

## Streszczenie

Osuwiska są jednym z najczęstszych geozagrożeń środowiskowych występujących w różnych częściach świata. Osuwiska stanowią również poważne zagrożenie dla życia i funkcjonowania ludzi. W Polsce problem ruchów masowych występuje głównie na obszarze Karpat. Uaktywnienie się licznych osuwisk w 2010 roku w wyniku intensywnych opadów atmosferycznych przyniosło katastrofalne skutki. Podstawową metodą ograniczenia strat gospodarczych i środowiskowych spowodowanych ruchami masowymi jest identyfikacja i kartowanie obszarów osuwiskowych.

Jak dotąd identyfikacja osuwisk, wykonywana jest głównie za pomocą metod konwencjonalnych (analizy ukształtowania powierzchni terenu na podstawie wizji terenowych). Metody te wymagają dużych nakładów finansowych, czasowych oraz doświadczenia osób wykonujących identyfikację osuwisk. Szczególne trudności mogą występować w obszarach leśnych oraz terenach zabudowanych, gdzie stok może być obserwowany tylko fragmentarycznie, co utrudnia prawidłowe rozpoznanie i zaklasyfikowanie osuwiska. Lotniczy skaningu laserowy (ALS) to precyzyjna metoda trójwymiarowego obrazowania powierzchni Ziemi z zastosowaniem skanera laserowego umieszczonego na pokładzie samolotu. Dzięki efektywności systemów laserowych i przenikalności przez pokrycie roślinne nawet do 70%, możliwe jest skonstruowanie szczegółowego i dokładnego numerycznego modelu terenu (NMT) pozbawionego pokrycia roślinnego i wiernie obrazującego drobne formy mikrorzeźby powierzchni terenu, również dla obszarów zalesionych. Dzięki temu ALS zrewolucjonizował w ostatnich latach badania osuwiskowe.

Celem badań przedstawionych w niniejszej pracy jest wykorzystanie danych ALS do identyfikacji obszarów osuwiskowych. W pracy przedstawiono trzy główne nurty aplikacyjne danych ALS w kontekście osuwisk czyli identyfikacja już istniejących osuwisk, identyfikacja form wewnątrz osuwiskowych i określenie obszarów podatnych osuwiskowo. Do tego celu wykorzystane zostały dane ALS, które pozwoliły na wygenerowanie szerokiego zestawu pochodnych NMT. Ten szeroki zestaw pochodnych stanowił fundamentalne źródło do opracowania metodologii automatycznej identyfikacji osuwisk, ich charakterystycznych form oraz modelowania podatności osuwiskowej.

Automatyczna identyfikacja osuwisk na podstawie wyżej wymienionych pochodnych NMT została wykonana dzięki klasyfikacji nadzorowanej z zakresu uczenia maszynowego. Wśród metod klasyfikacji zarówno podejście pikselowe (PBA) oraz obiektowe (OBIA) zostało przetestowane. Dodatkowo różne aspekty wpływające na dokładność identyfikacji, czyli rozdzielczość NMT, istotność poszczególnych pochodnych, metody ich obliczania jak również parametry klasyfikacyjne zostały przetestowane pod kątem zwiększania końcowej dokładności identyfikacji. Otrzymane wyniki zostały porównane ze wzorcowymi mapami osuwisk z bazy danych SOPO. Wyniki różnych analiz wskazują iż ogólna dokładność automatycznie zidentyfikowanych map osuwiskowych oscyluje w granicach 80%. Ponadto wyniki wskazują na większą efektywność podejścia obiektowego. Należy jednak zaznaczyć, że efektywność zależy od tego czy charakterystyczne formy osuwiskowe i morfologia są

reprezentowane na NMT. Czynniki antropogeniczne lub środowiskowe, takie jak rolnictwo, denudacja lub wietrzenie powodują wygładzenie charakterystycznych form przez co identyfikacja osuwisk jest utrudniona.

W kontekście wykorzystania danych ALS do identyfikacji form wewnątrz osuwiskowych i tworzenia kompletnej mapy geomorfologicznej wykorzystano charakterystyki terenowe wygenerowane z wysokorozdzielczego NMT oraz analizę składowych głównych (PCA). Metody wspomagane komputerowo łącznie z analizą PCA i wysokiej rozdzielczości NMT generowane z danych ALS pozwalają na bardziej szczegółową reprezentację topograficzną. Wyniki tego podejścia uwypuklają morfologię osuwiska dzięki czemu można dokonać identyfikacji form osuwiskowych, czy też ocenić względny wiek osuwiska. Pozwala to na bardziej efektywną identyfikację charakterystycznych form osuwiskowych i generowanie bardziej kompletnych map geomorfologicznych osuwisk, które można wykorzystać do aktualizacji krajowych baz danych osuwiskowych.

Modelowanie podatności osuwiskowej przedstawia rozmieszczenie przestrzenne obszarów podatnych na osuwanie, gdzie każdy piksel odzwierciedla prawdopodobieństwo wystąpienia osuwisk. Modelowanie podatności dokonuje się na podstawie analizy poszczególnych czynników osuwiskowo twórczych mających wpływ na powstanie osuwiska np. nachylenie stoku, ekspozycja stoku, litologia czy też użytkowanie terenu. Wyniki modelowania podatności osuwiskowej dokonane w ramach pracy doktorskiej wskazują, że pogłębiona analiza danych ALS jest wystarczająca do poprawnego modelowania podatności osuwiskowej. Fakt ten jest istotny dla obszarów, gdzie pozyskanie dodatkowych danych o litologii, pokryciu terenu itp. jest problematyczne.

Reasumując, badania przedstawione w niniejszej pracy dowodzą iż rozszerzona analiza informacji topograficznej wygenerowanej z danych ALS pozwala na skuteczną automatyczną identyfikację osuwisk, na poziomie dokładności ogólnej rzędu 80% w przypadku obu podejść (pikselowego i obiektowego). Ponadto, wykazano, że na podstawie danych ALS możliwa jest identyfikacja charakterystycznych form osuwiskowych oraz ocena podatności osuwiskowej na terenach gdzie brak jest dodatkowych danych jak geologia, mapy pokrycia terenu.

**Słowa kluczowe:** osuwiska, identyfikacja osuwisk, modelowanie podatności osuwiskowej, formy osuwiskowe, klasyfikacja, lotniczy skaning laserowy