

Prof. dr hab. inż. Andrzej Borkowski  
Instytut Geodezji i Geoinformatyki  
Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji  
Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu

Wrocław, 4.03.2019 r.

## **RECENZJA**

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Bartłomieja **ĆMIELEWSKIEGO**

na temat:

**„Ocena metod pozyskiwania danych geometrycznych dla potrzeb wczesnego ostrzeżenia przed zagrożeniami osuwiskowymi”**

przygotowana na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, prof. dr hab. inż. Bernarda Kontnego z dnia 28.01.2019 r.

### **1. Ogólna charakterystyka pracy**

Rozprawa przedstawiona została na 196 stronach maszynopisu. W treść pracy wkomponowano 124 rysunki oraz 40 tabel. Spis literatury obejmuje 224 pozycje, z tego większość w języku angielskim.

Pracę podzielono na osiem rozdziałów, przy czym zasadniczą treść badawczą pracy przedstawiono, na około 90 stronach, w rozdziałach czwartym, piątym i szóstym.

### **2. Ocena merytoryczna pracy**

Ruchy mas skalnych są jednym z głównych zagrożeń środowiskowych występujących na świecie, na wszystkich szerokościach geograficznych. Również w Polsce zagrożenie to występuje - głównie w formie osuwisk. Liczba osuwisk występujących w Polsce szacowana jest na około 60 000, z czego około 95% osuwisk występuje na obszarze Karpat fliszowych. Na obszarze części gmin karpackich około 30 do 40% powierzchni stanowią obszary osuwiskowe. Licz-

by te pokazują skalę problemu. Ochrona obszarów zurbanizowanych oraz infrastruktury przed skutkami osunięcia mas skalnych stanowi istotne wyzwanie na tych obszarach, zwłaszcza w kontekście zmian klimatycznych. Różne działania obejmujące identyfikację i kartowanie osuwisk, modelowanie podatności osuwiskowej, monitorowanie stanu aktywności osuwiska oraz działania osłonowe podejmowane są w ramach programów geozagrożeń (w Polsce program SOPO). Wiarygodne monitorowanie aktywności osuwiska jest prawdopodobnie najważniejszym z wymienionego spektrum działań ponieważ na podstawie wyników monitoringu podejmowane są stosowne działania osłonowe bądź inne działania minimalizujące skutki ruchów masowych. W obszarze zagadnień związanych z monitoringiem mieści się również recenzowana rozprawa doktorska.

Celem pracy była bowiem ocena obecnie stosowanych metod monitorowania osuwisk pod względem dokładności, ekonomiki, a przede wszystkim możliwości wykrycia inicjalnych ruchów gruntu oraz możliwości ich implementacji w systemach wczesnego ostrzegania, a także zaproponowanie własnego rozwiązania urządzenia kontrolno-pomiarowego przetestowanego w warunkach laboratoryjnych oraz in-situ. Autor postawił tezę mówiącą, że możliwe jest użycie niskobudżetowego systemu wczesnego ostrzegania, który pozwoli na uruchomienie optymalnych obserwacji geodezyjnych i teledetekcyjnych.

Sformułowany cel naukowy oceniam pozytywnie, jako poprawny, przy czym główny aspekt innowacyjno-badawczy podjętego tematu polega na propozycji własnego urządzenia kontrolno-pomiarowego. Podjęty tematyka ma duże znaczenie praktyczne. Opracowanie bowiem taniego, skutecznego systemu monitorowania bazującego na tanich czujnikach typu MEMS pozwoliłoby na objęcie monitoringiem geodezyjnym większej liczby osuwisk stanowiących bezpośrednie zagrożenie dla infrastruktury.

Po sformułowaniu celu badawczego i motywacji, Autor przedstawia w rozdziale 2. charakterystykę problemu badawczego. Przedstawiono tutaj szerokie tło obejmujące szczegółowe informacje dotyczące osuwisk, mechanizmy działające na osuwisku, stateczność zboczy i metody obliczania stateczności, rodzaje gruntów, informacje z zakresu reologii oraz uwarunkowania prawne. Można dyskutować, czy wszystkie te informacje są potrzebne w kontekście tematu pracy, ale niewątpliwie pokazują szerokie tło problemu. Kolejny podrozdział dotyczy charakterystyki metod geodezyjnych, teledetekcyjnych, fizycznych, geofizycznych i geotechnicz-

nych stosowanych w badaniach osuwiskowych. W odniesieniu do tego fragmentu rozprawy pojawia się pytanie (str. 42 pracy): Jak współczynniki typu NDVI i inne mogą być wykorzystane do oceny stateczności zbocza? Uwaga druga: tabela 8 (str. 43) nie uwzględnia darmowych danych z konstelacji Sentinel, w części dotyczącej satelitarnej interferometrii radarowej. I uwaga edycyjna: rysunek 28 (str. 50) nie przedstawia żadnych informacji. Omawiany rozdział zamykają założenia systemów monitoringu i wczesnego ostrzegania.

Rozdział 3. przedstawia szczegółową charakterystykę obiektu badawczego – osuwiska Bardo-Janowiec. Charakterystyka obejmuje szczegółową lokalizację z uwzględnieniem zagrożenia dla infrastruktury, geologię i tektonikę obszaru badań, rozpoznania geofizyczne, badania geologiczne przeprowadzone na obiekcie i parametry morfometryczne osuwiska.

Rozdział 4. przedstawia badania wykonane na obiekcie. Na początek wykonano analizę materiałów kartograficznych pod kątem odwzorowania zasięgu osuwiska. Na obiekcie założono typową sieć kontrolno-pomiarową, w której wykonano pomiary kątowno-liniowe i niwelację precyzyjną. Obszar osuwiska pomierzono również techniką GNSS TRK. Wykonano skanowanie obszaru osuwiska z wykorzystaniem naziemnego skanera laserowego, pozyskano dane skanowania lotniczego z projektu ISOK oraz pozyskano chmurę punktów z wykorzystaniem fotogrametrii BLS. Dane pozyskane różnymi technikami posłużyły do obliczenia szeregu parametrów morfometrycznych osuwiska.

W podrozdziale 4.6 wyniki pomiarów poszczególnymi technikami wykorzystano do analizy deformacji osuwiska. Podano wartości przemieszczeń punktów sieci kontrolno-pomiarowej wyznaczone technikami geodezyjnymi. Ponadto, obliczono modele różnicowe zmian wysokości na podstawie pomiarów GNSS RTK oraz z wykorzystaniem technik teledetekcyjnych. Użycie tego ostatniego terminu jest dyskusyjne, autor wykorzystuje bowiem dane lotniczego skanowania laserowego, naziemny skaning laserowy oraz fotogrametrię BSL. Ostatecznie autor weryfikuje negatywnie te trzy metody w kontekście monitorowania obszarów objętych bardzo wolnymi ruchami osuwiskowymi. Konkluzja ta była w zasadzie do przewidzenia. Jednocześnie autor dostrzega potencjał tych metod w zakresie określenia zasięgu osuwiska.

Podrozdział 4.7 dotyczy analizy deformacji czoła osuwiska wykonanej na podstawie danych naziemnego skanowania laserowego. Analiza polega głównie na wykazaniu wyższości obliczania przemieszczeń w układzie obiektu nad przemieszczeniami w układzie skanera. Metoda

została zaproponowana we wcześniejszej współautorskiej pracy Doktoranta. Zarówno z rozprawy jak i wspomnianej pracy nie wynika jasno jak płaszczyzna reprezentująca obiekt wpasowywana jest w chmurę (chmury) punktów. Stwierdzenie „metodą najmniejszych kwadratów” jest niewystarczające i wymaga wyjaśnienia podczas publicznej obrony. Samą koncepcję rozpatrywania przemieszczeń w układzie obiektu należy ocenić pozytywnie.

Podrozdział 4.8 dotyczy pomiarów wgłębnych, wykonanych za pomocą kolumny inklinometrycznej. Interpretacja wprost i odwrotna wykazały nieprawidłowe zakotwienie rury inklinometrycznej.

Omawiany rozdział zamyka zestawienie danych meteorologicznych za okres od stycznia 1951 do grudnia 2017.

Rozdział 5. dotyczy autorskiej koncepcji urządzeń kontrolno-pomiarowych dla potrzeb wczesnego ostrzegania. W rozdziale tym przedstawiono ogólną dyskusję odnośnie wymogów systemu oraz koncepcję takiego systemu obejmującą sieć sensorów, przetwarzanie i klasyfikację danych, bazę danych, moduł obliczeniowy i decyzyjny, wizualizację wyników oraz predykcję. W dalszej części poruszono problematykę: komunikacji w sieci pomiarowej, charakterystyki urządzeń MEMS, zasady działania akceleratorów MEMS, pomiaru kątów za pomocą urządzeń MEMS. Informacje te stanowią punkt wyjścia do konstrukcji własnych urządzeń pomiarowych bazujących na układach czujników MEMS. Ważnym czynnikiem branych przy tym pod uwagę był koszt całkowity konstrukcji. Zaproponowano dwa zestawy urządzeń:

- czujnik Beta o dokładności 0,4mm/m i koszcie około 100 zł,
- czujnik Alfa o dokładności 0,03mm/m i koszcie około 750 zł.

Kolejne zagadnienia rozpatrywane w pracy to filtracja danych z urządzeń MEMS i kalibracja tych urządzeń. Skonstruowane urządzenia poddano testom laboratoryjnym, w których wyniki pomiarów za pomocą tych urządzeń odnoszono do pomiarów za pomocą tachimetru elektronicznego Leica TCA2003. Walidację wykonano zgodnie z odpowiednią normą ISO. Wyniki potwierdzono za pomocą testów statystycznych.

Omawiany rozdział 5. zamykają wyniki badań testowych przeprowadzonych na obiekcie Bar-do-Janowice. Pomiar z wykorzystaniem czujników Alfa i Beta wykonano w otworze inklinometrycznym a wyniki porównano do odczytów sondy inklinometrycznej. Ogólnie pozytyw-

nie oceniam prace badawcze i eksperymenty w zakresie konstrukcji własnych sensorów pomiarowych.

Rozdział 6. dotyczy dyskusji wyników. Dyskusję rozpoczynają rozważania o charakterze ogólnym dotyczące monitoringu, w szczególności autor definiuje trzy stopnie alarmów modułu predykcji w zależności od automatycznej oceny prawdopodobieństwa wystąpienia osuwiska. Jest to dyskusyjne (brak uzasadnienia dla podanych wartości) bowiem, zdaniem recenzenta, aktywacja osuwisk nie jest procesem liniowym i ewentualna predykcja w tym zakresie przekracza zakres zagadnień rozpatrywanych w pracy. W kolejnym podrozdziale 6.2 podjęta jest charakterystyka i klasyfikacja metod pomiarowych pod względem dokładności oraz zakres ich wykorzystania w obszarze związanym z monitorowaniem osuwisk. Analiza metod pomiarowych od strony ekonomicznej podana jest w podrozdziale 6.3 a wyniki tej analizy zestawiono w tabeli 38. W tabeli tej pominięto fakt, że interferometria radarowa może dostarczyć 2D i 3D informacji o deformacji, przy odpowiednim opracowaniu danych SAR. Podsumowaniem dyskusji jest propozycja metodyki prac kontrolno-pomiarowych na obiektach osuwiskowych. Metodyka ta bazuje na trzyczęściowej sieci kontrolno-pomiarowej oraz wykorzystaniu różnych technik w zależności prędkości ruchów osuwiskowych.

Pomijając wskazane elementy dyskusyjne, rozdział ten jest w sumie udaną próbą systematyki w zakresie metod pomiarowych. Rozważane elementy przedstawiono przejrzysto w postaci tabelarycznej.

Rozdział 7 dotyczy planów dalszych prac badawczych. W planach tych mieści się ciągły monitoring GNSS oparty o niskobudżetowe moduły typu U-Blox, hydrostatyczny pomiar osiadań, pomiar dronem z wykorzystaniem wielosystemowej głowicy pomiarowej, opartej na czujnikach MEMS.

Rozprawę zamyka rozdział 8 będący jej podsumowaniem. Przedstawiono tutaj podsumowanie treści pracy oraz kilka wniosków końcowych, z których za najważniejszy należy uznać ten wskazujący na możliwość wykorzystania tanich sensorów opartych na technologii MEMS w monitorowaniu osuwisk.

Oceniana praca stanowi cenne opracowanie w ramach ważnego, zwłaszcza w aspekcie aplikacyjnym, tematu związanego z monitorowaniem geozagrożeń. Temat ten został potraktowany w pracy bardzo szeroko. Wiele wniosków i ocen sformułowanych w pracy stanowi po-

twierdzenie istniejącego stanu wiedzy, jednak docenić należy jej syntetyczne i problemowe usystemowanie. Ponadto, istotnym wkładem w monitorowanie osuwisk mogą być, w ocenie recenzenta, zaproponowane w pracy systemy pomiarowe oparte o sensory typu MEMS.

Całość pracy stanowi logiczny układ. Rozprawa napisana dobrym językiem (zauważono nie-liczne drobne potknięcia, np. str. 86, pierwsze zdanie brzmi nielogicznie, str. 145 jednostka Gal?) na dobrym poziomie edycyjnym.

### **3. Podsumowanie i wniosek końcowy**

Oceniana rozprawa doktorska mieści się w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie geodezja i kartografia. Praca ta mieści się również w jednym z ważnych aplikacyjnych nurtów badań związanych z wykorzystaniem technik pozyskiwania danych geometrycznych (głównie geodezyjnych) na potrzeby monitorowania ruchów masowych. W pracy zaprezentowano oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorant wykazał, że potrafi samodzielnie prowadzić badania naukowe oraz, że posiadał odpowiednią wiedzę teoretyczną. Dlatego uważam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia warunki dla rozpraw doktorskich określone w art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. nr 65 poz. 595 ze zmianą w Dz. U. z 2005 r. nr 164 poz. 1365).

**Stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Bartłomieja Ćmielewskiego do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.**

