

Kraków, sierpień 2021

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Słomka

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica

w Krakowie

RECENZJA

Pracy doktorskiej Pana mgr Sylwestra Kamieniarza pt. „Predykcja zagrożenia osuwiskowego miasta Krakowa z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych i metod geostatystycznych” napisanej pod kierunkiem prof. dr hab. Antoniego Wójcika.

Przedstawiona do oceny praca doktorska miała na celu ilościowe oszacowanie zagrożenia osuwiskowego na terenie miasta Krakowa, zatem problemu niezwykle istotnego dla rozbudowy infrastruktury przestrzennej.

Praca liczy 132 strony tekstu, 275 pozycji literatury, 7 źródeł internetowych, 52 ryciny, 10 tabel i 2 fotografie. Całość pracy uzupełniają 4 załączniki.

Załącznik 1 zawiera numeryczne modele terenu 48 obszarów; załączniki 2a i 2b zestawienie osuwisk wykazujących aktywność w latach 1969-2019; załącznik 3 to mapa podatności osuwiskowej miasta Krakowa; a załącznik 4 stanowi mapa zagrożenia osuwiskowego miasta Krakowa.

W rozdziale 1. Wstęp Autor przedstawia przedmiot pracy – problematykę osuwisk na terenie miasta Krakowa i uzasadnia potrzebę opracowania, które będzie maksymalnie obiektywne i wesprze organy administracji samorządowej.

W rozdziale 2. Doktorant omawia cel i zakres pracy. Głównym celem pracy było ilościowe oszacowanie zagrożenia osuwiskowego na terenie miasta Krakowa z wykorzystaniem metod statystycznych krigingu i sieci neuronowych. Końcowy rezultat pracy poprzedzony był kilkoma etapami pomocniczymi: odtworzeniem historii aktywności osuwisk oraz oceną prawdopodobieństwa wystąpienia osuwisk i podatności osuwiskowej.

Rozdział 3. poświęcony jest charakterystyce obszaru badań: położenie i podział administracyjny, rzeźba terenu i jego pokrycie. Najważniejszą częścią tego rozdziału jest rzeźba terenu i jego budowa geologiczna, ponieważ są to czynniki najistotniejsze z punktu widzenia zagrożenia osuwiskowego. Autor omówił je bardzo kompetentnie i szczegółowo, z licznymi powołaniami literaturowymi.

Rozdział 4. to bardzo obszerny rozdział poświęcony historii badań ruchów masowych na terenie miasta Krakowa. To stosunkowo młoda historia, którą zainicjował prof. Alexandrowicz (1956) słynną pracą o obrywie skalnym pod klasztorem Opactwa Benedyktynów w Tyńcu. Prawdopodobnie miało to miejsce w 1892 roku i związane jest z trzęsieniem ziemi. W kolejnych pracach autorzy opisywali inne historyczne osuwiska. Po 1968 roku (uchwała KE Rady Ministrów) rozpoczęto systemowe rejestrowanie osuwisk i stref predysponowanych do powstawania osuwisk. Spowodowało to realizację szerokiego programu inwentaryzacji osuwisk na terenie całej Polski. Ustalono typy i stopnie aktywności osuwisk.

Autor precyzyjnie przedstawił rezultaty tych prac. W PIG-PIB wydano katalog osuwisk dla każdego województwa oraz Atlas Miasta Krakowa. W kolejnych latach, w oparciu o wydane ustawy prowadzono prace uszczegóławiające wcześniejsze wyniki prac i pokazujące stan aktualny.

Rozdział 5., niezwykle istotny, przedstawia charakterystykę osuwisk. Autor bardzo precyzyjnie scharakteryzował osuwiska w kilkunastu rejonach pod względem wielkości, typu, nachylenia i krzywizny stoków, miąższości i rodzaju zsuwu oraz budowy geologicznej. Najwięcej osuwisk zarejestrowano w południowym Krakowie, w obrębie utworów fliszowych i iłów miocenских. Pełny

przegląd aktywności osuwisk w każdym z wydzielonych rejonów przedstawia tabela 5.1. Najwięcej aktywnych osuwisk występuje w południowej części Krakowa, a nieaktywnych w rejonie Lasku Wolskiego.

Zdaniem Autora jest kilka przyczyn uaktywniania się osuwisk: infiltracja wód opadowych i roztopowych, erozyjna działalność cieków oraz przekształcenia antropogeniczne, takie jak eksploatacja górnicza czy zakładanie nasypów na terenie osuwisk.

Rozdział 6. poświęcony jest metodyce badań. Zestaw metod badawczych wykorzystanych przez Doktoranta jest imponujący i obejmuje: przetwarzanie danych ze skaningu laserowego, modele numeryczne, modele różnicowe, kriging i sieci neuronowe. W pierwszym podrozdziale Autor przedstawia założenia, na których opierają się metody wyznaczania zagrożenia osuwiskowego i uzasadnia przyjęcie koncepcji Varnes'a, zgodnie z którą zagrożenie osuwiskowe jest prawdopodobieństwem wystąpienia osuwiska w określonym przedziale czasu i obszarze, które jest wyznaczane ze wzoru:

$H = TP \times LS$, gdzie TP jest prawdopodobieństwem czasowym, a LS – podatnością osuwiskową.

W kolejnych podrozdziałach Autor omawia proces tworzenia numerycznych modeli terenu i różnicowych modeli terenu oraz bardzo szczegółowo opisuje geostatystyczne modele predykcji i sztuczne sieci neuronowe.

W rozdziale 7. Autor ocenił aktywność osuwisk na terenie miasta Krakowa w latach 1969 – 2019.

Wykorzystano dwa zbiory danych LIDAR z lotniczego skaningu laserowego, które pokrywają obszar Krakowa. Naloty wykonano w 2006 i 2012 roku. Dane zostały skorygowane w celu wyeliminowania błędów wpływających na jakość populacji. Dane posłużyły do wygenerowania numerycznych modeli terenu w różnych rozdzielczościach i formatach zapisu. Uzyskane modele oszacowano pod względem jakości i dokładności z wykorzystaniem metod matematycznych.

Podobne postępowanie zastosował Autor w przypadku tworzenia modeli różnicowych.

Podrozdział 7.1.6. omawia wyniki analiz. Badania umożliwiły rozpoznanie 65 niewielkich osuwisk nie ujętych w rejestrach. Większość z nich znajduje się w dorzeczu Wilgi. Wykazano także, że w okresie 6 lat, od 2006 do 2012 roku, uaktywniło się 111 osuwisk, głównie w skarpach przykorytowych rzek i potoków oraz w skarpach nieczynnych wyrobisk, w przeważającej liczbie położonych w południowej części Krakowa.

Analiza modeli pozwoliła ustalić, że uaktywnienie blisko połowy osuwisk miało związek z nasypami w obrębie koluwium lub bezpośrednio przy skarpie głównej.

W podrozdziale 7.2. Autor przeprowadził szczegółową analizę niezwykle obszernych materiałów archiwalnych z lat 1969-2019, a w rozdziale 7.3. zestawiał osuwiska aktywne w latach 1969-2019.

Rozdział 8. Poświęcony jest predykcji prawdopodobieństwa wystąpienia osuwisk na terenie miasta Krakowa z wykorzystaniem metod geostatystycznych. Wygenerowana powierzchnia prawdopodobieństwa wystąpienia osuwisk na terenie miasta Krakowa w latach 2020-2070 dobrze koreluje się z danymi uzyskanymi w oparciu o modele numeryczne i różnicowe. Tylko w dwóch rejonach uzyskane wartości budzą wątpliwości.

Rozdział 9. przedstawia wyznaczenie podatności osuwiskowej metodą sieci neuronowych. Analiza poprzedzona została badaniem reprezentatywności punktów. Autor przygotował 8 warstw tematycznych dla: spadków terenu, ekspozycji zboczy, wysokości bezwzględnej, wysokości względnej, indeksu zbieżności, utworów powierzchniowych, utworów podłoża podczwartorzędowego i odległości od nieciągłości tektonicznych.

Analiza metodą sieci neuronowych została przeprowadzona niezwykle profesjonalnie z oceną wrażliwości i wydajności sieci neuronowej. Efektem zastosowania sieci neuronowych jest oszacowanie podatności osuwiskowej miasta Krakowa zobrazowane na mapie.

Rozdział 10. odpowiada na sformułowany w tytule cel pracy – zagrożenia osuwiskowe miasta Krakowa. Z analizy wynika, że pod względem powierzchni obszarów zagrożonych na pierwszym miejscu są Swoszowice. W pozostałych dzielnicach prawdopodobieństwo zagrożenia wyższe od 0,6 stwierdzono w podobszarach dzielnic: Łagiewniki – Borek Fałęcki, Dębniki, Podgórze Duchackie, Bieżanów – Prokocim i Podgórze. Skalę problemu obrazuje fakt, że w obrębie obszarów o wysokim zagrożeniu ($> 0,6$) zlokalizowanych jest ponad 500 budynków, 15 km dróg oraz 3 km torów kolejowych. Liczby te są wielokrotnie większe dla niższych klas zagrożenia.

Rozdział 11. zawiera podsumowanie i wnioski.

Szczegółowa lektura pracy doktorskiej mgr Sylwestra Kamieniarza prowadzi mnie do stwierdzenia, że praca jest, zarówno pod względem merytorycznym, jak i redakcyjnym, wzorcowa. Jedyną wątpliwość budzić może nieco zbyt rozbudowany rozdział poświęcony metodyce.

Za najważniejsze osiągnięcia w pracy uważam:

1. Autor z powodzeniem zrealizował bardzo ważny dla dynamicznie rozbudowującego się miasta Krakowa, niezwykle pracochłonny i trudny temat.
2. Konstrukcja pracy jest jasna i konsekwentnie realizowana. Podkreślić trzeba świetny język i znakomitą szatę graficzną (zwłaszcza załączniki 3 i 4). Lista literatury przedmiotu jest niezwykle obfita i świetnie przywoływana.
3. Zestaw metod badawczych doskonale dobrany do realizowanego zadania. Podkreślam profesjonalne przedstawienie, co wskazuje na znakomite opanowanie procedur, umiejętne wykorzystanie i wyciągnięcie prawidłowych wniosków.
4. Przeprowadzone badania pozwoliły uzupełnić istniejący zbiór danych o zarejestrowanych osuwiskach o modele numeryczne i różnicowe, identyfikację stref przemieszczeń i rozpoznanie rzeźby osuwisk. Bardzo ważne jest powiązanie ruchów masowych ze zmianami klimatycznymi

oraz uzupełnienie zbioru o dodatkowe osuwiska i tereny zagrożone ruchami masowymi na terenie miasta Krakowa.

5. Dla prawie 40% osuwisk uaktywnionych w latach 1969 – 2019 stwierdzono korelację aktywności z występowaniem nasypów niekontrolowanych w obrębie koluwium lub w rejonie skarpy głównej. Autor uważa, że jest to efekt przekształceń antropogenicznych związanych z rozbudową Krakowa. To niezwykle istotna przestroga dla nadzoru budowlanego i deweloperów.
6. Autor trafnie ocenił przydatność metod geostatystycznych do wyznaczenia prawdopodobieństwa czasowego. Uzyskane wyniki wskazują, że metoda ta, generalnie godna polecenia, nie powinna być stosowana do osuwisk rozproszonych.
7. Niezwykle istotne jest stwierdzenie Doktoranta, poparte pracami innych autorów, że największy wpływ na podatność osuwiskową mają spadki terenu oraz odległość od nieciągłości tektonicznych.
8. Bardzo ważny wniosek dotyczy zagrożenia osuwiskowego dla Krakowa w ciągu najbliższych 50 lat. Autor wskazuje, że wystąpienia osuwisk o prawdopodobieństwie przekraczającym 0,6 dotyczy wielu dzielnic południowego Krakowa: Zbydniowic, Wróblowic, Swoszowic, Rajska, Soboniowic i Kosocic.
9. Mapy podatności i zagrożenia osuwiskowego miasta Krakowa w skali 1:25 000 mogą być nadzwyczaj przydatne dla planowania przestrzennego: infrastruktury drogowej, kolejowej, sieci mediów oraz zabudowy. Mogą być wykorzystane do projektowania odwodnienia zagrożonych terenów, co w ostatnich latach okazało się być niezwykle ważnym problemem dla funkcjonowania organizmu miejskiego.
10. Autorski model Doktoranta już doczekał się weryfikacji z rzeczywistością w dwóch rejonach. To najlepszy dowód na jego wartość dla planowania rozwoju Krakowa.

WNIOSEK KOŃCOWY

Rozprawa doktorska mgr Sylwestra Kamieniarza pt. „Predykcja zagrożenia osuwiskowego miasta Krakowa z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych i metod geostatystycznych” stanowi samodzielny, oryginalny dorobek naukowy Autora. Dyskusja wyników oparta jest na obszernym materiale, dokładnie zweryfikowanym, kompleksowo opracowanym kilkoma metodami i doskonale zinterpretowanym na bazie obszernej literatury przedmiotu. Świadczy o świetnym opanowaniu wiedzy teoretycznej i znakomitym przygotowaniu do samodzielnego prowadzenia badań naukowych w dyscyplinie geologia.

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim w ustawie o stopniach naukowych i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2003 r., nr 65, poz.595, z późniejszymi zmianami).

Stawiam wniosek do Rady Naukowej Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego o dopuszczenie mgr Sylwestra Kamieniarza do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Pracę doktorską Pana mgr Sylwestra Kamieniarza oceniam bardzo wysoko i wnioskuję o jej wyróżnienie.

