

Kraków, 27.07.2023

Prof. dr hab. inż. Ryszard Hejmanowski

Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Dariusza Głąbickiego
pod tytułem.:

**„Displacement Forecasting in Mining Areas using Satellite SAR
Interferometry and Machine Learning.”**

Recenzję sporządzono na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, Politechniki Wrocławskiej z dnia 23 maja 2023 r (RDND08/65/2023).

1. Ogólna charakterystyka zakresu i treści rozprawy

Recenzowana praca została opracowana przez Doktoranta na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej – Pana mgr inż. Dariusza Głąbickiego pod kierunkiem promotorów, Pana Dr hab. inż. Wojciecha Milczarka, Prof. PWr. oraz Pana dr Milana Lazecky, University of Leeds (COMET). Praca składa się ze 194 stron tekstu. Na początku pracy, po spisie treści i podziękowaniach występują skorowidze rysunków i tabel oraz lista akronimów. W manuskrypcie zawarto na końcu tekstu bibliografię z imponującą liczbą 243 źródeł literaturowych i dwa dodatki zawierające stabelaryzowane dane dotyczące zobrazowań radarowych.

Struktura pracy jest bardzo przejrzysta. Poszczególne rozdziały posiadają jednolitą formę i strukturę, a na zakończenie krótkie resume. To pomaga w czytaniu pracy, która sama w sobie jest jednak trochę zbyt obszerna. Rozdział pierwszy (str. 23-25) zawiera intencje badawcze Autora. Cały ten rozdział poświęcono omówieniu argumentów za podjęciem badań nad prognozą przemieszczeń pionowych na terenach górniczych w oparciu o różne metody sztucznej inteligencji, a ściślej uczenia maszynowego. Przytoczone argumenty to przede wszystkim eksplozja modeli uczenia maszynowego w ostatnich latach. Modele te są zdaniem Autora warte przetestowania na niezwykle obszernych próbkach danych z satelitarnego monitoringu przemieszczeń powierzchni. Jako dane wsadowe do uczenia modeli założono, że posłużą szeregi czasowe interferogramów satelitarnych. Po krótkiej argumentacji następuje hipoteza badawcza o następującej treści: *models based on machine learning algorithms and measurement data from the InSAR method can be applied to effectively predict vertical ground surface displacement in areas affected by underground mining*. Autor dodaje, że celem wynikającym z tej hipotezy będzie sprawdzenie potencjału metod InSAR i dostarczanych przez nie wyników monitoringu przemieszczeń pionowych z modelami uczenia maszynowego, dla skutecznego przewidywania rozwoju przemieszczeń na terenach górniczych. Właściwie już w tym

pierwszym rozdziale podano cele pracy i powody podjęcia badań. Niemniej te powody, jako że poprzedzają część teoretyczną pracy - nie wynikają z krytycznej oceny stanu współczesnej wiedzy dokonanej przez Autora. Są podane niejako a priori, a szersze uzasadnienie znajduje się dopiero w rozdziałach 2-4. Moim zdaniem nisza badawcza powinna być lepiej wskazana i mocniej uzasadniona, a niestety nawet w dalszej części pracy nie widać tego mocnego uzasadnienia. Rozdziały 2-4 (str. 27-104) to po części wprowadzenie teoretyczne do badań, po części charakterystyka podłoża literaturowego. W rozdziale 5 (str. 81-86) omówiono poligon badawczy, czyli kompleks podziemnych kopalń rud miedzi, należących do koncernu KGHM wraz z charakterystyką geologiczną. W rozdziale 6 Autor podaje metodykę otrzymywania pionowych przemieszczeń powierzchni w oparciu o satelitarną interferometrię radarową. Stosuje tu metody szeregów czasowych PSInSAR i SBasInSAR, podając uzasadnione badaniami argumenty przemawiające na korzyść tej ostatniej technologii przy rozwiązywaniu tego typu zagadnień na terenach podlegających znacznym ruchom pionowym w stosunkowo krótkim czasie. Rozdziały 7 i 8 stanowią właściwe omówienie badań własnych Autora (str. 105-159), przy czym w rozdziale 7 zawarto opis metodyki badań, a w rozdz. 8 wyniki i ich dyskusję. Na zakończenie, w rozdziale 9 (str. 161-164) znajduje się podsumowanie wraz z wyszczególnieniem ograniczeń prezentowanej koncepcji i omówieniem dalszych możliwości badawczych w tym zakresie.

Od wielu lat zajmuję się przede wszystkim modelowaniem przemieszczeń wywołanych różnego rodzaju działalnością człowieka w skorupie ziemskiej, więc rozprawę przeczytałem ze szczególnym zainteresowaniem, ale i rosnącym niepokojem. Przede wszystkim mam świadomość, że ruchy górotworu, a w konsekwencji osiadanie powierzchni, są determinowane przez tak wiele czynników, że do modeli opartych na sztucznych sieciach neuronowych, a następnie uczeniu maszynowym, zawsze podchodziłem z najwyższą ostrożnością. Czasami próbujemy wnioskować o zjawiskach zachodzących głęboko pod ziemią jedynie na podstawie obserwacji przemieszczeń powierzchniowych, ale są to zagadnienia szczególne. Dotyczą one głównie analizy odwrotnej, wykonywanej w celu oszacowania niektórych parametrów modeli górotworu. W tym przypadku autor w ogóle nie odniósł się do czynników geologicznych w swoich modelach prognostycznych. Oparł się wyłącznie na szeregiach czasowych wyników monitoringu przemieszczeń. Nie wdając się w dalsze rozważania, z pewną ulgą stwierdziłem, że autor w rozdziale 9 wskazał na ograniczenia metod zastosowanych w swoich badaniach. Uważam to za mocną stronę pracy. Przyznaję, że takie zdystansowane spojrzenie na własne badania i ich ograniczenia nie jest często spotykane. Z pewnością wymaga to odpowiedniego dystansu i ugruntowanej etyki naukowej. Za co gratuluję przede wszystkim doktorantowi, ale także obu promotorom.

2. Ocena merytoryczna i formalna

W ostatnich latach tematyka, której Doktorant poświęcił swoje badania jest nośna i silnie rozwijana, żeby nie powiedzieć modna. Zarówno uczenie maszynowe, jak i satelitarna interferometria radarowa otrzymały mocne impulsy technologiczne i aplikacyjne do rozwoju. To dobrze, że badania, których wyniki prezentowane są w pracy wpisują się w ten nurt i wnoszą nowe treści. Autor dobrze to zresztą zaznaczył pokazując background swoich rozważań naukowych na tle wcześniejszych prac. Brakło mi tu co prawda kilku prac, które

uważam za stosunkowo ważne, ale to nie wpływa istotnie na wysoką ocenę badań literatury. Autor bardzo sprawnie i z dużą erudycją porusza się po tematyce interferometrii satelitarnej, co wyraźnie w pracy widać. W rozdziale 6 i 8 pokazał w oparciu o przeprowadzone przez siebie badania, że istnieje wyraźna przewaga metody SBasInSAR w analizowaniu przemieszczeń pionowych na stosunkowo szybkozmiennych polach przemieszczeń w rejonach kopalń głębinowych. Ta część jest jedną z mocnych stron ocenianej pracy i świadczy o dużej wiedzy Autora z tego zakresu. W części poświęconej modelom uczenia maszynowego zaprezentowano 11 różnych propozycji, które następnie zostały zweryfikowane przez pryzmat postawionej hipotezy. W poprawny sposób wykazano, że model Ensemble Regression najbardziej efektywnie, w sensie przyjętych metryk, spełnia postulat przydatności do predykcji przemieszczeń pionowych. Oczywiście można tutaj dyskutować, że w zasadzie nie ma między efektywnością poszczególnych modeli jakichś wyraźnych znaczących różnic (np. o rząd wielkości), ale to jest dosyć oczywiste. Moja uwaga dotyczy raczej efektywności w sensie przydatności do predykcji zjawiska. Jeżeli, jak przyjęto w pracy za zjawisko poddane analizie weźmie się nie obniżenia wywołane przez eksploatację górnictwem, tylko przemieszczenia pionowe na terenie górnictwem rejestrowane na drodze tworzenia szeregów czasowych interferogramów satelitarnych, to wszystko jest w porządku. Ta uwaga wynika z możliwości istnienia takich przypadków, w których szereg czasowy nie objął niekiedy obniżeniowej tworzącej się nad rozpoczynaną dopiero eksploatacją, która ujawni się w kolejnych miesiącach na powierzchni. Widać tę różnicę np. w niecce, która tworzy się jako nowe lokalne pole przemieszczeń, zupełnie wymykające się predykcji (północno wschodnia część rejonu nr 1). Model nie mógł w takim przypadku prognozować skutecznie, gdyż nie miał materiału obserwacyjnego, na którym mógłby się nauczyć jak zjawisko się rozwija. Badania wykazały wyraźną przewagę modeli machine learning nad modelami naiwnymi. Tutaj faktycznie efektywność modelu Ensemble Regression jest wyraźnie większa niż modeli naiwnych, co widać w przestrzennej zdolności do predykcji przemieszczeń.

Generalnie badania prowadzone były zgodnie z przyjętą metodyką i poprawnie przedyskutowano ich wyniki. Ilustracja wyników badań dobrze wspiera ich dyskusję, a wyciągnięte wnioski bazują na przeprowadzonych badaniach. Należy stwierdzić, że w zakresie uzyskanych efektów, praca nosi znamiona oryginalności i wykazuje dużą samodzielność badawczą Autora. Postawiona na wstępie hipoteza badawcza znalazła potwierdzenie, co zostało należycie i zgodnie z metodyką badawczą udowodnione.

Pytania i wątpliwości:

1. Autor dokonał weryfikacji przemieszczeń pionowych wyznaczonych przy pomocy technologii InSAR z wynikami klasycznych pomiarów geodezyjnych, natomiast funkcjonalność wytrenowanych modeli zweryfikował w porównaniu z aktualnymi wynikami SBasInSAR. Czy nie należało raczej dokonać porównania wyników predykcji modeli z wynikami pomiarów klasycznych? Jaki był powód zaniechania tego typu weryfikacji?

2. W rozdziale dotyczącym dyskusji wyników badań zabrakło prób zestawienia wniosków wynikających z badań z doświadczeniami innych naukowców zajmujących się podobną tematyką. Jakże były tego przyczyny?

Drobne uwagi i komentarze zawarto bezpośrednio w tekście recenzowanej pracy, do ewentualnego wykorzystania w czasie dyskusji otwartej. Nie są to jednak kluczowe kwestie, nie wpływają na ocenę pracy.

3. Uwagi szczegółowe

Układ rozdziałów pracy jest przejrzysty i podział treści pozwala dobrze śledzić przebieg badań.

Redakcja tekstu jest bardzo drobiazgową, staranną i nie budzi zastrzeżeń, nie zauważono błędów, czy niestarannych opisów rysunków. Wszystko jest czytelne i poprawnie sformatowane.

W skorowidzu akronimów zauważono dwukrotne użycie akronimu DEM (str. 19). Czy nie powinno się raczej zanumerować obu akronimów indywidualnie? Mogłoby to wyglądać następująco: DEM₁, DEM₂.

4. Ocena końcowa rozprawy i konkluzja

Po dogłębnym zapoznaniu się z pracą doktorską Pana mgr inż. Dariusza Głąbickiego mogę stwierdzić, że dobrze przeanalizował on i wykazał ogólną wiedzę w zakresie badań terenów przekształconych antropogenicznie – a ściślej badań i modelowania przemieszczeń pionowych wywołanych głębinową eksploatacją rud miedzi. W pracy zdefiniował zagadnienie badawcze z zakresu dyscypliny inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki, postawił hipotezę badawczą, samodzielnie zdefiniował metodykę opartą na wykorzystaniu satelitarnej interferometrii radarowej i modeli uczenia maszynowego. Na koniec w oparciu o wykonane badania uzyskał potwierdzenie postawionej hipotezy i wyciągnął wnioski bazujące bezpośrednio na wynikach własnych badań. Tym samym wykazał oryginalność i samodzielność w rozwiązaniu problemu badawczego.

Konkludując, Pan mgr inż. Dariusz Głąbicki wykazał w pracy ogólną wiedzę teoretyczną z zakresu dyscypliny inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Praca wykazuje znamiona oryginalnego rozwiązania problemu badawczego.

Chcąc wyrobić sobie pogląd na ostateczną wartość recenzowanej pracy, zestawiałem poniżej moje subiektywne oceny w dziesięciu kryteriach, które zazwyczaj stanowią podstawę recenzji badań naukowych. Przyjąłem punktację w zakresie od 1 – niska do 3 – wysoka.

Kryterium oceny	Ocena			
	wysoka	średnia	niska	Punkty ogółem
Staranność redakcji pracy	3			3
Strona graficzna pracy		2		2
Literatura i powołania	3			3
Czy przyjęto poprawne założenia w nawiązaniu do stanu wiedzy	3			3
Umiejętność krytycznego podejścia Autora do stanu wiedzy		2		2
Umiejętność dowodzenia i uzasadniania tez	3			3
Czy wyniki badań zostały zweryfikowane/ skonfrontowane z wynikami innych			1	1
Dobór metod badawczych		2		2
Oryginalność rozwiązań stosowanych w badaniach		2		2
Wkład Doktoranta w rozwój dyscypliny		2		2
RAZEM				23

W dziesięciu przyjętych kryteriach przyznałem 4 wysokie, 5 średnich i 1 niską. Biorąc pod uwagę powyższe noty i uzyskaną sumę punktów równą 23, pracę można by ocenić na ponad dobrą (4,5), gdyby takie oceny były formalnie przyjęte.

Biorąc pod uwagę całość oceny pracy i powyższą opinię stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Dariusza Głębickiego pod tytułem „Displacement Forecasting in Mining Areas using Satellite SAR Interferometry and Machine Learning” spełnia kryteria zawarte w art. 187, ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. 2022, poz. 574 z późn. zmianami), dla kandydata do stopnia doktora nauk technicznych. W związku z tym przedkładam wniosek Radzie Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

.....
Ryszard Hejmanowski

