

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Krawca pt. „Analiza wrażliwości numerycznego modelu procesu zapadliskowego na zmianę wartości parametrów fizyko – mechanicznych metodą zbiorów losowych w warunkach geologicznych i górniczych niecki bytomskiej”

1. Podstawa formalna recenzji

Recenzja przedmiotowej pracy doktorskiej opracowana została na podstawie zlecenia Dyrektora Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk w Krakowie z dnia 22.09.2014 r. realizującego Uchwałę nr 6/II/2014 Rady Naukowej Instytutu z dnia 17.09.2014 r.

2. Ocena celowości podjęcia badań

Przedstawiona do recenzji praca doktorska pt. „Analiza wrażliwości numerycznego modelu procesu zapadliskowego na zmianę wartości parametrów fizyko – mechanicznych metodą zbiorów losowych w warunkach geologicznych i górniczych niecki bytomskiej” dotyczy trudnego zagadnienia doboru wartości własności fizyko – mechanicznych górotworu do opisu zachodzących w nim zjawisk naprężeniowo – deformacyjnych. Zadanie podjęto na przykładzie procesów zapadliskowych występujących na terenach górniczych, głównie w obszarach prowadzenia eksploatacji na małej głębokości.

Rozwijające się metody i narzędzia projektowe pozwalają na coraz dokładniejsze obliczenia parametrów technicznych i technologicznych, jednak – z drugiej strony – wymagają stosowania coraz większej liczby danych opisujących warunki techniczne i środowiskowe. Błędne lub niedokładne przyjęcie danych do obliczeń może spowodować uzyskanie błędnych wyników i podważać celowość stosowania złożonych metod i narzędzi projektowania.

Górotwór jako ośrodek o zmiennej budowie geologicznej i zróżnicowanych własnościach fizyko – mechanicznych nawet w obrębie jednego wykształcenia litologicznego jest bardzo trudny do opisanego pojedynczymi wartościami poszczególnych parametrów. Trudności te

potęgowane są dodatkowo tym, że zachodzące w czasie procesy naturalne i górnice lokalnie zmieniają stan masywu powodując występowanie na niewielkiej przestrzeni stref skał w stanie pierwotnym oraz w różnym stopniu zniszczenia.

W deterministycznych modelach obliczeniowych wartości poszczególnych własności najczęściej przyjmuje się jako wartości średnie lub rzadziej jako tzw. wartości obliczeniowe (wzorem większości obliczeń stosowanych w budownictwie), których wyznaczenie poprzedzone jest analizą statystyczną gwarantującą utrzymanie przyjętego poziomu ufności. Takie rozwiązanie jednak nie gwarantuje w pełni osiągnięcia w miarę dokładnego rozwiązania, jak również nie daje informacji np. o wielkości popełnionego błędu, gdyż przyjęta do obliczeń kombinacja wartości danych wejściowych ma charakter losowy.

Podjęcie zatem przez Doktoranta problemu doboru wartości własności fizyko – mechanicznych górotworu ma olbrzymie znaczenie zarówno dla celów poznawczych – ocena wpływu zmienności danych wejściowych na parametry wynikowe obliczeń, jak i użytkarnych – podniesienie poziomu ufności obliczeń prognostycznych.

Biorąc powyższe pod uwagę należy stwierdzić, że podjęcie tematu jest jak najbardziej celowe, a wyniki badań oczekiwane zarówno przez ośrodki badawcze jak i przez praktykę.

3. Ogólne omówienie pracy

Przedstawiona do recenzji praca składa się z 167 ponumerowanych stron maszynopisu podzielonego na spis treści, 8 rozdziałów zawierających obok tekstu 18 tabel i 63 rysunki, spis literatury, załącznik A oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

Rozdział 1 pracy liczący około 3,5 strony stanowi wstęp, w którym Doktorant zasygnalizował temat pracy, scharakteryzował ogólnie przebieg jej realizacji oraz omówił jej zawartość.

Rozdział 2 liczący niespełna 2 strony zawiera cel, zakres i tezę pracy. Jako główny cel pracy Doktorant postawił sobie ocenę wpływu zmian wartości parametrów fizyko – mechanicznych modelu numerycznego na prawdopodobieństwo wystąpienia określonych wartości naprężenia pionowego i współczynnika rozporu bocznego oraz przemieszczenia pionowego w strefie rozwoju procesu zapadliskowego w warunkach geologiczno – górniczych niecki bytomskiej, na terenach płytkiej eksploatacji górniczej z wykorzystaniem metody zbiorów losowych. Dla jego realizacji określił zakres i tezę pracy. Sformułowana teza zakłada, że w ośrodku skalnym, silnie naruszonym procesami geologicznymi i działalnością górniczą, opisanym parametrami fizyko – mechanicznymi o dużej zmienności ich wartości, modelowanie numeryczne procesu zapadliskowego wymaga przeprowadzenia specjalnej analizy wrażliwości modelu numerycznego na zmiany wartości tych parametrów.

W tym celu zastosowanie metody zbiorów losowych umożliwia uzyskanie miarodajnych wyników symulacji numerycznej oraz określenie ryzyka rozwoju procesu zapadliskowego.

Rozdział 3 o objętości niespełna 40 stron zawiera przegląd dotychczasowych prac nad zagadnieniami przebiegu procesu zniszczenia górotworu w otoczeniu wyrobisk górniczych zlokalizowanych na małej głębokości oraz metodami teoretycznego opisu tego zagadnienia. Szczególnie zwrócono tu uwagę na takie kierunki, jak prace oparte o hipotezę naturalnego sklepienia ciśnień w stropie wyrobisk poziomych (m.in. Janusza i Jarosza, Chudka i Ołaszowskiego, Sachsa, Skinderowicza i Zakolskiego, Goszcza, Whittakera i Reddish), model zapadliska nad wyrobiskiem szybowym (Piopiołek i Pilecki, Healy i Head) oraz modele geofizyczne (Popiołek i Pilecki, Marczak).

Rozdział 4 o objętości 12,5 strony stanowi przegląd literaturowy metod modelowania numerycznego procesu nieciągłych deformacji górotworu, skupiając swą uwagę na zastosowane narzędzia (programy obliczeniowe). Największą uwagę zwrócono tu na prace własne Doktoranta, który wraz z promotorem opiniowanej pracy do symulacji procesu zapadliskowego wykorzystał model sprężysto – plastycznego zachowania się ciągłego ośrodka z kryterium wytrzymałościowym Hoeka – Browna. Model ten wykorzystany został w dalszej części pracy.

W rozdziale 5 liczącym 8 stron Doktorant przedstawił podstawy teoretyczne i przykłady zastosowania metody zbiorów losowych do rozwiązywania zadań geoinżynierskich, głównie do rozwiązywania zadań z zakresu tunelowania oraz stateczności skarp i zboczy.

Rozdział 6 o objętości 12 stron zawiera opis metody badawczej zastosowanej do postawionego w pracy zadania. Szczegółowo omówiono algorytm metody badania wrażliwości numerycznego modelu procesu zapadliskowego na zmianę wartości parametrów fizyko – mechanicznych metodą zbiorów losowych.

Rozdział 7 stanowi jedną z podstawowych części rozprawy. Na 61stronach Doktorant przedstawił dwa przykłady zastosowania opracowanej metody badania wrażliwości numerycznego modelu procesu zapadliskowego na zmianę wartości parametrów fizyko – mechanicznych metodą zbiorów losowych. Do analizy wybrano 2 rejony o zróżnicowanych warunkach geologiczno – inżynierskich zlokalizowane na terenie płytkiej eksploatacji złóż rud metali w niecce bytomskiej. Obszary te różniły się również stopniem zagrożenia deformacjami nieciągłymi. Doktorant w oparciu o badania własne oraz zebrane dane z 54 otworów badawczych określił przedziały zmienności wartości poszczególnych parametrów charakteryzujących górotwór oraz przeprowadził obliczenia symulacyjne. Jako podstawowe parametry wrażliwe na zmienność danych wejściowych uznano przemieszczenie pionowe, naprężenie pionowe oraz współczynnik rozporu bocznego (stosunek naprężenia poziomego do naprężenia pionowego). Dla każdego z rejonów do obliczeń wyspecyfikowano zbiory danych wejściowych liczących po 64 zestawy, dla których przeprowadzono obliczenia.

Wyniki zaprezentowano w postaci map rozkładów wartości analizowanych parametrów oraz wykresów wzdłuż dwóch przekrojów – pionowego i poziomego – zlokalizowanych nad pustką stanowiącą źródło zagrożenia deformacjami nieciągłymi. Dokonano również analizy uzyskanych wyników w aspekcie zagrożenia deformacjami nieciągłymi oraz wpływu zmienności poszczególnych danych wejściowych na wyniki obliczeń.

W rozdziale 8 na 4 stronach sformułowano stwierdzenia podsumowujące i wnioski końcowe. Podsumowanie zawiera stwierdzenia o kolejnych etapach rozwiązania zadania postawionego w pracy. Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano 12 wniosków, w których wskazano na zalety i ograniczenia proponowanego rozwiązania oraz podkreślono jego walory użyteczne. W zakończeniu stwierdzono, że teza pracy została udowodniona wykazując, że w ośrodku skalnym opisanym parametrami fizyko – mechanicznymi o dużej zmienności ich wartości, modelowanie numeryczne procesu zapadliskowego wymaga przeprowadzenia specjalnej analizy wrażliwości modelu numerycznego na zmiany wartości tych parametrów, a zastosowanie metody zbiorów losowych umożliwia uzyskanie miarodajnych wyników symulacji numerycznej oraz określenie ryzyka rozwoju procesu zapadliskowego.

Na końcu pracy zamieszczono spis literatury, załącznik A oraz streszczenia.

Spis literatury liczy 111 pozycji, z czego 44 w języku polskim oraz 67 w języku obcym i obejmuje podstawowe pozycje z zakresu tematu pracy. Załącznik A zawiera dokumentację wyznaczenia parametrów charakteryzujących górotwór w rejonach objętych analizą. Streszczenia odpowiadają treści pracy.

4. Ocena merytoryczna pracy

Recenzowana praca porusza bardzo ważny, zarówno z punktu poznawczego jak i użytecznego, problem dotyczący doboru wartości własności fizyko – mechanicznych skał budujących masyw. Problem ten często wiąże się dodatkowo ze zmianami jakościowymi zachodzącymi w górotworze tak pod wpływem procesów naturalnych jak i pod wpływem prowadzonej działalności górniczej. Dokładność określenia parametrów charakteryzujących górotwór, a w szczególności ich zmienność ma istotny wpływ na dokładność prognozy oraz ryzyko popełnienia w niej błędu. Dotychczas problem ten w odniesieniu do obliczeń prognostycznych nie znajdował większego zainteresowania w pracach badawczych. Biorąc powyższe pod uwagę, recenzowana praca doktorska jest oryginalnym opracowaniem Doktoranta, który podjął próbę znalezienia odpowiedzi na wiele pytań związanych z tym tematem.

Temat pracy obejmuje analizę wrażliwości numerycznego modelu procesu zapadliskowego na zmianę wartości parametrów fizyko – mechanicznych metodą zbiorów

losowych w warunkach geologicznych i górniczych niecki bytomskiej. Doktorant podjął temat, a do jego rozwiązania wykorzystał metody modelowania numerycznego i symulacji (metoda różnic skończonych, metoda zbiorów losowych), które pozwoliły na uzyskanie rozkładów wartości parametrów charakteryzujących proces degradacji górotworu i ryzyko wystąpienia deformacji nieciągłej na powierzchni. W ten sposób Doktorant wypełnił podstawowe założenia tematu pracy.

Celem recenzowanej dysertacji była ocena wpływu zmian wartości parametrów fizyko – mechanicznych modelu numerycznego na prawdopodobieństwo wystąpienia określonych wartości naprężenia pionowego i współczynnika rozporu bocznego oraz przemieszczenia pionowego w strefie rozwoju procesu zapadliskowego w warunkach geologiczno – górniczych niecki bytomskiej, na terenach płytkiej eksploatacji górniczej z wykorzystaniem metody zbiorów losowych. Cel ten został osiągnięty dzięki przeprowadzonym przez doktoranta obliczeniom numerycznym i weryfikacji ich wyników dla dwóch wybranych rejonów. Doktorant przeprowadził badania i obliczenia numeryczne, opracował wyniki oraz podjął próbę ich uogólnienia.

Praca składa się zasadniczo z dwóch części, a mianowicie części literaturowej i badawczej. W części pierwszej Doktorant dokonał przeglądu literatury dotyczącej mechanizmu tworzenia się i metod opisu deformacji nieciągłych powierzchni terenu, metod modelowania numerycznego procesu zapadliskowego oraz podstaw teoretycznych metody zbiorów losowych. Słusznie stwierdził, że badania nad poruszonymi w pracy problemami nie były dotychczas przedmiotem szerszego zainteresowania. W tej części pracy pewien niedosyt może budzić brak danych o dotychczasowych (nielicznych) badaniach nad zmiennością własności wytrzymałościowych i odkształceniowych górotworu.

Część badawczo – obliczeniowa (rozdz. 4.3, 6 i 7) stanowi najważniejszą część recenzowanej dysertacji, gdyż jest wynikiem pracy własnej Doktoranta.

Do rozwiązania postawionego zadania Doktorant zastosował głównie metody modelowania numerycznego przy wykorzystaniu programów komputerowych Roclab v.1.0 i FLAC 2D v.7.0. Badania przeprowadził przyjmując określone założenia zakresu zmienności gęstości objętościowej skał, wskaźnika RMR, wytrzymałości skał na jednoosiowe ściskanie, wytrzymałości skał na jednoosiowe rozciąganie, współczynnika Poissona, współczynnika m_i , warunku wytrzymałościowego Hoeka – Browna, spójności i kąta tarcia wewnętrznych skał. W oparciu o przeprowadzoną analizę istotności wymienione powyżej parametry podzielił na dwie grupy. Do parametrów o wysokiej istotności zaliczył gęstość objętościową skał, wskaźnik RMR i wytrzymałość skał na jednoosiowe ściskanie. Pozostałe parametry zaliczył do mniej istotnych.

Dane do obliczeń opracował w oparciu o zebrany materiał z 54 otworów badawczych wykonanych dla potrzeb działalności inwestycyjnej w analizowanych rejonach. Można zatem

stwierdzić, że pod względem jakościowym i ilościowym materiał badawczy dobrany został prawidłowo. Zebrane wyniki badań przedstawiono w formie opisowej i tabelarycznej. Ich prezentacja byłaby jednak bogatsza i bardziej przekonująca, gdyby w większym stopniu wykorzystano elementy analizy statystycznej (wartość średnia, wariancja, współczynnik zmienności itp.).

Dane przyjmowane do obliczeń Doktorant określał dwoma sposobami, a mianowicie z badań laboratoryjnych i polowych oraz metodą ekspercką. W oparciu o przeprowadzone obliczenia Doktorant poprawnie sformułował wnioski szczegółowe i ogólne.

Metody badawcze wykorzystane w pracy, według mojej oceny, dobrane zostały prawidłowo.

Postawiona w pracy teza została udowodniona, gdyż Doktorant wykazał, że w ośrodku skalnym, silnie naruszonym procesami geologicznymi i działalnością górnictwem, opisanym parametrami fizyko – mechanicznymi o dużej zmienności ich wartości, modelowanie numeryczne procesu zapadliskowego wymaga przeprowadzenia specjalnej analizy wrażliwości modelu numerycznego na zmiany wartości tych parametrów oraz że do tego celu można wykorzystać metodę zbiorów losowych.

Do największych osiągnięć recenzowanej dysertacji można zaliczyć:

- a) Identyfikację podstawowych parametrów modelu numerycznego decydujących o prawdopodobieństwie wystąpienia deformacji nieciągłej będącej skutkiem procesu niszczenia skał w otoczeniu pustki podziemnej,
- b) Opracowanie sposobu zebrania, opracowania i analizy wyników licznych badań laboratoryjnych i polowych własności fizyko – mechanicznych skał budujących masyw w przyjętych do analizy rejonach w aspekcie dokładności obliczeń prognostycznych,
- c) Opracowanie metody oceny wpływu zmian wartości wejściowych parametrów fizyko – mechanicznych modelu numerycznego procesu zapadliskowego na wyniki obliczeń dla warunków geologiczno – górniczych niecki bytomskiej z wykorzystaniem metody zbiorów losowych,
- d) Wykazanie możliwości praktycznego wykorzystania zaproponowanej metody w praktyce.

Biorąc powyższe pod uwagę, recenzowaną pracę doktorską oceniam pozytywnie, gdyż zawiera ona oryginalne badania Doktoranta i wnosi nowe, oryginalne rozwiązania do reprezentowanej przez Niego dziedziny naukowej „górnictwo i geologia inżynierska”. Wyniki tej pracy mogą być wykorzystane zarówno w pracach badawczych nad przyczynowo – skutkowym opisem procesów i zjawisk zachodzących w górotworze jak i w praktyce prognozowania zagrożenia zapadliskowego powierzchni na terenach górniczych i pogórnich, w rozwiązywaniu zadań geotechnicznych czy w projektowaniu tuneli oraz wyrobisk górniczych.

5. Uwagi krytyczne i zapytania do pracy

Recenzowana praca doktorska, jak już wcześniej wspomniano, zawiera elementy oryginalne, które stanowią własny wkład Doktoranta. Doktorant nie ustrzegł się jednak pewnych niedociągnięć i błędów, które wymagają dodatkowych wyjaśnień, a mianowicie:

- W rozdz. 4 Doktorant charakteryzując dotychczasowe prace w zakresie modelowania numerycznego procesu zapadliskowego podaje nazwy wykorzystywanych programów komputerowych. Uważam, że w pracach naukowych istotniejsza jest metoda modelowania procesu czy zjawiska (np. metoda elementów skończonych, metoda elementów brzegowych, metoda różnic skończonych, metoda elementów odrębnych itp.), a program komputerowy jest tylko narzędziem umożliwiającym praktyczne jej stosowanie. Dodatkowo istotne jest podanie również stosowanych warunków wyłączeniowych, gdyż w stosowanych powszechnie programach komputerowych mogą być stosowane różne warunki wyłączeniowe, które w różny sposób mogą wpływać na wynik modelowania. Za tym stwierdzeniem przemawia również fakt, że na rynku istnieje większa liczba programów opartych o tą samą metodę modelowania numerycznego i umożliwiające alternatywne stosowanie różnych warunków wyłączeniowych.
- W rozdz. 7 Doktorant używa pojęcie „sklepienie ciśnień”. Pojęcie to w mechanice górotworu ma określone znaczenie. W związku z tym, że w pracy Doktorant stosuje metodę, która nie opiera się ściśle o hipotezę naturalnego sklepienia, a o model ośrodka sprężysto – plastycznego z zastosowaniem warunku stanu granicznego Hoeka – Browna, jednoznacznego zdefiniowania wymaga stosowane pojęcie „sklepienie ciśnień”.
- W rozdz. 7 dla rejonów A i B prezentowane są wyniki badań laboratoryjnych np. wytrzymałości skał na jednoosiowe ściskanie. Jaką zmiennością charakteryzowały się parametry badanych skał? Jak szczegółowo ustalano przedziały zmienności parametrów przyjmowanych jako dane wejściowe do obliczeń?
- W tab. 7.6 i 7.7 podano wartości lub przedziały wartości parametrów charakteryzujących własności skał w oparciu o badania i laboratoryjne oraz metodę ekspercką. W pracy brak jakichkolwiek informacji na temat metody eksperckiej. Ustalanie wartości własności fizyko – mechanicznych skał metodą ekspercką wymaga dodatkowego wyjaśnienia.
- Na str. 87 Doktorant wymienia czynniki aktywizujące proces deformacji nieciągłych. Uważam, że do wymienionych czynników dodać należałoby również zniszczenie obudowy wyrobisk korytarzowych i komorowych zlokalizowanych na małych głębokościach. Na obszarach przyjętych do analizy istnieją wyrobiska zabezpieczone obudową drewnianą lub murową, która może po latach mogąc ulec zniszczeniu powodując zawał wyrobiska i zagrożenie powstaniem deformacji nieciągłej,

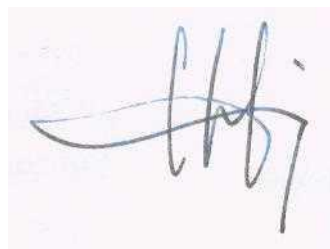
- W pracy zamiennie stosuje się pojęcia „jednoosiowa wytrzymałość na ściskanie/rozciąganie skał” oraz „wytrzymałość skał na jednoosiowe ściskanie/rozciąganie”. Nazewnictwo powinno być ujednoczone i zgodne z ogólnie przyjętą formułą.
- Na str. 88 jest „... w formie rowów o długości od 30 do 100 m i przekroju poprzecznym 6 – 8 m na powierzchni i około 1,0 m na głębokości ...”. Nieprawidłowa jest jednostka powierzchni lub nazwa podawanego wymiaru.
- Na str. 114 i następne – Doktorant używa określenia „ ... izoliniowe zmiany pola” – pojęcie wymaga zdefiniowania lub użycia sformułowania „... Izolinie zmian pola ...”.
- W tab. 7.10 i 7.11 występuje znaczna różnica wartości wytrzymałości na jednoosiowe rozciąganie skał. W tab. 7.10 podano 10 MPa (jako wartość średnia), a w tab. 7.11 we wszystkich zestawach danych podano 10000 MPa. Która wartość jest poprawna ?
- Na rys. 7.16 – 7.19 i 7.27 – 7.30 celowym byłoby zamieszczenie skali. Poprawiłoby to znacznie ich komunikatywność.
- W pracy występują określenia będące efektem stosowania skrótów myślowych lub określeń gwarowych jak np.
str. 10 – w tezie pracy jest: „... opisanymi parametrami fizyczno – mechanicznymi o dużej zmienności ...” – powinno być „... opisanymi parametrami fizyko – mechanicznymi o dużej zmienności ...”; *str. 11* – „... właściwości fizyczne są kierunkowe.”; *str. 13* – „... kształt i rozmiar wyrobiska” (rozmiar dotyczy typizacji, a w odniesieniu do starych wyrobisk trudno mówić o typizacji umożliwiającej wprowadzania rozmiarów obudowy, lepiej byłoby napisać „ kształt i wielkość przekroju poprzecznego wyrobiska,”; *str. 21* – jest „... dno pustki ...” – lepiej byłoby „... spąg wyrobiska ...”; *str.58* – „... oczka siatki ...”; *str. 134* – jest „... najmocniejszych skał ...” – jaka jest ich definicja ?
- W trakcie czytania pracy stwierdziłem występowanie błędów edytorskich, które jednak nie wpływają na wartość merytoryczną pracy, a zostały wskazane doktorantowi do uwzględnienia w przypadku przygotowywania tekstu do publikacji. Podstawowe błędy edytorskie to:
str. 19 i 20 – na rys. 3.4 oś pionowa oznaczona przez z, a w opisie oznaczeń na str. 20 składowa pionowa stanu naprężenia oznaczona jest p_y ; *str. 22* – błąd literowy, *str. 52* – błąd literowy; *str. 58* – błąd gramatyczny; *str.73* – błąd gramatyczny; *str. 85* – błąd interpunkcyjny, *str. 86* – błąd literowy; *str. 115* – błąd literowy, *str. 140* – brak jednostek przy podawanych w tekście wartościach parametrów górotworu;

Wymienione powyżej uwagi krytyczne i zapytania do recenzowanej pracy nie obniżają zasadniczej jej wartości merytorycznej, którą oceniam pozytywnie, ale mogą być

wykorzystane zarówno w praktyce jak i w planowaniu dalszych badań nad problemem określania własności fizyko – mechanicznych skał dla potrzeb opisu procesów naprężeniowo – deformacyjnych zachodzących w górotworze.

6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Recenzowana praca wykonana została poprawnie pod względem merytorycznym i posiada walory zarówno poznawcze jak i użytkowe. W związku z tym stwierdzam, że praca doktorska Krzysztofa Krawca pt. „Analiza wrażliwości numerycznego modelu procesu zapadliskowego na zmianę wartości parametrów fizyko – mechanicznych metodą zbiorów losowych w warunkach geologicznych i górniczych niecki bytomskiej” spełnia wymagania art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki wraz z późniejszymi zmianami (Dz. U. z 2011 r. nr 84 poz. 455) stawiane pracom doktorskim i wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping letters and lines, likely representing the name of the reviewer or the author.