

Marcin Wódka

## **Uwarunkowania rozwoju osuwisk w rejonie Jeziora Rożnowskiego w świetle danych z lotniczego skaningu laserowego (ALS)**

### Streszczenie:

Celem rozprawy doktorskiej było określenie geologicznych przyczyn uaktywnień osuwisk w 2010 roku oraz latach późniejszych w rejonie Jeziora Rożnowskiego. Wykorzystano do tego różnicowe modele terenu (RMT) wygenerowane na podstawie danych ALS. W pracy określono ogólną przydatność RMT w badaniu osuwisk, zwracając uwagę na błędy jakie mogą wynikać podczas ich analiz. Wskazano różnice w określaniu aktywności osuwisk na podstawie obserwacji terenowych i wyników RMT, podkreślając istotę prawidłowej oceny aktywności w badaniu obecnych przyczyn rozwoju osuwisk. Powody uaktywnień ruchów masowych, badano głównie w oparciu o elementy rzeźby terenu i budowy geologicznej, która wg założeń autora, spośród czynników biernych ma największy wpływ na rozwój osuwisk. Obszar badań charakteryzuje się skomplikowaną budową geologiczną, reprezentowaną przez cztery jednostki tektoniczne (płaszczowiny: śląską, grybowską, Michalczowej i magurską) o zróżnicowanym wykształceniu litologicznym.

W pracy wykorzystano dane z czterech nalotów ALS, wykonanych w obszarze badań w okresie 2010 – 2019. W pierwszym etapie wyznaczono zasięgi osuwisk na podstawie materiałów archiwalnych, obserwacji terenowych oraz analiz numerycznych modeli terenu (NMT). Przetworzone dane ALS umożliwiły wygenerowanie RMT, na bazie których wyznaczono strefy aktywne. Dokładność uzyskanych RMT określono porównując je z wynikami monitoringu instrumentalnego na wybranych osuwiskach. Pozwoliło to również na określenie wpływu przemieszczeń wglębnych na deformacje powierzchni terenu. Określenie rzeczywistej aktywności osuwisk było podstawą statystycznego określenia przyczyn ich rozwoju w rejonie Jeziora Rożnowskiego. Wykorzystano do tego wyniki analiz RMT, obliczenia procentowego udziału powierzchni osuwisk w danym wydzieleniu litologicznym, obliczenia wskaźnika przemieszczeń oraz obliczenia podatności osuwiskowej metodą WoE (*Weight of Evidence*). W pracy wykorzystano oprogramowania Global Mapper 21, ILWIS 3.4 oraz Las Tools, które umożliwiły przetwarzanie NMT, obliczanie RMT, przygotowanie map czynników biernych oraz obliczanie podatności osuwiskowej.

Stan rozpoznania osuwisk w rejonie Jeziora Rożnowskiego w literaturze rozpoczyna się od opracowania wykonanego w 1935 r. na potrzeby budowy zapory wodnej w Rożnowie i kilku prac powojennych. W ostatnim dziesięcioleciu w rejonie badań wykonano rejestrację osuwisk w ramach projektu SOPO oraz szereg dokumentacji geologicznych. W czasie ostatnich lat miał miejsce znaczny wzrost ilości rozpoznanych osuwisk w otoczeniu Jeziora Rożnowskiego. W wyniku badań terenowych i analiz na potrzeby pracy doktorskiej wyznaczono ich 1275. Największa forma osuwiskowa zajmuje powierzchnię powyżej 100 ha, ale większość osuwisk w obszarze badań nie przekracza powierzchni 1 ha. Najwięcej zarejestrowanych osuwisk to zsuwy o charakterze złożonym, znacznie mniej osuwisk zakwalifikowano jako zsuwy rotacyjne i translacyjne. W obszarze badań występują też pojedyncze obrywy oraz spływy błotne lub rumoszowo-błotne. Średnie nachylenie powierzchni terenu objętej ruchami masowymi wynosi blisko 20°, przy czym osuwiska o powierzchni powyżej 2 ha charakteryzują się z reguły znacznie niższym nachyleniem rzędu 8-14°.

Wyniki analiz RMT z lat 2010 – 2019 wskazały, że po katastrofie osuwiskowej, która nastąpiła w 2010 roku, w rejonie Jeziora Rożnowskiego mogło dojść do uaktywnienia około 790 osuwisk. W większości były to uaktywnienia w obrębie starszych form osuwiskowych, tylko w 5,5%

przypadków zarejestrowano poszerzenie granic. Osuwiska nowopowstałe stanowiły natomiast 1,6% całkowitej liczby osuwisk i zarejestrowano je jedynie na RMT z okresu katastrofy osuwiskowej. W wyniku analiz zauważono duży wpływ utworów cienkoławicowych na rozwój osuwisk oraz zwiększoną rolę utworów gruboławicowych (zwłaszcza piaskowców ciężkowickich) w okresie długotrwałych opadów, jakie wystąpiły w 2010 roku. Istotną rolę w rozwoju osuwisk odgrywa tektonika. Potwierdza to fakt że większość osuwisk w obrębie których w okresie 2010 – 2019 doszło do co najmniej dwukrotnego uaktywnienia, rozwinęła się w strefach zaburzonych tektonicznie. Wiele z nich znajduje się w rejonie nasunięcia Przydonicy oraz nasunięcia płaszczowiny magurskiej na płaszczowinę śląską i grybowską. RMT umożliwiły też obliczenie wskaźnika przemieszczeń zdefiniowanego na potrzeby pracy jako stosunek objętości deformacji powierzchniowych na osuwiskach w danym wydzieleniu do powierzchni danego wydzielenia. Najwyższy wskaźnik dla wszystkich wykonanych RMT otrzymano dla warstw hieroglifowych płaszczowiny śląskiej. Na uwagę zasługują też wysoka pozycja piaskowców ciężkowickich, ale tylko w okresie bezpośrednio po wystąpieniu katastrofalnych opadów w 2010 roku.

Porównanie wyników analiz RMT z wynikami monitoringu instrumentalnego wybranych osuwisk pozwoliło na określenie dokładności RMT na poziomie 25-35 cm. Porównując wyniki pomiarów inklinometrycznych z RMT zauważono, że przemieszczenia, które zaszły poniżej 8,5 m p.p.t. nie odzwierciedlają się na powierzchni terenu.

W pracy przyjęto, że dla określenia przyczyn obecnego rozwoju osuwisk istotna jest obiektywna ocena ich aktywności, a dane wynikające z opracowań archiwalnych i terenowej (często subiektywnej) oceny mogą okazać się nie wystarczające. Zgodność okresów nalotów ALS z okresem kartowania osuwisk w południowo-wschodniej części obszaru badań, w ramach projektu SOPO, pozwoliła na porównanie dotychczasowych danych z wynikami analiz RMT. Zgodność wyników potwierdzono w 67% przypadkach. Zestawiono też błędy jakie mogą wynikać z analiz NMT oraz RMT. Przedstawiono przykłady osuwisk, na których działalność antropogeniczna doprowadziła do zmian widocznych na RMT, mogących doprowadzić do błędnej oceny ich aktywności.

W końcowej części pracy obliczono podatność osuwiskową wykorzystując metodę WoE. W obliczeniach uwzględniono następujące czynniki biernie: litologię, odległość od głównych dyslokacji tektonicznych, pokrycie terenu, ekspozycję stoków, nachylenie, wysokość bezwzględna, odległość od cieków oraz występowanie granic wydzielen litologicznych. Statystyczne przyczyny uaktywnień osuwisk obliczono w trzech wariantach: uwzględniając wszystkie uaktywnione osuwiska w okresie 2010 – 2019, osuwiska uaktywnione co najmniej dwukrotnie oraz strefy deformacji powierzchniowych. Wyniki wskazują na największe prawdopodobieństwo wystąpienia nowych ruchów w rejonie Biliska, Tęgoborzy, Znamirowic, Gródka nad Dunajcem, Bartkowej-Posadowej, Przydonicy, Zbyszyc, Kurowa oraz wschodnich obszarów Roztoki-Brzezin.

Badania pozwoliły na wykazanie silnego związku uaktywnienia osuwisk z litologią, obecnością granic wydzielen litologicznych oraz tektoniką. Znacznie mniejsze znaczenie mają pokrycie terenu, ekspozycja stoków, nachylenie, wysokość bezwzględna czy odległość od cieków. Do najbardziej podatnych na osuwanie należy zaliczyć utwory warstw hieroglifowych płaszczowiny śląskiej, warstw inoceramowych płaszczowiny magurskiej oraz obszary, w których występuje kontakt łupków pstrych z piaskowcami ciężkowickimi lub utworami warstw hieroglifowych. Uwarunkowania rozwoju osuwisk różnią się w zależności od ilości opadów atmosferycznych. W okresach mniej deszczowych istotne znaczenie mają utwory cienkoławicowe. W przypadku opadów katastrofalnych największe deformacje mogą zachodzić w obrębie wychodni piaskowców ciężkowickich. Analizy potwierdziły przydatność danych ALS, a w szczególności RMT w badaniu obecnych przyczyn

rozwoju ruchów masowych. Mimo dokładności RMT obarczonej błędem 25-35 cm, poprawnie analizowane pozwalają na określenie głównych trendów rozwoju osuwisk na dużych obszarach.