

Dr hab. inż. Marek Stanisław Mróz
Katedra Geodezji
Instytut Geodezji i Budownictwa
Wydział Geoinżynierii
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Olsztyn, 20 lipca 2023 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Dariusza Głąbickiego

sporządzona na zamówienie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka dr. hab. inż. Roberta Króla, prof. Politechniki Wrocławskiej (pismo nr RDND08/66/2023 z dnia 23 maja 2023 r.), na podstawie art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. z 2022 r., poz. 574 z późn. zm.).

Temat rozprawy: ***Displacement Forecasting in Mining Areas using Satellite SAR Interferometry and Machine Learning***

Promotorzy: **dr hab. inż. Wojciech Milczarek, dr Milan Lazecky**

1. Ocena formalna i metodyczna

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa ma formę monografii napisanej w języku angielskim, która została zrealizowana dzięki współfinansowaniu ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, projekt InterDok – Programy Interdyscyplinarnych Studiów Doktoranckich na Politechnice Wrocławskiej, nr projektu POWR.03.02.00-00-I003/16. Integralną częścią studiów doktoranckich był staż naukowy zrealizowany na Uniwersytecie w Leeds (Anglia) pod kierunkiem dr. Milana Lazecky’ego, który w mojej opinii w pełni przyczynił się do końcowego kształtu niniejszej rozprawy.

„Nie rób z doktoratu arcydzieła” – radził kiedyś doktorantom Waldemar Łysiak, pisarz i publicysta, historyk sztuki i architekt. Dlaczego ten cytat przyszedł mi na myśl przy lekturze recenzowanej rozprawy? W pierwotnej wersji zamierzałem bowiem rozpocząć recenzję od sformułowania: „Dwieście czterdzieści trzy...”, bowiem 243 pozycje liczy bibliografia zamieszczona w rozprawie. Tak wielka liczba jest rzadko spotykana w dysertacjach z obszaru nauk technicznych i budzi podejrzenie, że zamiarem autora jest stworzenie „arcydzieła”. Po gruntownym zapoznaniu się z treścią rozprawy stwierdzam jednak, że bogata bibliografia dobrze odzwierciedla jej interdyscyplinarność i komplementarność modułów badawczych. Autor opanował pokusę pisania wszystkiego co wie i jednocześnie zastosował – w moim mniemaniu – nowatorski styl pisania rozpraw, gdzie każdy rozdział jest opatrzony wstępem zapowiadającym jego treść, kończąc na zwięzłym jego podsumowaniu.

Rozprawa składa się z siedmiu zasadniczych rozdziałów ujętych w ciekawą sekwencję. Rozdział 2 zatytułowany „*Surface displacements induced by mining – determination, modeling and forecasting*”

omawia zjawisko deformacji, przemieszczeń i osiadań indukowanych działalnością wydobywczą oraz metody ich pomiaru, modelowania i predykcji. Rozdział 3 „*Satellite SAR Interferometry*” wprowadza czytelnika w podstawowe zagadnienia interferometrii radarowej i krok po kroku doprowadza do zastosowań tej techniki pomiarowej w wyznaczaniu przemieszczeń terenu wywołanych działalnością wydobywczą. Rozdział 4 „*Machine Learning as a data processing tool*” to przeskok w dziedzinę uczenia maszynowego i głębokiego uczenia, w którym scharakteryzowano istotę zagadnienia, kończąc na zastosowaniu tych metod do predykcji deformacji na podstawie „historycznych” szeregów czasowych pomiarów InSAR. W rozdziale 5 „*Study area*” autor analizuje Lubiąsko-Głogowski Okręg Miedziowy pod względem jego charakterystyki geologiczno-górnictwa oraz specyfiki zachodzących deformacji wolnozmiennych i „incydentów parasejsmicznych” indukowanych działalnością górnictwa. W rozdziale 6 „*Determination of surface displacements using InSAR*” – bardzo obszernym – autor przedstawia w sposób niezwykle szczegółowy cały proces przetwarzania MTInSAR, w tym dwie podstawowe metody: PSInSAR oraz SBAS, wraz z zastosowanymi kluczowymi parametrami obliczeniowymi. Z kolei w rozdziale 7 „*Subsidence prediction using time series forecasting*” powraca do metod predykcji deformacji przy wykorzystaniu metod uczenia maszynowego i szeregów czasowych pomiarów InSAR. Podaje równocześnie metryki zastosowane do oceny wydajności i dokładności zastosowanych modeli. Rozdział 8 „*Results and discussion*” jest skondensowanym opisem wyników, które zaspokajają ciekawość poznawczą autora i czytelników w zakresie możliwości zastosowania uczenia maszynowego i interferometrii InSAR do predykcji deformacji i przemieszczeń terenu, przedstawioną na początku jako cel rozprawy. Rozdział 9 „*Summary*” streszcza główne konkluzje, sygnalizuje ograniczenia metod i rekomenduje dalsze badania.

2. Ocena merytoryczna i kwalifikacja rozprawy

Na tle oceny metodycznej chciałbym w kolejnej części recenzji rozprawy odnieść się do meritum zagadnień oraz samej monografii. Na s. 23 powtórzony jest fragment tekstu następującej treści: „*The remote sensing method of satellite SAR interferometry (InSAR) has found application in monitoring ground surface displacement in mining areas, as a complementary method to traditional measurement methods such as leveling and Global Navigation Satellite System (GNSS). InSAR provides displacement measurements with high spatial and temporal resolution over wide areas, compared to scattered measurements by traditional methods.*” Jest to oczywisty błąd redakcyjny. Ważne założenie merytoryczne zawiera zdanie na s. 27: „*Due to the characteristics of the chosen study area, the phenomenon of subsidence will be described with the focus on the effects of mining at high depths in the form of continuous deformations*”, precyzujące że chodzi o **predykcje osiadań w formie deformacji ciągłych, wywołanych eksploatacją na dużych głębokościach**. Na s. 28 przedstawiono bardzo precyzyjny schemat zjawiska osiadania terenu, który wiele wnosi do dalszych rozważań. Kolejna uwaga dotyczy opisu konfiguracji orbitalnej satelitów Sentinel-1 A/B – pkt 3.1.2 „*Geometry of SAR acquisition*”. Zabrakło mi informacji, że cechą charakterystyczną heliosynchronicznych orbit S-1 A/B jest obrazowanie „*dawn & dusk*”, czyli „świt i zmierzch”, oraz podania czasu (godziny) przelotu nad obszarem obrazowania dla orbity zstępującej (DESC) i wstępującej (ASC). To odróżnia satelity SAR od satelitów „optycznych”. Ściśle rzecz ujmując, wbrew stwierdzeniu autora satelity Sentinel-1 A/B nie pracowały w trybie „tandem”, gdyż nie dochodziło do żadnej synchronizacji sygnałów między nimi, jak to było dla misji TanDEM-X/TSX. Autor „stracił też

doskonałą okazję”, aby uzupełnić rys. 3.2 lub dodać nowy na s. 40, ilustrujący zależność kątów padania i obrazowania (*look angle, incidence angle, imaging angle*), co wyraźnie wskazał w tekście. Takich rysunków nigdy dość, ponieważ te kąty są nagminnie mylone. Na s. 63 w trzecim wierszu paragrafu 4.1.2 chyba omyłkowo napisano „*Supervised*” zamiast „*Unsupervised*”.

Bardzo przejrzysty i idący od ogółu do szczegółu jest rozdział 4.2 „*Deep Neural Networks*”, jak również kolejny „*Machine learning with time series data*”, w którym autor stwierdza wprost, co jest jego głównym zamiarem: „(...) ***with enough input-output examples, the machine learning algorithm could also learn the task of time series forecasting. (...) This problem is solved by transforming the time series into a supervised learning problem***”. Innymi słowy: przy przekształceniu szeregów czasowych na wystarczająco liczny zbiór wzorców (*examples*) można zadanie predykcji potraktować jako zadanie nadzorowanego uczenia maszynowego. To jest moim zdaniem *clou* pracy! Kolejna drobna uwaga redakcyjna – na s. 91 w podrozdziale 6.2.2. w zdaniu „*The interferogram image (phase difference between reference and secondary acquisitions) is calculated as a complex conjugate of the reference and secondary phase images*” zabrakło wyrazu „multiplication”.

In plus pracy, co chciałbym wyraźnie zaznaczyć, należy poczytać uwzględnienie zmienności kątów obrazowania w obrębie całej sceny: „*Incidence angles (θ asc and θ dsc) were assumed to be variable across the SAR scene, to increase the decomposition accuracy, as in [65]*”. Drobna uwaga – na s. 111 pojawił się błąd popełniany nagminnie we wszystkich językach: „*the most optimal*” (‘najbardziej optymalny’). To pleonazm.

Kolejna uwaga jest bardziej ogólna i zasadnicza. Przy wyznaczaniu deformacji z „przeciwstawnych” orbit ASC i DESC, po rozkładzie „wektorów” ukośnych ASC+DESC na komponenty wertykalny oraz horyzontalny W-E chyba nie powinno się już analizować takich wątpliwych zależności, jak zmiana pojedynczej odległości ukośnej LOS (*Line-Of-Sight*) – ASC lub DESC a wartość komponentu wertykalnego. Wiadomo, że zmiana odległości LOS może być wywoływana przez przemieszczenie pionowe, poziome lub oba. I tego nie da się rozstrzygnąć jednoznacznie z jednej orbity. LOS to tylko zmiana odległości ukośnej od anteny satelity do danego miejsca na Ziemi. Nic więcej. Reszta to „spekulacje”. Przy wydobywczym deformacjach terenu to grawitacyjne zapadanie się gruntu jest przyczyną również przemieszczeń poziomych i ruchu obu stron niecki w przeciwstawnych kierunkach (W-E). Dlatego porównanie przemieszczenia LOS do niwelacji geodezyjnej przeprowadzone na s. 141–142 (rys. 8.24 i 8.25) nie wydaje mi się jakoś szczególnie wartościowe. Być może moja opinia w tym zakresie ożywi dyskusję podczas obrony rozprawy? Z drugiej strony interesująca może być asymetria (kształt) niecek, co oczywiście uzasadnia obliczanie komponentu poziomego W-E. Rys. 8.13 (s. 129) to bardzo ładna ilustracja wyników. Najogólniej praca jest niezwykle estetyczna i bogato ilustrowana. W tym miejscu bardzo pozytywnie oceniam czteropunktową argumentację odrzucenia wyników metody PSInSAR (s. 144) i przyjęcia do predykcji deformacji wyników metody SBAS. Rys. 8.27 i 8.28 uznaję za mocną walidację wyników interferometrycznych. Dyskusja wyników predykcji jest przedstawiona wyczerpująco i merytorycznie. Ilustracje są jednoznaczne, a ich skomentowanie bardzo dobre.

Rozdział 9, podsumowujący, zawiera pięć wniosków, co do których mam pewne wątpliwości. Pierwszy wniosek (s. 161) wydaje mi się nader trywialny, wręcz zbędny, długi jest dość oczywisty, trzeci natomiast (szczególnie jego dwa ostatnie zdania) stanowi niezwykle ważny osąd badanych metod. Autor nie sili się na „masowanie” wyników i „koloryzowanie” efektów. Uczciwość naukowa zatriumfowała. Widać ją też w akapicie dotyczącym ograniczeń metod predykcji deformacji. Autor na zakończenie otworzył sobie furtkę (nam wszystkim, parającym się tymi zagadnieniami też) do

dalszych badań, które mogą „poprawić notowania” metod uczenia maszynowego w zagadnieniach poruszanych w dysertacji, pisząc: „*Other data, such as mining data (e.g. seam thickness, temporal progress of exploitation), geological data (e.g. geological structure of rock mass layers) or other types of data that could be used as covariates, were not considered. The integration of additional data would lead to more complex models, with the possibility of examining the influence of individual factors on the occurrence of displacements*”. Innymi słowy: trzeba zasilić bazę wiedzy o inne elementy, które znamy, a wtedy metody ML i DL pokażą swoje mocne strony. Na koniec autor przypomina, że indukowana eksploatacyjnie parasejsmiczność może „płatać figle” w postaci nagłych, szybkich deformacji wymykających się „statycznym” modelom.

Na zakończenie mojej recenzji chciałbym postawić kilka szczegółowych pytań do bezpośredniej dyskusji z doktorantem w trakcie obrony:

1. Czy może Pan odnieść się do pewnej rozbieżności w tekście – s. 49: „*Stable scatterer pixels in the original variant of this method are selected using a coherence-based approach, contrary to the amplitude dispersion technique adapted in the PSInSAR method*” i s. 162: „*Secondly, when determining the time series of displacements using the SB method, no coherence-based selection of measurement points was carried out*”. Jak więc w praktyce typował Pan piksele uznane za „punkty pomiarowe” w metodzie SBAS? Uwzględniając próg koherencji czy nie? W jakim środowisku obliczeniowym (programie) wykonywał Pan to przetwarzanie interferometryczne? Z informacji na s. 50 pośrednio wynika, że mógł być to pakiet StaMPS. Proszę o wyjaśnienie.
2. Na s. 89 napisał Pan: „*The Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) 1-arc second DEM [55] was used as a Digital Elevation Model throughout processing of SAR data in this thesis*”. Proszę o uzasadnienie wyboru spośród innych dostępnych i nowszych modeli o lepszej rozdzielczości geometrycznej i dokładności wysokościowej.
3. S. 97 – dlaczego wybrał Pan wartość 0.4 jako próg dyspersji amplitudy?
4. Na s. 100, wersy 2–5 napisał Pan: „*Interferograms were quality checked for phase unwrapping errors and missing data (e.g. a result of missing SLC burst information). For this reason, several interferograms were excluded from further processing, while ensuring the continuity of the SB network of interferograms*”. „*Several*” – czyli dokładnie ile? Jaki %?
5. Założenie na s. 103: „*A buffer of 100 meters around PS points was assumed for interpolation to increase the amount of grid data cells containing data from both paths*” – dlaczego 100 m? Proszę o uzasadnienie.
6. S. 107 – dane treningowe obejmowały 47 miesięcy, dane testowe (predykowane) – 6 miesięcy. Stosunek obu serii wynosi 8:1. Czy jest w tym jakaś głębsza myśl? Czy ta relacja jest graniczna, czy myśli Pan też o innych proporcjach długości szeregów?
7. S. 109–110 – co leżało u podstaw decyzji wyboru strategii „*one-shot multi-step*”?

Uwzględniając wymogi ustawowe oraz dobre praktyki i zalecenia Rady Doskonałości Naukowej, po gruntownym zapoznaniu się z treścią rozprawy, wyrażam swoją opinię w trzech głównych zakresach oceny dysertacji doktorskiej mgr. inż. Dariusza Głąbickiego:

1) ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora w dyscyplinie albo dyscyplinach:

Z rozprawy wynika, że kandydat do stopnia doktora ma szeroką wiedzę teoretyczną zarówno w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, jak i w dyscyplinach/specjalnościach

pokrewnych (geodezja, kartografia, teledetekcja, uczenie maszynowe). Zna techniki INSAR, rozumie podstawy fizyczne obserwacji i pomiarów teledetekcyjnych oraz matematyczne metody ich analizowania.

2) ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora:

Rozprawa doktorska prezentuje wyniki eksperymentów obliczeniowych prowadzonych na danych teledetekcyjnych. Kandydat do stopnia doktora potrafi zaprezentować koncepcje, metodykę, uzasadnić założenia i poprawnie skomentować wyniki. Ma świadomość wartości rzetelności naukowej eksperymentów, powtarzalności wyników i skrupulatności w obliczeniach. Potrafi też ocenić, w jakim kierunku należy podążać, uwzględniając dotychczasowe wyniki badań.

3) ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych:

Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, daje wkład do rozwoju dyscypliny i poszerza jej warsztat badawczy.

Kwalifikacja rozprawy

Zgodnie z wymogami formalnymi stwierdzam, że rozprawa spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. z 2022 r., poz. 574 z późn. zm.). Na tej podstawie wnoszę o dopuszczenie Kandydata do dalszych etapów procedury doktoryzowania przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej.

Olsztyn, 20 lipca 2023 r.