

dr hab. inż. Andrzej Kwinta, prof. URK

Kraków 12.05.2022

Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Recenzja rozprawy doktorskiej

Pani mgr inż. Karoliny Owczarz

pt. " Modelowanie przemieszczeń powierzchni terenu wywołanych sejsmicznością indukowaną z zastosowaniem metody uczenia maszynowego"

Podstawą formalną sporządzenia niniejszej recenzji jest pismo Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka dr hab. inż. Roberta Króla, prof. uczelni nr RDND08/28/2022 z dnia 10-03-2022.

Charakterystyka przedmiotu rozprawy

Tematyka recenzowanej dysertacji związana jest z wykorzystaniem nowoczesnych technologii pomiarowych i metod obliczeniowych do modelowania przemieszczeń powierzchni terenu towarzyszących indukowanym robotami górniczymi wstrząsom para-sejsmicznym. Zagadnienie to jest bardzo ważne zarówno w aspekcie naukowym jak i utylitarnym. Eksploatacji górniczej towarzyszą między innymi zjawiska dynamiczne takie jak wstrząsy czy tąpnięcia. Fala wstrząsowa rozchodząca się w górotworze od hipocentrum w kierunku powierzchni terenu, może powodować zaburzenia w procesie kształtowania się niecki obniżeniowej nad zrealizowaną eksploatacją górniczą. Zaburzenie to może objawiać się lokalnym zwiększonym przyrostem przemieszczeń w niecce obniżeniowej. Naukowcy i praktycy od dawna podejrzewali występowanie takiego zjawiska, jednak brak wiarygodnych ciągłych pomiarów przemieszczeń nie pozwalał na weryfikację takiej hipotezy. Pojawienie się w praktyce geodezyjnej systemów pozycjonowania GNSS potwierdziło zmiany w procesie powstawania deformacji ciągłych na skutek wstrząsów para-sejsmicznych. Jednak nadal ilość informacji była ograniczona do pojedynczych punktów pomiarowych, co nie pozwalało na wyciąganie wniosków ogólnych. Rozwój teledetekcyjnych satelitarnych technologii pomiarowych, a szczególnie wprowadzenie radarowych zobrazowań satelitarnych spowodowało zupełnie nowe możliwości prowadzenia pomiarów przemieszczeń na terenach górniczych.

Autorka recenzowanej dysertacji doktorskiej podjęła się bardzo ambitnego zadania analizy możliwości modelowania deformacji powierzchni terenu wywołanych wstrząsami górnictwami, na bazie danych górnictwo-geologicznych prowadzonej eksploatacji i radarowych obrazów interferometrycznych. Do modelowania wykorzystane zostało nadzorowane uczenie maszynowe. Zarówno opis zjawiska, jak i wykorzystane metoda pomiarowa oraz obliczeniowa są naukowo bardzo oddalone stąd należy stwierdzić, że tak prowadzone badania mają charakter wybitnie interdyscyplinarny. Każde z tych zagadnień mogłoby stanowić podstawy oddzielnych dysertacji naukowych. Takie postawienie tematu wymagało od Autorki dysertacji przeprowadzenia wielowątkowych badań naukowych i zapoznania się z dużą ilością publikacji głównie angielskojęzycznych. Te cząstkowe zagadnienia obecnie są przedmiotem badań w licznych ośrodkach naukowych na całym świecie. Po zapoznaniu się z przedstawioną dysertacją uważam, że poruszana w niej problematyka wpisuje się w nowoczesne światowe trendy badawcze, w dyscyplinie naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Struktura pracy doktorskiej

Praca została podzielona na 6 rozdziałów i wraz ze spisem literatury i załącznikami zajmuje 189 stron. Zawiera 105 rysunków i 33 tabele. Na początku pracy znajdują się spisy użytych skrótów i symboli. W pracy zostały wykorzystane 295 pozycji literatury w tym zaledwie 37 polskojęzycznych. W literaturze cytowane są również 4 pozycje, których autorka dysertacji jest autorką bądź współautorką.

Struktura pracy jest przejrzysta i ewidentnie przemyślana. Na początku pracy postawiono szereg problemów badawczych, które miały zostać rozwiązane w trakcie badań. Następnie przedstawiono podstawy teoretyczne, a w końcu wprowadzono rozdziały badawcze. Na uwagę zasługuje wprowadzenie na koniec każdego rozdziału badawczego podrozdziałów przedstawiających uzyskane wyniki cząstkowe, ich dyskusję oraz podsumowanie dla każdego etapu badań.

Rozdział 1 (6 stron) Stanowi wstęp do pracy doktorskiej. Obejmuje motywację do podjęcia badań, cel, tezę i zakres pracy. W rozdziale tym przedstawiono szczegółową koncepcję badań, która była realizowana. W podrozdziale cel i teza pracy zawarto szczegółowe pytania badawcze. Jest to bardzo dobre działanie, natomiast pewne wątpliwości może budzić według mojej opinii zbyt duża szczegółowość tych pytań badawczych.

Rozdział 2 (12 stron) zatytułowany „Stan wiedzy dotyczący problemu badawczego” powinien stanowić poszerzony przegląd aktualnej literatury światowej na temat postawionego problemu badawczego. W rozdziale bardzo ogólnie opisano sejsmiczność indukowaną, deformacje powierzchni terenu ponad prowadzoną eksploatacją górnictwami oraz metody pomiarów deformacji. Rozdział ten budzi pewien niedosyt, ponieważ pomimo uwzględnienia w całej pracy wielu

światowych publikacji, to pomimo wielu cytowań, po lekturze tego rozdziału odnosi się wrażenie o powierzchownym potraktowaniu zagadnienia.

Rozdział 3 (7 stron) dotyczący charakterystyki obszaru badań koncentruje się na przedstawieniu obszaru LGOM szczególnie w aspekcie geologicznym i sejsmiczności indukowanej. Bardzo ogólnie przedstawiono działalność górnictwa. Należy podkreślić, że treści zawarte w tym rozdziale stanowią jeden z istotniejszych elementów uwzględnianych w procesie modelowania. Zmienne zależne procesu modelowania stanowią parametry górnictwo-geologiczne prowadzonej eksploatacji górniczej, dlatego w tym miejscu spodziewałem się większej szczegółowych informacji. W rozdziale zabrakło mi informacji na temat stosowanych przez KGHM systemów eksploatacji górniczej.

Rozdział 4 (15 stron) zawiera informacje na temat metodyki zrealizowanych badań. Autorka przedstawiła pozyskiwanie i przetwarzanie danych z radarowych obrazów satelitarnych oraz metody analizy danych w oparciu o statystykę opisową, przestrzenną i uczenie maszynowe ze szczególnym uwzględnieniem metody Random Forest Regressor (RFR).

Rozdział 5 (85 stron) stanowi najważniejszą część recenzowanej dysertacji. Przedstawione zostały wszystkie etapy przeprowadzonych badań, zgodnie z koncepcją badań wprowadzoną w pierwszym rozdziale. Opisane zostały materiały źródłowe pozyskane z Zakładu Górniczego „Rudna” do którego ograniczono zrealizowane badania. Kolejno przeanalizowano wyniki z obrazów DInSAR i SBAS, porównano wyniki z wynikami pomiarów niwelacyjnych oraz przeprowadzono modelowanie zgodnie z przyjętym modelem RFR. W przypadku zastosowania modelu uczonego kluczowym elementem jest właściwy wybór zmiennych uwzględnianych w obliczeniach oraz możliwości ich jednoznacznej identyfikacji. W pracy brak jest szczegółowego opisu parametrów górnictwo-geologicznych zastosowanych w modelu oraz przedziałów ich zmienności. Rozdział ten pomimo pewnych mankamentów, które przedstawię w uwagach szczegółowych poniżej, czyta się dobrze i pozwala na wyrobienie sobie zdania na temat trudności podjętych badań i ogromu wykonanych prac.

Rozdział 6 (3 strony) zawiera podsumowanie zrealizowanych badań przede wszystkim w postaci odpowiedzi na postawione we wstępie pytania szczegółowe. Odpowiedzi wynikają z przeprowadzonych badań. Niektóre ze sformułowanych odpowiedzi wydają się być zbyt ogólne, bez odniesienia do konkretnych warunków, którym podlegały dane użyte w obliczeniach i analizach. Odpowiedź na pytanie 6 praktycznie stanowi potwierdzenie postawionej tezy badawczej. Bardzo dobrym krokiem jest przedstawienie możliwych dalszych badań nad tą tematyką. Wskazuje to na dogłębne przeanalizowanie zagadnienia i chęć podejmowania dalszych badań w tym zakresie tematycznym.

Uwagi ogólne i szczegółowe

Przedstawiona do recenzji praca doktorska swoją tematyką obejmuje ważne zagadnienie zarówno w aspekcie naukowo-badawczym, jak i utylitarnym. Przeprowadzone przez autorkę rozważania, obliczenia i analizy są prawidłowe, i jednoznacznie wskazują na umiejętność prowadzenia samodzielnych badań naukowych. Na szczególną uwagę zasługuje wykorzystanie wielu pozycji literatury z zakresu prowadzonych badań, które są interdyscyplinarne i wymagały pogłębionych badań z wielu dziedzin wiedzy. Wykorzystanie 295 pozycji literaturowych zasługuje na uwagę, szczególnie że znaczna ilość wykorzystanych prac, to pozycje obcojęzyczne, co świadczy o znajomości światowych wyników badań.

Bardzo wysoko należy ocenić poziom edytorski pracy. Niestety autorka nie ustrzegła się drobnych uchybień na przykład:

1. str 12 „Wykonane prace zostały przedstawione....”
2. str 26 „...na podstawie analizy większego zbioru wstrząsach górniczych,”
3. str 26 „...na podstawie większego zbioru danych zdarzeniach sejsmicznych...”
4. str 27 rys 3. W legendzie tereny górnicze opisane są jako LGOM
5. str 37 „...roślinnością, co wpływa powoduje niskie wartości...”
6. Błędnie wprowadzona w pracy nazwa strefy tektonicznej – jest „Trzebcza-Polkowic” a powinno być „Trzebcza-Polkowice” (str. 81, 84, 91, 180)
7. str 56 „...tzw. interferogramu syntezyzowanego...”
8. Na kilku rysunkach w legendzie pojawia się błędne określenie TG KGHM, nie istnieje Teren Górniczy KGHM
9. Na rys 23 różne skale poszczególnych map
10. str 75 w tekście błędny nr rysunku jest 34 powinno być 38
11. Na rysunkach map 40, 42, 44, 46, 48, A.8, A.10 i dalej ... brak zaznaczonego epicentrum wstrząsu
12. Na rysunkach profili pionowych 41, 43, 45 i dalej brak jednoznacznego odniesienia do map przemieszczeń skumulowanych (40, 42, 44 i dalej)
13. str 106 „...Przewaga tego języka programowania nad innymi oprogramowaniami wynika ...”
14. str 137 „...zapropozowanego podejście do procesu...”

Te drobne błędy nie wpływają negatywnie na wysoki poziom edytorski. Podkreślić należy dużą dbałość o stronę graficzną pracy, rysunki są na bardzo dobrym poziomie edytorskim. Język jest poprawny, pracę czyta się bardzo dobrze.

W trakcie czytania przedstawionej do recenzji dysertacji pojawia się szereg wątpliwości i pytań. Do niektórych z nich Autorka powinna się ustosunkować w trakcie publicznej obrony.

1. W Polskim górnictwie stosowane są skale sejsmiczności indukowanej, natomiast w recenzowanej pracy brak jest do nich odniesienia.
2. W pracy, w podrozdziale 2.6 pojawiają się sformułowania dotyczące deformacji terenu wymagające wyjaśnienia:
 - „Skały znajdujące się bezpośrednio nad wybraną przestrzenią ulegają załamaniu i wypełniają powstałą wcześniej pustkę” – zawsze?
 - „Najczęstszymi skutkami prowadzenia eksploatacji górniczej są deformacje powierzchni” Co należy rozumieć przez sformułowanie najczęstszymi?
 - „Deformacje ciągłe występują, gdy warstwa powierzchniowa ugina się nad wybraną przestrzenią, dotyczy to dużych pól wydobywczych i związane jest z bezpośrednimi wpływami eksploatacji górniczej” Zdanie niejasne. Co to znaczy duże pole wydobywcze?
 - „Deformacje nieciągłe mają zasięg lokalny i mogą wystąpić w czasie trwania eksploatacji jak i kilkanaście/kilkadziesiąt lat od jej zakończenia. Natomiast ich przebieg ma nagły i szybki charakter, np. zapadliska” Czy zawsze deformacje nieciągłe mają nagły i szybki charakter?
3. Wyjaśnienia wymaga zdanie (str 30 podrozdział 3.2): „Ponadto, powszechnie stosowane są zabezpieczenia profilaktyczne obiektów w rejonach, które objęte są szkodliwymi wpływami górnictwymi poprzez określenie II kategorii terenów górnictwowych”
4. Proszę o wyjaśnienie zdania (str 56 podrozdział 5.2.1): „...utworzono rastry przemieszczeń LOS ograniczone tylko do obszaru zidentyfikowanej deformacji w rejonie epicentrum wstrząsu.” oraz na rysunkach 24 i 25 przedstawiono histogramy średnich przemieszczeń LOS. Jakie informacje ze sobą niosą te histogramy? Jaki jest błąd wartości średniej? Jaka była wartość odcięcia danych?
5. Str 57 podrozdział 5.2.1 czytamy: „...w oparciu o rastry średniej wartości przemieszczeń LOS wszystkich komórek przystających przestrzennie na mapach rastrowych”. W jaki sposób obliczano wartości średnie? Przemieszczenia LOS są wielkościami wektorowymi, jak to wpłynęło na obliczenia? Czy wszystkie kierunki analizy (SN i WE) są równouprawnione czy mają takie same dokładności?
6. W pracy wykorzystywane jest sformułowanie „obniżenia” dla przemieszczeń „w dół” ze znakiem ujemnym. Zgodnie z powszechnie przyjętą nomenklaturą w zagadnieniach związanych ze szkodami górnictwymi obniżenia ze znakiem minus są wypiętrzeniami.
7. Na rysunkach 31-33 przedstawiono zależności pomiędzy energią wstrząsu a przemieszczeniem LOS. O czym świadczą uzyskane wartości współczynnika determinacji R^2 dla zależności energia wstrząsu – przemieszczenie LOS ?
8. Str 72, podrozdział 5.2.2 znajduje się zdanie: „Na podstawie takiego rozkładu przestrzennego zauważono, że może istnieć związek przyczynowo-skutkowy pomiędzy eksploatacją górniczą a

lokalizacją wystąpienia wstrząsu indukowanego. Dodatkowo zaobserwowano, że epicentra przeważnie znajdowały się bliżej granic deformacji terenu, co także nie było zbieżne przestrzennie z miejscami największych przemieszczeń LOS w obrębie poszczególnych niecek.” Pierwsze zdanie jest oczywiste, jeżeli rozważamy sejsmiczność indukowaną działalnością górnictwem, to trudno oczekiwać innego wyniku. Co oznacza drugie zdanie?

9. W rozdziale 5.3.2 analizowane są wstrząsy. Dla każdego wstrząsu sporządzane są pary rysunków mapy-profile. Analiza tych rysunków jest utrudniona, brak jest miejsca wystąpienia epicentrum wstrząsu. Dla różnych map są różne początki profili, nie ma zaznaczonych profili na mapach.
10. Str 88 podrozdział 5.3.3: „Wyniki przemieszczeń LOS po wstrząsach, uzyskane metodą DInSAR – wartości średnie (Tab. 7), w porównaniu do metody SBAS (Tab. 10) różniły się od 1 do 10 mm, a dominanta była równa 3 mm.” Natomiast niżej w wypunktowaniach są różnice rzędu 60, 70 a nawet 90mm. To która informacja jest prawdziwa?
11. W rozdziale 5.4 przeprowadzono porównanie skumulowanych LOS z wynikami pomiarów niwelacyjnych. Czy można porównywać przemieszczenia pionowe i LOS na wprost?
12. W podrozdziale 5.6.1 na rysunkach 54, 55, 56 przedstawiono histogramy zmiennych uwzględnianych następnie w modelowaniu. Dla większości zmiennych bazowanie na rozkładzie normalnym nie jest właściwe, a zatem błąd średni i odchylenie standardowe nie są właściwymi miarami. Czy rozważano inne rozkłady statystyczne w odniesieniu do tych zmiennych?
13. W jaki sposób przyjmowano zmienne niezależne dla modelu RFR? Na przykład jak opisywano czas eksploatacji (CTE)? Czy uwzględniono specyfikę systemu filarowo-komorowego dwufazowego stosowanego w KGHM?
14. W rozdziale 6 przedstawione są wyniki całościowe badań. Pewne wątpliwości budzą odpowiedzi na pytania 6 i 7. Brak jest szczegółowego odniesienia do uzyskanych wyników analiz. Zatem nasuwa się kilka pytań:
Czy wyniki dotyczące modelowania odnoszą się do przemieszczeń LOS czy do maksymalnych wartości przemieszczeń LOS?
Czy uzyskane wyniki dotyczące możliwości modelowania można uogólniać?
Jaki jest zakres i kryteria stosowania rozwiązania (całe pola przemieszczeń, inne Tereny Górnicze w LGOM, inne kopaliny)?

Jako istotne osiągnięcia uzyskane przez Autorkę w trakcie realizacji recenzowanej dysertacji doktorskiej można wymienić:

1. Wielowątkowa analiza podstaw teoretycznych zagadnienia zawierająca się w różnych dyscyplinach naukowych.
2. Przegląd dostępnej światowej literatury naukowej z zakresu wiedzy obejmującej dysertację doktorską.

3. Umiejętność pozyskiwania i przetwarzania danych odnośnie procesów towarzyszących eksploatacji górniczej.
4. Wyselekcjonowanie istotnych parametrów górniczo-geologicznych mających wpływ na kształtowanie się zmian w polu przemieszczeń, indukowanych wstrząsami górniczymi.
5. Umiejętność stawiania pytań naukowych, planowania badań oraz wnioskowania na podstawie uzyskanych wyników.

Konkluzja

Po przeanalizowaniu przedstawionej dysertacji doktorskiej mgr inż. Karoliny Owczarz stwierdzam, że praca ta spełnia wymagania zawarte w ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (z późniejszymi zmianami). Recenzowana praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego między innymi w zakresie dyscypliny naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. W związku z tym stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Karoliny Owczarz do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.

