozdziale Autorka opisała zastosowane metody i

stosowane narzędzie badawcze. Rozprawa jest pisana bardzo dobrą polszczyzną. Usterki językowe, zdarzały się, były raczej sporadyczne i nie są istotne dla omawianych w rozprawie zagadnień. Część teoretyczna rozprawy doktorskiej w połączeniu z rozległą bibliografią jest w istocie przemyślanym i rozległym wprowadzeniem do zastosowań badań modelowych w procesie produkcji węgla i związanych z nimi zagadnień, mogącym stanowić materiał na podręcznik. Oceniam to, mimo zdarzających się powtórzeń tematycznych, jako zaletę rozprawy, która jest przystępna dla dużego grona czytelników.

Rozdziały 6. i 7. zatytułowane odpowiednio "Metodyka oceny zagrożenia metanowego w procesie podziemnej produkcji górniczej" oraz "Zastosowanie badań modelowych do oceny zagrożenia metanowego w procesie produkcji górniczej" zawierają główną, badawczą część pracy doktorskiej. Zostały one opisane powyżej. Tę część pracy również oceniam bardzo wysoko, ponieważ Doktorantka bardzo umiejętnie połączyła wiedzę specjalistyczną dotyczącą modelowania metodą objętości skończonych z wiedzę z zakresu zagrożenia metanowego podczas wydobywania węgla kamiennego osiągając wyniki niedostępne nawet dla specjalistów z każdej z tych dziedzin, z osobna. Wykazała ponadto ponadprzeciętną staranność na każdym etapie tworzenia modelu, jego weryfikacji i walidacji. Wyniki wielowariantowych badań weryfikujących i walidacyjnych potwierdziły poprawność przyjętych procedur oraz dobrą jakość uzyskiwanych wyników modelowych. Na podkreślenie zasługuje również, że ważnym etapem pracy było także opracowanie metody pozyskiwania danych o parametrach wentylacyjnych, geometrycznych oraz warunkach górniczo-geologicznych.

Uzyskane przez doktorantkę wyniki wskazują na szerokie możliwości zastosowania badań modelowych do oceny zagrożenia metanowego, nie tylko do diagnozy stanu zagrożenia metanowego, ale także (w ograniczonym zakresie) do prognozowania tych stanów. Należy również podkreślić, że Doktorantka wykazała się dużymi umiejętnościami i talentem w prowadzeniu trudnych badań modelowych i planowaniu eksperymentu w warunkach kopalnianych.

Uwagi krytyczne i dyskusyjne

W rozdziale 6. Autorka opisuje m.in. dodatkowy człon źródłowy opisany równaniem (6.16) modyfikujący równanie pędu dane równaniem (6.10). Modyfikacja ta jest spowodowana przepływem gazów przez ośrodek porowaty, w tym przypadku zroby zawałowe). Autorka powołuje się przy tym na możliwość uwzględnienia w opracowywanym modelu przepływu przez ośrodek przepuszczalny (porowaty) w programie ANSYS, a nawet przytacza odpowiedni widok okna programu do ustawiania parametrów dla ośrodka przepuszczalnego i porowatego

w tym programie, oraz powołuje się na pozycję [201] z bibliografii. Tym niemniej ten fragment pracy, w tym opis równania (6.16) jest dość zwięzły, w odróżnieniu od innych części pracy, w szczególności dlatego, że jest to jeden z zasadniczych fragmentów rozprawy, związany z modelem fizycznym badanego zjawiska. Warto byłoby bardziej uczynić go bardziej szczegółowym, nawet kosztem innych mniej istotnych fragmentów rozprawy. Przykładowo, nie jest np. oczywiste, jaką wartość oporu bezwładnościowego C_2 przyjęła Autorka do modelu.

Podobną uwagę mam również do ostatniego zdania podsumowującego podrozdział 6.3. zatytułowanego „Metoda wyznaczania przepuszczalności zrobów zawałowych”. Choć sam podrozdział uważam za dobrze napisany, szczegółowo wyjaśniający złożone zagadnienia związane z wyznaczaniem przepuszczalności zrobów zawałowych (przepuszczalność zrobów zmienia się wraz z odległością od frontu ściany), to jednak brakuje mi dokładniejszej informacji w jaki sposób autorka skorzystała z zależności (6.2) i (6.3) przy wyznaczaniu przepuszczalności zrobów zawałowych za frontem ściany, oraz jakie wartości parametrów (np. R_r - oporu rozwarstwienia skał stropowych tworzących zawał) występujących w równaniach (6.1)-(6.6) Autorka zastosowała podczas budowy modelu. Ogólne zdanie podsumowujące tego nie wyjaśnia.

Choć można zrozumieć, że Autorka skupiła się na zaletach opracowanego modelu, uniwersalności opracowanej metodyki i możliwości zastosowania uzyskanych wyników w celu zmniejszenia zagrożenia metanowego w kopalniach, to w moim zdaniem, w pracy należało również wyraźniej określić ograniczenia zaproponowanej metodyki i możliwości jej stosowania.

Powyższe uwagi krytyczne i dyskusyjne nie mają jednak istotnego wpływu na wysoką wartość merytoryczną przedstawionej do recenzji rozprawy.

Wnioski końcowe

Na zakończenie tej części chciałbym stwierdzić, raz jeszcze, że recenzowana praca jest wyjątkowo staranna pod względem edytorskim i językowym. Usterki, jak na tak tak obszerną pracę są sporadyczne.

Praca posiada bardzo duże walory poznawcze, podejmuje ważne i aktualne badania o dużym stopniu trudności, prezentuje wysoki poziom naukowy, zawiera nowatorskie wyniki poparte dojrzałą dyskusją. Moim zdaniem stanowi wyjątkowo cenną pozycję z zakresu oceny stanu zagrożenia metanowego w górnictwie węgla kamiennego opartej na badaniach modelowych.

W świetle powyższych ustaleń stwierdzam, że przedłożona mi do oceny rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r.– Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018r., poz. 1669 z późn. zm.). Upoważnia mnie to do przedłożenia wniosku Radzie Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej o dopuszczenie pani mgr inż. Doroty Palki do dalszych etapów przewodu doktorskiego i publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Biorąc pod uwagę wysoki poziom rozprawy, oraz jej istotne znaczenie praktyczne stawiam również wniosek o jej wyróżnienie.

A handwritten signature in blue ink, reading "J. Zawadzki". The signature is written in a cursive, flowing style.

Warszawa, 8 marca 2023r.

Prof. dr hab. inż. Jarosław Zawadzki