

Wrocław, dn. 22.09.2023 r.

**Prof. dr hab. inż. Jan Butra**

Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii  
Politechnika Wrocławska

**Recenzja pracy doktorskiej**

**mgr inż. Dagmary Perżyło**

**„Model nieustalonych deformacji terenu górniczego wykorzystujący nową  
funkcję wpływów uwzględniającą jej zmienność w czasie”**

### **Wstęp**

Niniejsza recenzja została napisana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej - prof. dr hab. inż. Andrzeja Rusina, z dnia 20.07.2023 r. (RIE-BD.512.58.2023).

### **Ogólny układ pracy**

Praca doktorska mgr inż. Dagmary Perżyło została zrealizowana w Politechnice Śląskiej w Gliwicach pod kierunkiem dr hab. inż. Romana Ścigały – profesora Politechniki Śląskiej. Liczy ona 162 strony, w tym 40 stron dodatku charakteryzującego opracowane i wykorzystane w pracy oprogramowania. Tekst podstawowy obejmuje 9 merytorycznych rozdziałów z rysunkami i tabelami oraz wykaz 73 cytowanych pozycji literatury. Układ pracy obejmuje następujące rozdziały:

1. Wstęp
2. Nieustalone deformacje terenu górniczego w świetle literatury
3. Model S, Knothego prognozowania nieustalonych deformacji terenu górniczego
4. Teza, cel i zakres pracy
5. Wykorzystane w pracy wyniki pomiarów
6. Propozycja modelu prognozowania wykorzystującego funkcję wpływów ujmującą współzrędną czasową
7. Koncepcja modelu rozszerzonego
8. Analiza otrzymanych wyników
9. Podsumowanie i wnioski końcowe

W rozdziale pierwszym Doktorantka syntetycznie charakteryzuje oddziaływanie eksploatacji na powierzchnię, wskazując, że przedkładana rozprawa dotyczy badań nad deformacjami ciągłymi w fazie nieustalonej.

Rozdział drugi przedstawia przegląd literatury dotyczący zagadnień prognozowania nieustalonych deformacji terenu górniczego. Pierwszy podrozdział obejmuje wybrane rozwiązania teoretyczne służące do opisu deformacji terenu górniczego w fazie nieustalonej, natomiast drugi podrozdział zawiera informacje dotyczące praktycznych spostrzeżeń (znanych z literatury), poczynionych przez różnych autorów na podstawie analiz wyników pomiarów deformacji wywołanych podziemną eksploatacją górniczą.

W rozdziale trzecim Autorka opisuje rozwiązanie S. Knothego, a następnie rozszerzone przez W. Budryka w zakresie obliczenia przemieszczeń i odkształceń poziomych. Rozwiązanie to zostało opracowane dla celów prognozowania asymptotycznych niecek obniżeniowych i znane jest jako teoria W. Budryka - S. Knothego. Model ten jest podstawą rozwiązania opracowanego w ramach rozprawy doktorskiej.

W rozdziale czwartym Doktorantka sformułowała tezę rozprawy.

W rozdziale piątym Autorka, po analizie ponad 20 geodezyjnych linii obserwacyjnych na terenach górniczych kopalń Górnośląskiego Okręgu Węglowego, wyselekcjonowała do badań linie pomiarowe z terenu KWK: „Dębieńsko”, „Jan Kanty”, „Czeczott”, „Staszic”), „Siersza” oraz „Jankowice”). Przedstawiła kryteria selekcji oraz charakterystykę wybranych linii obserwacyjnych oraz warunków geologiczno-górniczych prowadzonej eksploatacji.

Rozdział szósty dotyczy koncepcji modelu związanej z wprowadzeniu czynnika odpowiedzialnego za opis fazy nieustalonej procesu deformacji bezpośrednio do funkcji wpływów. Doktorantka stwierdziła, że do realizacji tak nakreślonego celu, optymalne są funkcje gęstości prawdopodobieństwa (PDF). Po przeprowadzonych badaniach różnych funkcji DPF do modelu bazowego zastosowała funkcję Rayleigh'a, pozwalającą odzwierciedlić przebieg w czasie zjawisk charakteryzujących się narastaniem ich intensywności w czasie ze zmienną prędkością, a następnie asymptotycznym ich zanikaniem. Weryfikacja modelu bazowego z jednoczesnym porównaniem wyników uzyskanych z modelu S. Knothego, dokonana została na podstawie wyników obserwacji geodezyjnych z linii wcześniej wybranych. Jakość modelu bazowego określona na bazie porównania teoretycznych przebiegów osiadań w czasie z uzyskanymi z pomiarów geodezyjnych okazała się zbliżona do modelu S. Knothego.

W rozdziale siódmym Doktorantka kontynuowała badania mające na celu rozbudowanie modelu bazowego w taki sposób, aby uzyskać rozwiązanie umożliwiające istotną poprawę jakości prognoz nieustalonych deformacji terenu górniczego. Wynikiem tych badań był model rozszerzony. W modelu tym wprowadzono rozszerzenie funkcji wpływów, przez wykorzystanie sparametryzowanej sumy dwóch funkcji PDF Rayleigh'a. Jednej opisującej tzw. „wpływy natychmiastowe”, i drugiej – opisującej - tzw. „wpływy opóźnione”. Wyniki weryfikacji modelu rozszerzonego wykazały lepszą jakość dopasowania w stosunku do klasycznego modelu S. Knothego. Oceniona została również przydatności modelu rozszerzonego do prognozowania anomalii procesu osiadania związanego

z przerwami w eksploatacji. Model rozszerzony wykazał charakterystyczne zaburzenia związane ze spowolnieniem procesu osiadania w związku z zatrzymaną eksploatacją w dni wolne od pracy.

Rozdział ósmy opisuje analizy otrzymanych wyników z uwagi na jakość modelu określoną na podstawie porównania z modelem referencyjnym oraz zmienność parametrów modelu.

Rozdział dziewiąty to podsumowanie rozprawy i wnioski końcowe. Zawiera on dziewięć wniosków odnoszących się do celu i wyników badań oraz tezy pracy.

Recenzowana rozprawa posiada poprawny układ formalny. Zawiera wszystkie niezbędne elementy swojej struktury przynależne pracom naukowym.

### **Ocena wartości naukowej pracy**

Podziemna eksploatacja złóż prowadzi do przekształceń geomechanicznych górotworu w strefie od stropu eksploatowanego złoża aż do powierzchni. Oddziaływanie to ma negatywny wpływ zarówno na górotwór i na powierzchnię. Istotnym problemem jest bezpośrednie oddziaływanie eksploatacji na powierzchnię, szczególnie w przypadkach jej prowadzenia pod terenami zurbanizowanymi. W takich sytuacjach znaczący jest problem szkód wskutek działalności górniczej. Skutki podziemnej eksploatacji dla środowiska obejmują szerokie spektrum czynników, natomiast najbardziej istotne jest występowanie deformacji ciągłych i nieciągłych oraz wstrząsów górotworu indukowanych robotami górniczymi. Deformacje ciągłe występują na powierzchni w postaci niecek obniżeniowych, których kształt i wielkość zależy od głębokości prowadzonej eksploatacji, kształtu i rozmiaru wybieranych pól oraz od własności górotworu. Zagadnienie prognozowania deformacji ciągłych było przedmiotem wielu badań od XIX wieku. Powstało szereg modeli służących do prognozowania deformacji ciągłych w stanie asymptotycznym. W Polsce podstawą jest teoria W. Budryka - S. Knothego opracowana jeszcze w latach 50-tych ubiegłego wieku. Odrębnym zagadnieniem jest oddziaływanie eksploatacji w tzw. fazie nieustalonej, czyli głównie w czasie prowadzenia eksploatacji, gdy niecka obniżeniowa zmienia swój kształt i wielkość wraz z postępującym frontem robót. Do prognozowania deformacji nieustalonych w Polsce wykorzystuje się najczęściej model S. Knothego oparty na równaniu różniczkowym opisującym prawo ograniczonego wzrostu. Rozwiązanie to było przedmiotem wielu modyfikacji, których celem było poprawienie jakości prognoz.

Przedłożona rozprawa doktorska poświęcona została badaniom nad deformacjami ciągłymi w fazie nieustalonej. Przeprowadzone rozpoznanie literaturowe oraz analizy stosowanych dotychczas modeli prognozowania deformacji w stanie nieustalonym, pozwoliły Doktorantce stwierdzić, że rozwiązania te posiadają pewne ograniczenia, które wpływają na jakość wyników prognoz we współczesnych warunkach prowadzenia eksploatacji. Na tej podstawie sformułowała następującą tezę pracy: „Możliwa jest poprawa jakości opisu obniżeń terenu górniczego w stanie nieustalonym poprzez

zastosowanie do prognoz modelu wykorzystującego zmienną w czasie funkcję wpływów". W celu jej udowodnienia Autorka zrealizowała następujący zakres prac:

1. Badanie wstępne, które objęły:
  - Przegląd literatury dotyczącej nieustalonych deformacji terenu górniczego.
  - Zgromadzenie dostępnych wyników pomiarów geodezyjnych nieustalonych deformacji terenu górniczego, niezbędnych do przeprowadzenia analiz.
  - Analizę możliwości wykorzystania funkcji wpływów teorii W. Budryka - S. Knothego do modyfikacji zgodnie z przyjętą tezą pracy.
  - Badania nad ustaleniem postaci zmodyfikowanej funkcji wpływów - analiza wybranych funkcji gęstości rozkładu prawdopodobieństwa pod kątem możliwości ich wykorzystania.
2. Zasadniczy proces badawczy:
  - Opracowanie modelu umownie nazwanego modelem „bazowym”, dla celów wstępnej weryfikacji celowości dalszych prac.
  - Opracowanie niezbędnego oprogramowania służącego do identyfikacji wartości parametrów zaproponowanego modelu.
  - Opracowanie modelu „rozszerzonego” na bazie wniosków wynikających z weryfikacji modelu „bazowego”.
  - Przeprowadzenie analizy otrzymanych wyników oraz sformułowanie wniosków końcowych.

Moim zdaniem teza pracy oraz przyjęty problem badawczy zostały prawidłowo sformułowane. Udzielenie odpowiedzi na tak postawioną tezę, w konsekwencji przyczynia się do rozwiązania problemu badawczego. Pozytywnie oceniam również przedstawione przez Autorkę wybrane metody badawcze. Świadczy to o umiejętności prowadzenia pracy naukowej. W rozprawie Doktorantka konsekwentnie zmierza do udowodnienia tezy. Do modelu „bazowego” wprowadza czynnik odpowiedzialny za opis fazy nieustalonej procesu deformacji bezpośrednio do funkcji wpływów. Jest nim odpowiednio dobrana i sparametryzowana funkcja gęstości prawdopodobieństwa Rayleigh'a, pozwalająca odzwierciedlić przebieg w czasie zjawisk charakteryzujących się narastaniem ich intensywności w czasie ze zmienną prędkością, a następnie asymptotycznym ich zanikaniem. Jej modyfikacja objęła:

- zastąpienie parametru skali współczynnikiem  $r_t$ , określonym jako „czasowy promień zasięgu wpływów głównych”,
- zmienną niezależną  $x$  zastąpiono zmienną czasową  $\tau$ ,
- wprowadzono wielkość  $t_e$  oznaczającą moment wybrania elementarnego pola eksploatacyjnego.

Nowa funkcja wpływów uzyskała więc postać iloczynu funkcji wpływów wg teorii W. Budryka - S. Knothego i zmodyfikowanej funkcji gęstości prawdopodobieństwa Rayleigh'a. W celu wykonania

obliczeń opracowane zostało oprogramowanie Ray-Param. W ramach weryfikacji dokonano wyznaczenia wartości parametrów nowego modelu: „r”, oraz współczynnika prędkości osiadania „c” z modelu S. Knothego na podstawie przebiegów obniżenia w czasie dla wybranych punktów obserwacyjnych znajdujących się nad polem eksploatacyjnym. Po przeprowadzeniu weryfikacji modelu bazowego z modelem S, Knothego i wynikach rzeczywistych obserwacji geodezyjnych Doktorantka stwierdziła, że są one niezadowalające, gdyż jakość opisu przebiegu osiadania w czasie dla wszystkich analizowanych linii pomiarowych jest zbliżona do modelu S, Knothego. W rozbudowanym modelu „rozszerzonym” Doktorantka zaproponowała wprowadzenie odpowiednio sparametryzowanej sumy dwóch funkcji PDF Rayleigh'a. Funkcje te zbudowane na identycznych zasadach, jak w modelu bazowym, oparte są na nowych parametry, charakteryzujących odrębnie przebieg każdej z wymienionych dla dwóch faz procesu deformacji. Jednej związanej z parametrem „ $r_{11}$ ” opisującej tzw. „wpływy natychmiastowe”, i drugiej -wykorzystującej parametr „ $r_{12}$ ” - tzw. „wpływy opóźnione”. Weryfikacja modelu rozszerzonego przeprowadzona została według analogicznej procedury, jak przy modelu podstawowym. Wykazała ona, że jakość opisu przebiegu osiadania w czasie dla wszystkich analizowanych punktów wykazuje lepszą jakość dopasowania w stosunku do klasycznego modelu S. Knothego. Można, więc stwierdzić, że opracowany przez Autorkę model pozwala w istotnie poprawić jakość opisu przebiegu procesu deformacji terenu górniczego w czasie.

Moim zdaniem otrzymane rozwiązanie wraz z opracowanym oprogramowaniem może stanowić narzędzie do predykcji niestabilnych niecek obniżeniowych, pozwalając na osiągnięcie wysokiej jakości prognoz we współczesnych warunkach prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej. Uważam, że wyniki uzyskane w zrealizowanym procesie badawczym stanowią wkład Autorki pracy w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Podsumowując tę część recenzji stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Dagmary Perżyło zasługuje na pozytywną ocenę pod względem wartości naukowej. Uważam, że Autorka w sposób prawidłowy, na podstawie badań wstępnych, sformułowała problem badawczy, a następnie – dla jego rozwiązania – przyjęła odpowiednią tezę. Ponadto, w sposób prawidłowy przedstawiła model procesu badawczego oraz dobrała metody badawcze i rzetelnie zrealizowała proces badawczy. Na tej podstawie stwierdzam, że teza rozprawy została udowodniona. Autorka rozprawy wykazała się także umiejętnością syntetycznego podsumowania wyników w postaci wniosków i rekomendacji.

W mojej opinii, podjęty problem badawczy jest aktualny, przedstawione wyniki pracy są oryginalne i stanowią wkład Autorki w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Ponadto warto tu także zaakcentować, że mają one ważne znaczenie dla praktyki, w zakresie prognozowania obniżenia w czasie dla dowolnych punktów zlokalizowanych na powierzchni terenu górniczego.

W nawiązaniu do rozważań naukowych zawartych w pracy, proszę jej Autorkę o odniesienie się do następujących pytań:

- Jaki był zakres zmienności warunków geologiczno-górnich w polach nad którymi wyselekcjonowane zostały do badań linie pomiarowe, oraz
- Czy można uznać, że warunki geologiczno-górnice w tych polach były reprezentatywne dla występujących w Górnośląskim Okręgu Węglowym?

Pytania te nie wpływają w istotny sposób na merytoryczną wartość rozprawy. Stanowi ona spójną całość, w której w sposób logiczny, zgodnie z zasadami postępowania naukowego, przeprowadzono wywód zmierzający do udowodnienia tezy rozprawy.

Uważam, że rozprawa została starannie zredagowana. Pozytywnie oceniam również język rozprawy. W mojej opinii spełnia on wymogi naukowości, m.in. jest fachowy, zawiera wyraźnie sformułowane sądy i opinie, które są właściwe językowi dyskursu naukowego, odwoływanie się do wyników badań zawartych w literaturze przedmiotu.

### **Wnioski końcowe**

Pozytywna ocena wartości naukowej oraz strony formalnej pozwala mi na stwierdzenie, że rozprawa doktorska mgr inż. Dagmary Perżyło: „Model nieustalonych deformacji terenu górniczego wykorzystujący nową funkcję wpływów uwzględniającą jej zmienność w czasie” odpowiada warunkom określonym w art. 13 ust.1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, w związku z art. 179 ust. 2 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym.

Stwierdzam, że mgr inż. Dagmara Perżyło wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, a także umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych, sformułowała problem badawczy, w sposób prawidłowy przedstawiła model procesu badawczego oraz dobrała metody badawcze i rzetelnie zrealizowała proces badawczy. Opracowany model wraz z oprogramowaniem ma również dużą znaczenie aplikacyjne, może stanowić narzędzie do predykcji nieustalonych niecek obniżeniowych z uwagi na wysoką jakość prognoz.

Mgr inż. Dagmara Perżyło spełnia ustawowe wymogi uzasadniające nadanie Jej stopnia doktora nauk technicznych, toteż wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej o przyjęcie recenzowanej pracy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

*B. Buda*