

Krzysztof Karwacki

## **Modele czasowo-przestrzenne rozwoju osuwisk przy wykorzystaniu metod fotogrametrycznych (na przykładzie wybranych osuwisk)**

### Streszczenie:

Celem pracy było odtworzenie etapów rozwoju wybranych osuwisk przy zastosowaniu metod fotogrametrycznych. Wykorzystano do tego cyfrową stację fotogrametryczną, która umożliwiła pozyskanie informacji o zmianie zasięgu oraz przemieszczeniach poziomych i pionowych z archiwalnych zdjęć lotniczych. Ważnym metodycznym celem pracy było określenie przydatności fotogrametrii niskiego pułapu z wykorzystaniem bezzałogowego statku latającego (BSL) do monitorowania aktywności osuwisk. W oparciu o sekwencję zdjęć lotniczych i zdjęć z BSL o różnej aktualności podjęto próbę wyznaczenia kierunków rozwoju osuwisk na stokach. Dane ilościowe dotyczące przemieszczeń z różnych okresów posłużyły do opracowania modeli czasowo-przestrzennych.

Przedmiotem badań były osuwiska zlokalizowane na obszarach o różnej genezie, na których znajduje się największa koncentracja ruchów osuwiskowych na obszarze Polski. Na północy Polski badania prowadzono na klifowym odcinku wybrzeża Bałtyku w Jastrzębiej Górze. W centralnej części kraju badaniami objęto osuwisko w Dobrzyniu nad Wisłą oraz osuwisko na skarpie odkrywki węgla brunatnego. Pozostałe 4 osuwiska znajdują się w obrębie jednostki magurskiej w polskiej części Karpat.

Dla obszaru badań pozyskano materiały fotogrametryczne wykonane w różnym czasie. Były to zarówno archiwalne zdjęcia lotnicze, NMT z projektu ISOK oraz zdjęcia wykonane BSL. Najstarsze zdjęcia lotnicze dotyczą osuwiska w Dobrzyniu nad Wisłą, które wykonano przed utworzeniem Jeziora Włocławskiego w 1959 r. Georeferencję archiwalnych zdjęć lotniczych wykonano na podstawie osnowy fotogrametrycznej, którą w większości pomierzono metodą GNSS w terenie. Opracowanie fotogrametryczne danych pozwoliło prześledzić rozwój osuwisk w 41 okresach pomiarowych.

W opisie ewolucji osuwisk wykorzystano dwa podejścia. Wykorzystanie tych metod zależne było od cech pokrycia powierzchni poszczególnych osuwisk. Pierwsze związane jest ze zmianami zasięgu i przemieszczeniami poziomymi, a drugie ze zmianami

pionowymi i ich objętościami. Zmiany poziome uzyskano z zobrażeń optycznych oraz w oparciu o ich interpretację stereoskopową. Na podstawie różnicy współrzędnych położenia obiektów charakterystycznych wyznaczono poziome wektory przemieszczeń pokazujące zmienną dynamikę ruchu koluwiów w granicach osuwisk. Skuteczność tej metody związana była z dostępnością takich obiektów na powierzchni osuwisk. Większe w tym zakresie możliwości do pomiaru niewielkich przemieszczeń z wykorzystaniem BSL miały osuwiska zlokalizowane w Karpatach, na powierzchni których było wiele takich obiektów, np. bloki skalne. Na osuwiskach w kopalni odkrywkowej i Dobrzyniu nad Wisłą pomiar w oparciu o punkty charakterystyczne nie był możliwy, a w przypadku osuwisk w Jastrzębiej Górze tylko w ograniczonym zakresie.

Drugie podejście w opisie ewolucji osuwisk związane jest ze zmianami pionowymi. Zmiany te uzyskano na podstawie różnicowych modeli terenu (RMT) wygenerowanych z 52 NMT o różnej aktualności. Na ich podstawie wyznaczono strefy oderwania i akumulacji koluwiów. Nie dla wszystkich okresów pomiarowych obliczono objętości zmian powierzchniowych. Rzadko udawało się obliczyć objętości dla całej powierzchni osuwisk. Wynikało to z braku pełnej informacji wysokościowej o powierzchni osuwisk z powodu roślinności oraz ze względu na błędnie sklasyfikowaną chmurę punktów. Objętości w strefie akumulacji dla większości osuwisk były wyższe niż objętości dla strefy oderwania. Różnica prawdopodobnie wynikała z mniejszej kompaktacji materiału osuniętego w stosunku do gruntów nienaruszonych procesami osuwiskowymi. W przypadku osuwisk w Kasince Małej, Dobrzyniu nad Wisłą i osuwiska w kopalni odkrywkowej sytuacja jest odwrotna, gdyż część koluwiów zdeponowana została w środowisku wodnym poniżej osuwiska.

Wykorzystując sekwencję zdjęć lotniczych i uchwycone na nich zmiany w zasięgu osuwisk pozwoliły wyznaczyć prawdopodobne kierunki rozwoju. Wykazano, że litologia podłoża w przypadku osuwisk karpackich ma decydujący wpływ na dynamikę i charakter przemieszczeń. Na podstawie szczegółowych NMT z BSL określono główne kierunki ruchu koluwiów w obrębie osuwisk.. W górnej części osuwisk w strefie skarpy głównej większy udział w przemieszczeniu koluwium ma składowa pionowa, a w środkowej i dolnej strefie większy udział w przemieszczaniu koluwium ma składowa pozioma. Pozwala to wyznaczyć prawdopodobny przebieg powierzchni poślizgu.

Badania potwierdziły przydatność fotogrametrii cyfrowej w pozyskaniu archiwalnej informacji o powierzchni osuwisk. Szczególnie cenne okazały się zdjęcia wykonane w okresie, w którym nie były prowadzone inne pomiary powierzchniowe. Analiza czasowa w przypadku osuwiska w Dobrzyniu nad Wisłą wykazała, że obecnie minimum 5 % jego powierzchni osuwiska znajduje się pod powierzchnią wody. Do oceny aktywności i określenia ilościowego przemieszczeń poziomych i pionowych sprawdzila się metoda z wykorzystaniem zdjęć z BSL. Dane uzyskane tą metodą cechują się dokładnością poziomą około 10 cm i wysokościową ok  $\pm 20$  cm, co sprawia że mogą być wykorzystywane do monitorowania aktywności osuwisk pozbawionych roślinności.

Przeprowadzone badania pozwoliły wysnuć następujące wnioski:

1. Osuwiska w Lachowicach i Milówce rozwinięte na piaskowcach gruboławicowych charakteryzują się przemieszczeniem gwałtownym i dobrze odzwierciedlającym się na obrazach optycznych oraz RMT. Główną przyczyną ich aktywności była infiltracja wód opadowych oraz podcięcie erozyjne stoku, na którym się rozwinęły. Po okresie krótkotrwałej, wzmożonej aktywności osuwiska osiągnęły stan równowagi.
2. Osuwiska w Szymbarku oraz w Kasince Małej rozwinięte przy dużym udziale łupków pstrych nie osiągnęły stanu równowagi. Na ich powierzchni stale zachodzą przemieszczenia poziome (Szymbark) oraz poziome i pionowe (Kasinka Mała).
3. Osuwiska rozwinięte na klifowym odcinku wybrzeża w Jastrzębie Górze mają decydujący wpływ na prędkość cofania się korony klifu, która w okresie od 1997 do 2019 wynosiła średnio 2,2 m/rok.
4. Osuwisko w Kasince Małej charakteryzuje się dużą zmiennością przestrzenną dynamiki przemieszczeń. Ruchy grawitacyjne w górnej i środkowej strefie osuwiska zachodzą w rynnach o ostrych krawędziach co spowodowane jest występowaniem dwóch nieruchomych pakietów piaskowcowych. W strefie łączenia się dwóch rynien osuwiskowych rejestrowane są ciągłe przemieszczenia poziome ze średnią prędkością 4,9 cm/dobę.