

## 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 osuwiska położonego na południowy wschód od Szymbarku (powiat gorlicki)

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 osuwisku położonym w miejscowości na południowy wschód od Szymbarku (powiat gorlicki)
- 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,
- zaplanowanie typów grafik obrazujących zmiany powierzchni gruntu z wykorzystaniem obrazów LiDAR,
- wyznaczenie stref, gdzie stwierdzono aktywność osuwiskową,
- ocena aktywności osuwiskowej badanego obszaru.

## 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*

---

### *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) jest zaawansowaną metodą teledetekcji, która polega na emisji impulsów laserowych w kierunku powierzchni Ziemi oraz bardzo precyzyjnym pomiarze czasu powrotu odbitego sygnału. Na tej podstawie możliwe jest niezwykle dokładne określenie odległości, a także stworzenie szczegółowego, trójwymiarowego obrazu rzeźby terenu. W badaniach osuwisk technologia ta odgrywa szczególnie istotną rolę, ponieważ umożliwia wierne odwzorowanie ukształtowania powierzchni nawet w trudnych i trudno dostępnych warunkach terenowych. Jej znaczenie rośnie zwłaszcza na obszarach górskich i silnie zalesionych, gdzie tradycyjne metody pomiarowe napotykać liczne ograniczenia. Jedną z kluczowych funkcji LiDAR jest możliwość generowania wysokorozdzielczych numerycznych modeli terenu (NMT), które pozwalają na identyfikację zarówno dużych, jak i bardzo subtelnych zmian morfologii stoków objętych ruchami masowymi. Modele te cechują się dużą dokładnością wysokościową i przestrzenną, co umożliwia analizę nawet niewielkich deformacji powierzchni. Dzięki temu badacze mogą dokładnie rozpoznawać granice osuwisk, określać ich zasięg oraz analizować ich strukturę wewnętrzną.

Jednym z najważniejszych atutów technologii LiDAR jest zdolność do filtrowania punktów odbitych od elementów pokrywy roślinnej, takich jak drzewa, krzewy czy wysokie trawy. Pozwala to na skuteczne usunięcie zakłóceń i uzyskanie wiernego obrazu rzeczywistej powierzchni gruntu, nawet jeśli jest ona całkowicie ukryta pod gęstą roślinnością. Dzięki temu możliwa jest szczegółowa analiza form charakterystycznych dla osuwisk, takich jak nisze osuwiskowe, progi, jezory osuwiskowe, strefy akumulacji materiału, a także drobne formy towarzyszące, które często pozostają niewidoczne podczas klasycznych obserwacji terenowych. Dodatkowo dane LiDAR umożliwiają identyfikację dawnych, nieaktywnych osuwisk, co ma duże znaczenie w analizach historycznych i ocenie długoterminowego ryzyka. Istotnym elementem zastosowania tej technologii jest również możliwość porównywania danych pozyskanych w różnych odstępach czasu. Takie podejście pozwala na prowadzenie analiz dynamicznych, czyli monitorowanie zmian zachodzących w obrębie stoków. Dzięki temu możliwe jest określenie tempa oraz kierunków przemieszczeń mas skalnych i zwietrzelinowych, co ma kluczowe znaczenie dla oceny aktywności osuwisk oraz prognozowania ich dalszego rozwoju. W praktyce oznacza to możliwość wykrywania nawet bardzo niewielkich deformacji terenu, które mogą stanowić wczesny sygnał nadchodzących zagrożeń i inicjacji ruchów masowych.

## 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*

Technologia LiDAR znajduje szerokie zastosowanie zarówno w badaniach naukowych, jak i w działaniach praktycznych związanych z zarządzaniem ryzykiem geologicznym. Dane uzyskane na podstawie numerycznych modeli terenu stanowią podstawę do opracowywania szczegółowych map zagrożenia oraz map podatności osuwiskowej. Opracowania te są niezwykle istotne w procesach planowania przestrzennego, ponieważ umożliwiają identyfikację obszarów szczególnie narażonych na występowanie ruchów masowych oraz wspierają podejmowanie racjonalnych decyzji dotyczących zagospodarowania terenu i lokalizacji inwestycji. Szczególne znaczenie LiDAR zyskuje na obszarach o złożonej rzeźbie terenu, gdzie tradycyjne metody pomiarowe są czasochłonne, kosztowne lub mało efektywne. Technologia ta pozwala na szybkie pozyskanie danych dla rozległych obszarów przy jednoczesnym zachowaniu bardzo wysokiej dokładności pomiarowej. Co więcej, integracja danych LiDAR z innymi źródłami informacji geograficznej, takimi jak zdjęcia lotnicze, dane satelitarne czy modele GIS, zwiększa możliwości interpretacyjne i analityczne, umożliwiając kompleksową ocenę zagrożeń.

### Położenie i główne cechy obszaru badań

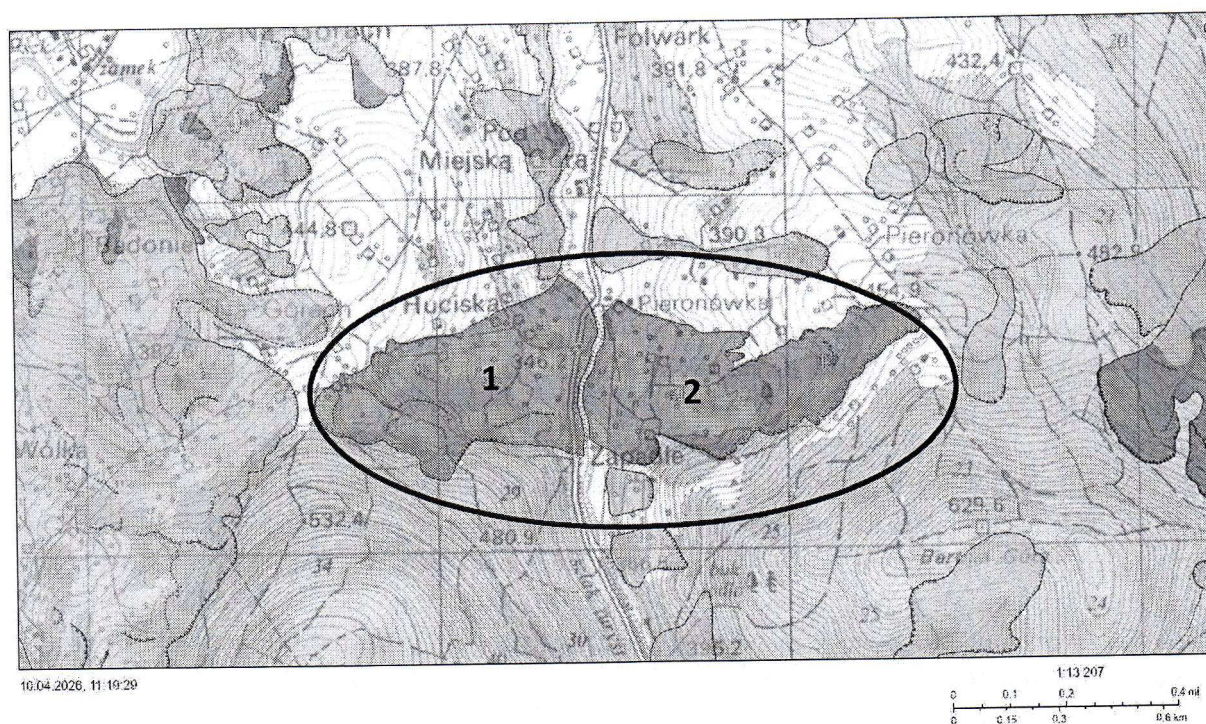
Test badawczy został przeprowadzony dla osuwiska położonego na południowym wschodzie od Szymbarku (powiat gorlicki). Badano zagrożenie związane z aktywnością dwóch osuwisk. Pierwsze osuwisko położone jest na zachód, drugie na wschód od drogi i potoku (Rycina 1). Oba osuwiska są stosunkowo duże. Osuwisko oznaczone numerem 1 posiada numer identyfikacyjny w systemie SOPO 145, ma ono 25,84 hektara (Rycina 1). Forma ma charakter skalno-zwietrzelinowy i według aplikacji SOPO osuwisko jest cały czas aktywne na całej swojej powierzchni. Miąższość koluwiów badanego osuwiska oszacowano na około 15 m. Osuwisko oznaczone numerem 2 jest w systemie SOPO oznaczone numerem 141 (Rycina 1). Ma ono powierzchnię 25,77 hektara. Jest ono aktywne w 100 %. Miąższość koluwiów na badanym osuwisku wynosi 17 metrów. Na osuwiskach i w ich sąsiedztwie zlokalizowane są pojedyncze budynki. Pomiędzy osuwiskami biegnie droga, która potencjalnie może zostać zniszczona przez aktywne osuwiska. Na badanych osuwiskach prowadzony jest monitoring wgłębny w formie trzech inklinometrów i trzech piezometrów, prowadzony od 2009 roku w cyklu dwóch pomiarów w ciągu roku (osuwisko 1), oraz monitoring powierzchniowy w formie reperów geodezyjnych, prowadzony od 2009 roku w cyklu dwóch pomiarów w ciągu roku, jak również monitoring fotogrametryczny i reflektory radarowe (osuwisko 2). Cennym uzupełnieniem tego monitoringu może być niniejsze opracowanie porównujące numeryczne modele terenu uzyskane na podstawie danych LiDAR z różnych okresów. Badany obszar w przeważającej części porośnięty jest drzewami, na modelu terenu widoczny jest zasięg obu osuwisk położonych powyżej drogi (Rycina 2,3,4).

W celu kompleksowej identyfikacji oraz oceny zmian w morfologii terenu na analizowanym obszarze przeprowadzono monitoring z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych LiDAR. Podstawą badań było porównanie numerycznych modeli terenu (NMT) opracowanych dla dwóch momentów czasowych: najstarszego, dostępnego z 2012 roku, oraz najnowszego, z 2024 roku. Takie zestawienie umożliwiło wygenerowanie modelu różnicowego (DoD – Difference of DEMs), przedstawiającego przestrzenny rozkład

## 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*

zmian wysokościowych, będących efektem zarówno procesów naturalnych, jak i działalności antropogenicznej. Dzięki wysokiej rozdzielczości przestrzennej (rzędu kilkudziesięciu centymetrów) oraz dokładności wysokościowej danych LiDAR, uzyskano możliwość precyzyjnej detekcji nawet niewielkich deformacji powierzchni terenu. Szczególną uwagę zwrócono na obszary, w których odnotowano obniżenia lub podniesienia terenu, mogące wskazywać na aktywność procesów osuwiskowych, erozję stoków lub akumulację materiału skalnego. W celu weryfikacji interpretacji morfologicznej, wyniki modelu różnicowego porównano z aktualnym NMT z 2024 roku, który posłużył do analizy rzeźby terenu w kontekście przestrzennym – m.in. ekspozycji i nachylenia stoków czy budowy dolinnych form terenu. Takie podejście umożliwiło nie tylko wskazanie miejsc intensywnych przekształceń, lecz także określenie zasięgu i kierunku ruchów masowych, co jest kluczowe dla oceny dynamiki procesów stokowych. Otrzymane rezultaty stanowią istotny element systematycznego monitoringu terenu oraz mogą być wykorzystane w przyszłych analizach dynamiki osuwisk, planowaniu przestrzennym.



Rycina 1. Lokalizacja osuwisk, dla których przeprowadzono analizę (1, 2 – numery osuwisk).

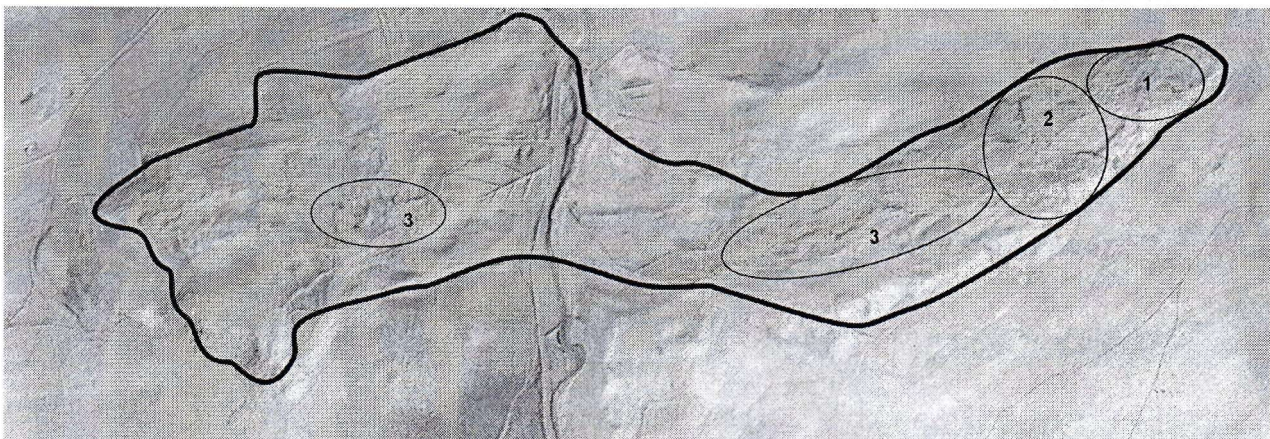
Źródło: Mapa pochodzi z zasobów witryny internetowej Projektu SOPO prowadzonej przez PIG-PIB.

## 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*



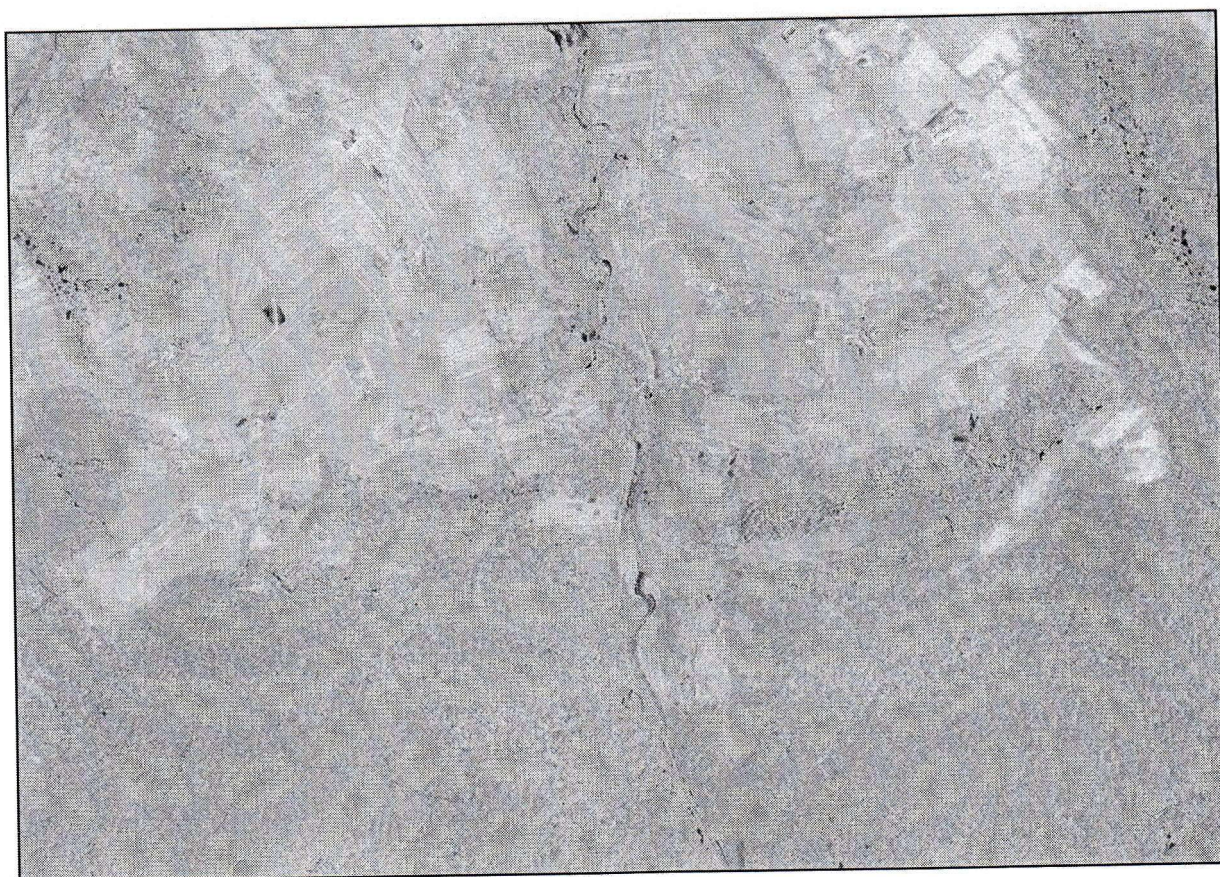
Rycina 2. Model terenu obrazujący morfologię i położenie osuwisk.



Rycina 3. Zmiany rzeźby terenu osuwiska w okresie 2012–2024 na tle modelu terenu. Cyframi zaznaczono strefy osuwiska o różnym stopniu aktywności.

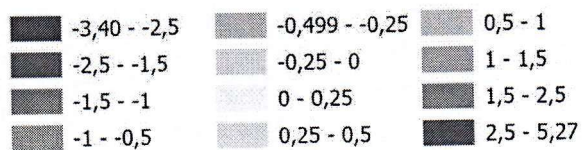
## Polska – Słowacja

*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

Zmiana wysokości powierzchni terenu w latach 2012-2024 [m]



Rycina 4. Zmiany rzeźby terenu osuwiska w okresie 2012-2024 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

Badane osuwiska mają bardzo czytelną rzeźbę osuwiskową widoczną na modelu terenu wykonanym na podstawie danych LiDAR (Rycina 2). Analiza przeprowadzona z wykorzystaniem różnicowego modelu pozwoliła zbadać zmiany rzeźby terenu w obrębie badanych osuwisk w latach 2012–2024, tj. w ciągu 12 lat. Analiza ta wykazała bardzo duże zmiany rzeźby terenu, które występowały w tym czasie w obrębie badanych osuwisk. Szczególnie dużą aktywność zidentyfikowano dla osuwiska położonego po wschodniej stronie drogi (osuwisko 2). Osuwisko to wykazuje zmienną aktywność, najbardziej czytelne zmiany rzeźby terenu występują w strefie 2 (Rycina 3). W tej strefie występują liczne obniżenia terenu (zaznaczone na niebiesko) oraz obszary wypukłe (zaznaczone na czerwono), wynikające z akumulacji materiału podczas aktywacji osuwiska. W stosunkowo krótkim czasie doszło do bardzo wyraźnych zmian w rzeźbie badanego osuwiska. Aktywacja materiału miała miejsce w obrębie wtórnej niszy osuwiskowej. Zmiany rzeźby terenu w obrębie osuwiska położonego na wschód od drogi wystąpiły także poniżej skarpy osuwiskowej, czyli obszaru oznaczonego numerem 3 (Rycina 3). Tutaj osuwisko ma charakter spływowy, wyraźnie zarysowany jest jęzor osuwiska ze zmianami rzeźby terenu obserwowanymi w badanym okresie. Zmiany te nie są jednak tak duże jak w strefie 2 oznaczonej na rycinie 3. W najwyższej strefie osuwiska, zaznaczonej numerem 1 (Rycina 3), zidentyfikowano zmiany rzeźby terenu, jednak są one niewielkie w porównaniu ze strefami 2 i 3. Jedynie w południowej części strefy 2 występują bardzo wyraźne zmiany rzeźby terenu. Osuwanie zachodzi tu w obrębie niszy osuwiskowej i zmiany rzeźby terenu są tu bardzo duże – teren obniżył się aż 4–5 m, zmiany rzeźby terenu są tu widoczne także w obszarze położonym pomiędzy strefami 2 i 3 (Rycina 3).

Na osuwisku położonym po zachodniej stronie drogi, zmiany rzeźby terenu nie są tak widoczne jak za osuwisku położonym po wschodniej stronie, oznacza to, że osuwisko to jest mniej aktywne w porównaniu do pierwszego z analizowanych osuwisk. W obrębie tego osuwiska występują niewielkie zmiany rzeźby terenu rozproszone na całym jego obszarze. Najbardziej wyraźne zmiany występują w części osuwiska oznaczonej numerem 4 (Rycina 3), gdzie widoczne są niewielkie pakiety osuwiskowe, prawdopodobnie powstały one poprzez rotacyjny charakter osuwiska.

W obrębie osuwisk sporadycznie występują budynki, pomiędzy osuwiskami biegnie droga. Obiekty te są zagrożone zniszczeniem w wyniku ożywionych ruchów osuwiskowych. Wprawdzie zidentyfikowane ruchy osuwiskowe nie występują w bezpośrednim sąsiedztwie drogi biegnącej pomiędzy osuwiskami, jednak dalsza aktywacja osuwisk może doprowadzić do stopniowego niszczenia tej drogi.



## 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)*

Różnicowy model terenu opracowany na podstawie danych LiDAR umożliwił szczegółową analizę rzeźby terenu, także na obszarach zalesionych położonych w obrębie badanych osuwisk. Analiza modeli z lat 2012 i 2024 wykazała znaczne zmiany rzeźby terenu w obrębie obu badanych form osuwiskowych, Szczególnie duże zmiany wystąpiły na osuwisku numer 2.

Duży stopień aktywności badanych osuwisk stanowi zagrożenie dla drogi biegnącej pomiędzy osuwiskami oraz dla pojedynczych domów znajdujących się w ich obrębie. Wcześniejsza aktywność osuwiskowa oraz problemy wynikające z tej aktywności spowodowały objęcie badanych osuwisk monitoringiem wglębnym w postaci inklinometrów, piezometrów oraz monitoringiem powierzchniowym, w formie reperów geodezyjnych, jak również monitoringiem fotogrametrycznym oraz poprzez reflektory radarowe. Zaproponowana w niniejszym teście badawczym technika może być dobrym uzupełnieniem prowadzonego monitoringu, zwłaszcza że kolejne modele terenu na podstawie danych LiDAR będą powstawać. Technika ta jest również stosunkowo tania, wymaga jedynie zaangażowania specjalistycznego programowania. Jako że badane osuwiska są w większości porośnięte lasem, można na nich przeprowadzić także badania dendrochronologiczne. Dzięki nim można uzyskać dłuższe ciągi danych i przeanalizować aktywność osuwisk w dłuższym okresie, co z kolei powinno pozwolić na bardziej precyzyjną ocenę zagrożenia wynikającego z możliwości szybkiego uaktywnienia badanych osuwisk.

PREZES ZARZĄDU  
Katowice, 11.04.2026  
Stowarzyszenie Przyjaciół Nauk o Ziemi  
Dr hab. Jerzy Cabała  
dr hab. Jerzy Cabała