



Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Raport z testu badawczego dotyczącego zagrożenia osuwiskowego z wykorzystaniem metody LiDAR dla dwóch osuwisk położonych w południowo-wschodniej części miasta Rzeszów (powiat Rzeszów)

Nadzór merytoryczny

Dr Albert Ślęzak

1. Plan badawczy zawierający przebieg badań z podziałem na prace terenowe i laboratoryjne, wraz ze wskazaniem kolejnych kroków przebiegu prac badawczych

Prace terenowe

- wizja terenowa wraz ze wstępną analizą rzeźby terenu,
- analiza rzeźby terenu widocznej na osuwiskach położonych w południowo-wschodniej części miasta Rzeszów (powiat Rzeszów)
- identyfikacja obszarów potencjalnie objętych osuwaniem,
- identyfikacja strefy, która powinna zostać objęta analizami z wykorzystaniem technologii LiDAR,
- określenie granic, w których zostanie opracowany model różnicowy terenu na podstawie danych LiDAR.

Prace laboratoryjne

- wyznaczenie okresu, w którym przeprowadzona zostanie analiza LiDAR,
- wyznaczenie przedziałów czasowych, dla których przeprowadzona zostanie analiza LiDAR,
- wybór modeli terenu i ortofotomap na bazie których zostanie przeprowadzona analiza,
- budowa modelu różnicowego na bazie modeli terenu z danych LiDAR pozwalających na identyfikację zmian rzeźby terenu wynikających z ewentualnego osuwania,
- dopasowanie i nałożenie ortofotomapy i modeli rzeźby terenu uzyskanych na podstawie danych LiDAR,

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

- zaplanowanie typów grafik obrazujących zmiany powierzchni gruntu z wykorzystaniem obrazów LiDAR,
- wyznaczenie stref, gdzie stwierdzono aktywność osuwiskową,
- ocena aktywności osuwiskowej badanego obszaru.

2. *Opis przebiegu prac badawczych z uwzględnianiem założeń teoretycznych, opisu metody, ewentualnego poboru prób w terenie i kolejnych kroków prac laboratoryjnych.*

Założenia teoretyczne (LiDAR)

Technologia LiDAR (Light Detection and Ranging) to zaawansowana metoda teledetekcji polegająca na emisji impulsów laserowych w kierunku powierzchni Ziemi oraz pomiarze czasu powrotu odbitego sygnału. Umożliwia to bardzo dokładne określenie odległości i tworzenie szczegółowych modeli rzeźby terenu. W badaniach osuwisk LiDAR odgrywa kluczową rolę, ponieważ pozwala na precyzyjne odwzorowanie powierzchni nawet w trudnych warunkach terenowych. Szczególnie istotną funkcją tej technologii jest generowanie wysokorozdzielczych numerycznych modeli terenu (NMT), które umożliwiają identyfikację zarówno dużych, jak i subtelnych zmian morfologii stoków objętych ruchami masowymi. Dużą zaletą LiDAR jest możliwość filtrowania punktów odbitych od roślinności, takich jak drzewa czy krzewy. Dzięki temu można uzyskać rzeczywisty obraz powierzchni gruntu, nawet jeśli jest ona ukryta pod zwartą pokrywą roślinną. Pozwala to na dokładną analizę form typowych dla osuwisk, takich jak nisze, progi, jęzory czy strefy akumulacji, a także drobnych struktur niewidocznych w klasycznych badaniach terenowych. Dodatkowo porównywanie danych LiDAR z różnych okresów umożliwia prowadzenie analiz dynamicznych, czyli monitorowanie zmian zachodzących na stokach. Pozwala to określić tempo i kierunki przemieszczeń mas skalnych i zwiertzelinowych, co jest kluczowe dla oceny aktywności osuwisk oraz prognozowania ich rozwoju. W praktyce umożliwia to wykrywanie nawet niewielkich deformacji terenu, które mogą stanowić wczesny sygnał zagrożenia.

LiDAR znajduje szerokie zastosowanie zarówno w badaniach naukowych, jak i w zarządzaniu ryzykiem geologicznym. Dane z NMT stanowią podstawę do opracowywania map zagrożenia i podatności osuwiskowej, które są istotne w planowaniu przestrzennym i podejmowaniu decyzji inwestycyjnych. Szczególne znaczenie ta ma na obszarach o złożonej rzeźbie terenu, gdzie tradycyjne metody są mniej efektywne. Dzięki możliwości szybkiego pozyskiwania

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

dokładnych danych dla dużych obszarów oraz integracji z innymi źródłami informacji (np. zdjęciami lotniczymi czy danymi satelitarnymi), LiDAR znacząco zwiększa możliwości analityczne. Istotny jest także jego potencjał w systemach wczesnego ostrzegania – umożliwia wykrywanie zmian poprzedzających powstanie osuwisk. W efekcie stanowi skuteczne narzędzie wspierające identyfikację zagrożeń, zwiększające bezpieczeństwo ludzi i ograniczające straty materialne.

Położenie i główne cechy obszaru badań

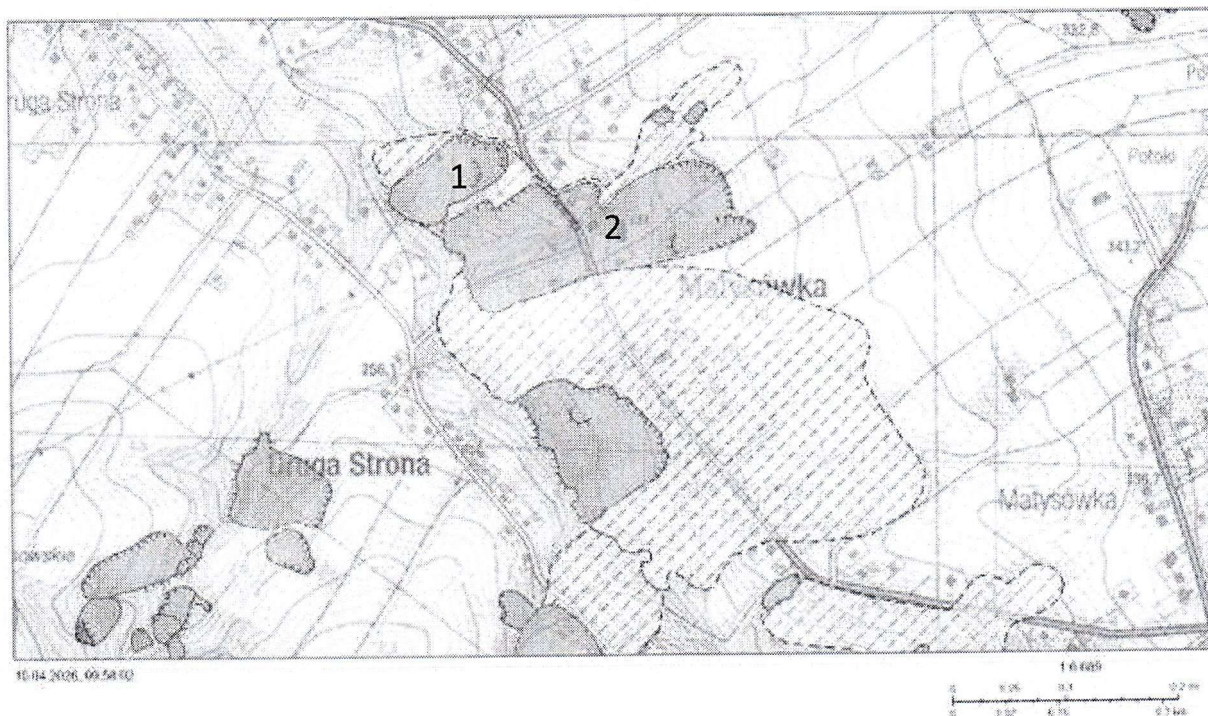
Test badawczy został wykonany na obszarze miasta Rzeszowa. Analizowano aktywność dwóch osuwisk położonych w południowo-wschodniej części miasta Rzeszowa (powiat Rzeszów), osuwiska te występują pomiędzy miejscowościami Druga Strona i Matysówka. Pierwsze z badanych osuwisk (numer 1) ma powierzchnię 1,24 ha. W aplikacji SOPO jest ono określone jako osuwisko skalno-zwietrzelinowe o miąższości koluwiów wynoszącej około 10 m (Rycina 1). Osuwisko jest oznaczone na mapie SOPO pod numerem 146867. Jest ono w 100% okresowo aktywne. Drugie z badanych osuwisk (numer 2) jest osuwiskiem mieszanym o powierzchni 5,3 ha. W aplikacji SOPO osuwisko to ma numer 146868, miąższość koluwiów wynosi w przypadku badanego osuwiska 15,5 m. Osuwisko jest okresowo aktywne w 22%, a w 78% nieaktywne. Osuwiska położone są w terenie zabudowanym, ich nagła aktywacja może zagrażać budynkom położonym na ich obszarze. Osuwiska położone są w terenie niezalesionym, przez środek osuwiska numer 2 przebiega droga. Osuwiska położone są na stoku, ich dolne partie kończą się w dolinie niewielkiego potoku (Rycina 1).

W celu precyzyjnego rozpoznania zmian w morfologii terenu na analizowanym obszarze wykonano porównanie numerycznych modeli terenu (NMT), opracowanych na podstawie danych pozyskanych za pomocą technologii LiDAR (Light Detection and Ranging). Do analizy wykorzystano dwa zestawy danych: najstarszy dostępny model z 2017 roku oraz najnowszy, odpowiadający stanowi z 2025 roku. Zestawienie tych dwóch modeli powierzchni terenu umożliwiło utworzenie różnicowego modelu terenu, który ilościowo obrazuje zmiany rzeźby terenu zachodzące w ciągu 8 lat. Wysoka rozdzielczość przestrzenna oraz duża dokładność wysokościowa danych LiDAR pozwoliły na detekcję nawet niewielkich, lokalnych deformacji powierzchni terenu, potencjalnie związanych z aktywnością procesów osuwiskowych. Dodatkowo uzyskane wyniki porównano z modelem rzeźby terenu z 2024 roku, również bazującym na danych LiDAR, co znacząco ułatwiło ich interpretację w kontekście przestrzennym. Analiza rozkładu przestrzennego wartości różnicowych umożliwiła wyodrębnienie stref o najwyższym natężeniu zmian. Przeprowadzone obliczenia pozwoliły ponadto na określenie zarówno tempa, jak i kierunku

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

przemieszczeń mas ziemnych w poszczególnych częściach badanego obszaru. Na tej podstawie sformułowano wnioski dotyczące dynamiki i charakteru ruchów osuwiskowych.

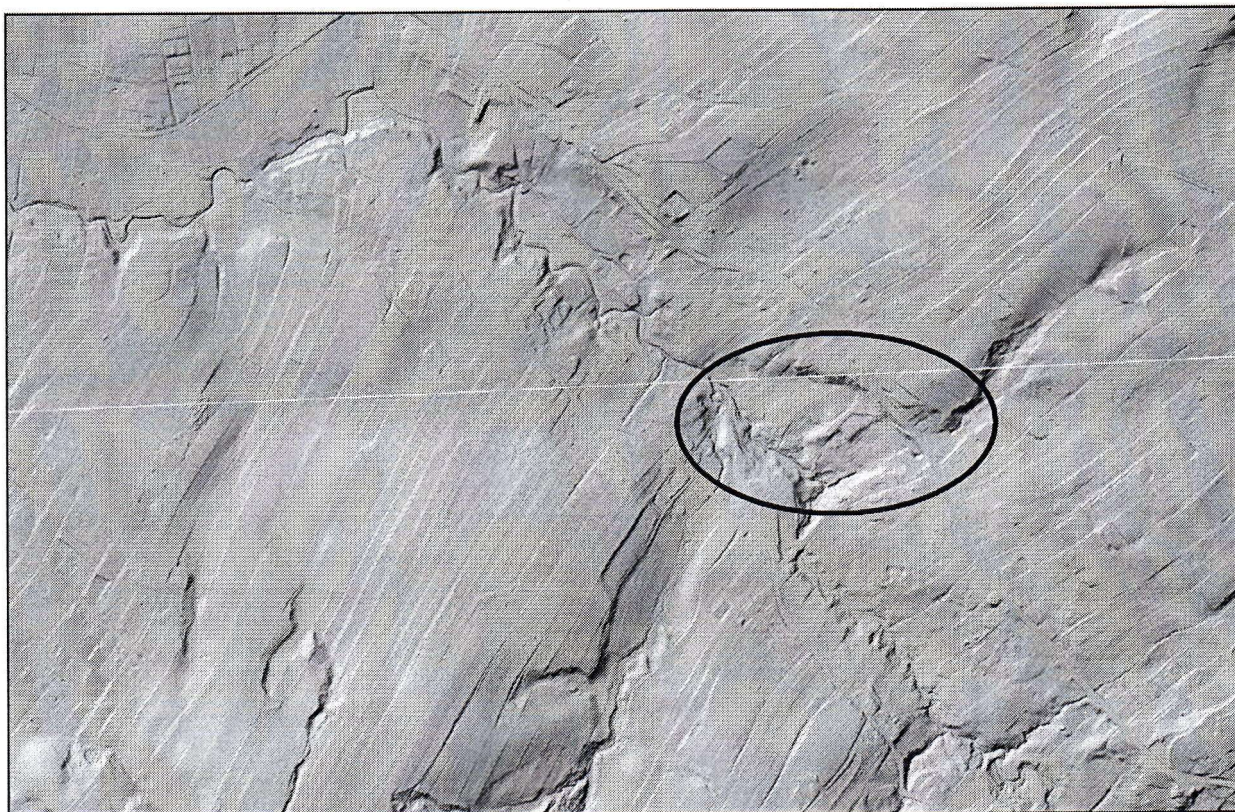


Rycina 1. Lokalizacja osuwisk, dla których przeprowadzono analizę. Osuwiska położone są w południowo-wschodniej części miasta Rzeszów (powiat Rzeszów)

Źródło: Mapa pochodzi z zasobów witryny internetowej Projektu SOPO prowadzonej przez PIG-PIB.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

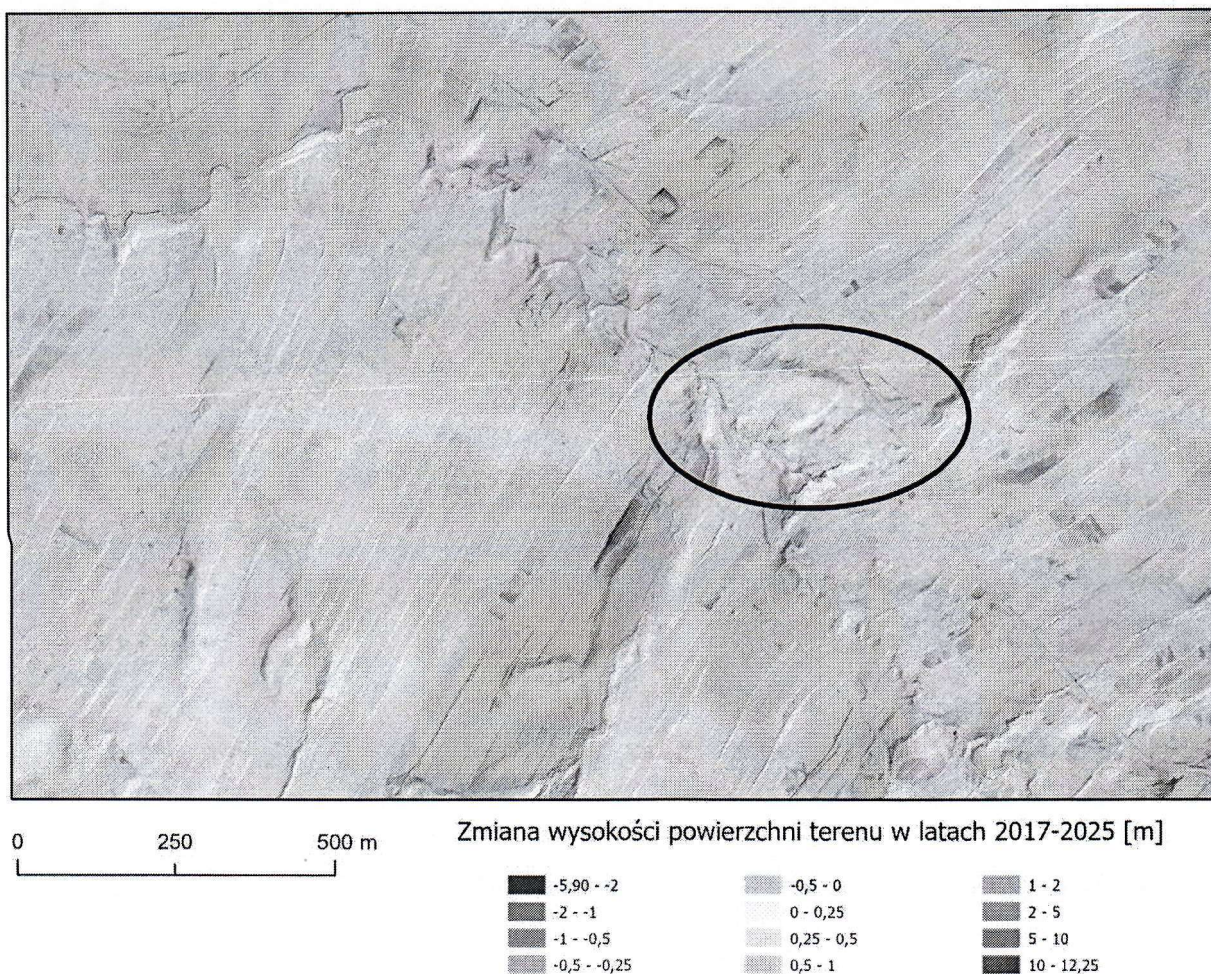


0 250 500 m

Rycina 2. Model terenu obrazujący morfologię i położenie osuwiska.

Polska – Słowacja

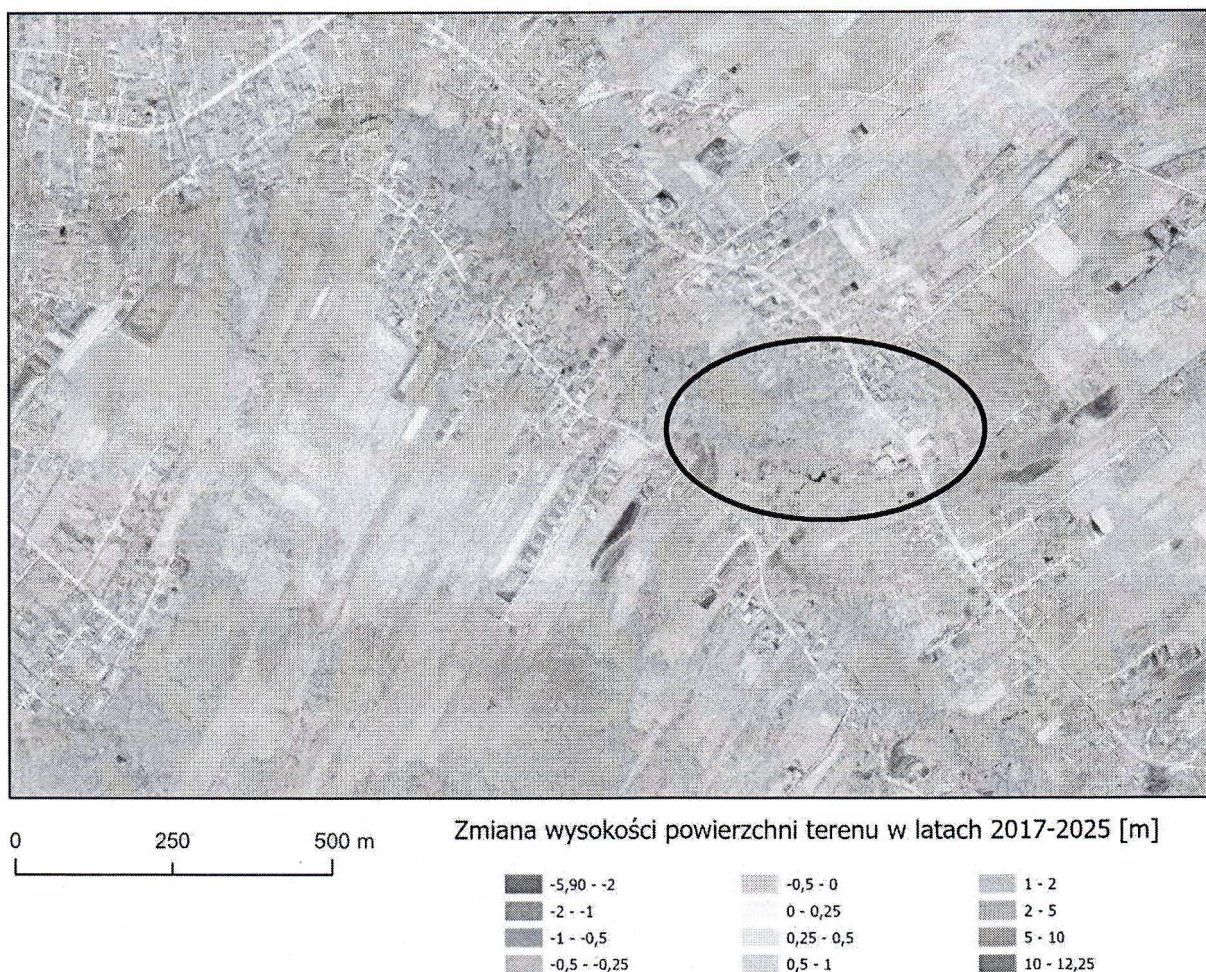
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Rycina 3. Zmiany rzeźby terenu osuwiska w okresie 2017–2025 zobrazowane na modelu różnicowym na tle numerycznego modelu terenu.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Rycina 4. Zmiany rzeźby terenu osuwiska w latach 2017-2025 na tle ortofotomapy.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Wyniki badań w postaci obliczeniowej wraz z niezbędną dokumentacją w postaci tabel, wykresów i rysunków

Analiza modelu terenu na podstawie danych LiDAR

Analiza modeli terenu dla badanego obszaru pozwoliła stwierdzić, że w okresie 8 lat (2017-2025) zidentyfikowano w obrębie osuwiska jedynie niewielkie zmiany rzeźby terenu (Rycina 3 i 4). Zmiany te są widoczne głównie w południowych częściach obu badanych osuwisk. W przypadku osuwiska numer 1 są to niewielkie strefy obniżone (zaznaczone na niebiesko), odizolowane od siebie, dokumentujące wtórne ruchy osuwiskowe. Formy dokumentujące wynoszenie terenu są stosunkowo niewielkie, występują one w sąsiedztwie stref obniżanych. Zidentyfikowane zmiany rzeźby terenu na osuwisku numer 1 sąsiadują z doliną niewielkiego potoku. Być może osuwanie związane jest z okresową aktywnością powodziową niewielkiego potoku, w wyniku której stok jest podcinany i uruchamiane są procesy osuwiskowe.

Inaczej sytuacja przedstawia się w przypadku osuwiska numer 2. Zmiany rzeźby terenu są widoczne tutaj w części południowej, w strefie, w której biegnie droga. Przekształcenia morfologii są bardziej widoczne niż w przypadku osuwiska oznaczonego numerem 1. Są one czytelne i obejmują zarówno formy wypukłe, jak i wklęsłe. Analiza ryciny 4, obrazującej zmiany rzeźby terenu na podkładzie ortofotomapy, pozwoliła stwierdzić, że zmiany te wynikają głównie z prac prowadzonych na posesjach związanych z budową domów bądź pracami gospodarczymi na terenach posesji biegnących wzdłuż drogi. Zidentyfikowane zmiany rzeźby terenu na osuwisku numer 2 występują w strefie pojedynczych posesji i często naśladują ich granice. Zmiany te nie przypominają typowych dla osuwania sekwencji: obniżeń w górnych częściach stoków z sąsiadującymi formami dyspozycyjnymi poniżej nich.

Zidentyfikowane zmiany rzeźby terenu na osuwiskach mają zróżnicowany charakter. W przypadku osuwiska numer 1 są to zmiany wynikające z niewielkich, wtórnych ruchów osuwiskowych występujących na obszarze istniejącej formy osuwiskowej utworzonej w przeszłości. W przypadku osuwiska numer 2, zmiany rzeźby terenu wynikają z prac gospodarczych prowadzonych w obrębie posesji, czyli mają one charakter antropogeniczny.



Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

3. Wnioski z przeprowadzonych badań w formie opracowania zawierającego szczegółowe analizy wraz z szacunkiem dotyczącym zagrożenia występującego w testowanym terenie (osuwiskowego, powodziowego, związanego z zanieczyszczeniem powietrza zależnie od typu testu badawczego)

W przypadku badanych osuwisk nie stwierdzono zagrożenia związanego z możliwością uruchomienia procesów osuwiskowych w większym zakresie. Okres obserwacyjny był stosunkowo krótki i obejmował jedynie 8 lat, w tym czasie stwierdzono jedynie niewielkie ruchy osuwiskowe występujące w południowej części osuwiska 1. Ruchy te wystąpiły w sąsiedztwie potoku, co oznacza, że mogą one mieć związek z aktywnością powodziową tego potoku, bądź po prostu ze zmianami poziomu wody podziemnej. W wyniku zmian poziomu wody, w dolnej części stoku mogą występować warunki do uruchomienia osuwania. W przypadku osuwiska numer 2 nie stwierdzono aktywnych ruchów osuwiskowych. Zmiany rzeźby terenu wynikają tu z prac budowlanych/gospodarczych prowadzonych wzdłuż drogi biegnącej w południowej części osuwiska.

Przeprowadzona analiza, ze względu na krótki okres obserwacji obejmujący jedynie 8 lat, powinna być uzupełniona, w miarę możliwości, o inne prace dokumentujące ewentualne osuwanie. Być może udałoby się pozyskać wyniki dla analizowanych osuwisk, stosując metodę interferometrii radarowej. Metoda dendrochronologiczna raczej nie zostanie zastosowana dla badanych osuwisk, gdyż teren obejmujący osuwanie jest w zdecydowanej większości wylesiony.

PREZES ZARZĄDU
ul. Bankowa 12, Katowice, 40-007
Katowice, 04 202 0101

Dr. hab. Jerzy Cudała