

## 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 pomiędzy ulicą Liburnia i Moniuszki (powiat cieszyński)

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 dwóch osuwiskach położonych pomiędzy ulicami Liburnia i Moniuszki w Cieszynie,
- 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 uwzględnieniem założeń teoretycznych, opisu metody, ewentualnego poboru prób w terenie i kolejnych kroków prac laboratoryjnych.*

#### Założenia teoretyczne (LiDAR)

Technologia LiDAR (Light Detection and Ranging) stanowi metodę teledetekcyjną opartą na emisji impulsów laserowych w kierunku powierzchni Ziemi oraz rejestracji sygnału powrotnego. W badaniach osuwisk znajduje szerokie zastosowanie w precyzyjnym odwzorowaniu rzeźby terenu. Umożliwia generowanie wysokorozdzielczych numerycznych modeli terenu (NMT) na obszarach objętych ruchami masowymi, co pozwala na identyfikację nawet bardzo subtelnych zmian morfologii stoków.

Jedną z kluczowych zalet tej technologii jest możliwość filtracji punktów odbitych od roślinności, co pozwala na eliminację zakłóceń powodowanych przez drzewa i krzewy oraz na wierne odtworzenie powierzchni gruntu ukrytej pod pokrywą roślinną. Dzięki temu możliwa jest szczegółowa analiza form morfologicznych charakterystycznych dla osuwisk, takich jak nisze osuwiskowe, proggi, jęzory osuwiskowe czy strefy akumulacji materiału wraz z drobnymi formami towarzyszącymi. Porównawcza analiza danych LiDAR pozyskanych w różnych okresach czasowych umożliwia monitorowanie dynamiki oraz tempa rozwoju osuwisk. Pozwala to na określenie skali i kierunków przemieszczeń mas skalnych oraz zwietrzelinowych, a tym samym na ocenę aktywności procesów stokowych. Technologia ta znajduje zastosowanie zarówno w badaniach naukowych, jak i w działaniach praktycznych związanych z identyfikacją oraz delimitacją stref zagrożenia osuwiskowego. Dane pozyskane z analiz numerycznych modeli terenu opracowanych na podstawie pomiarów LiDAR stanowią istotne narzędzie w ocenie stopnia zagrożenia oraz podatności stoków na osuwanie. W oparciu o nie opracowywane są mapy ryzyka i mapy podatności osuwiskowej, wspierające procesy planowania przestrzennego oraz zarządzania ryzykiem. Technologia ta jest szczególnie przydatna na obszarach o złożonej rzeźbie terenu, umożliwiając szybkie i efektywne opracowanie danych dla rozległych powierzchni przy zachowaniu bardzo wysokiej dokładności pomiarowej.

LiDAR umożliwia również wczesną identyfikację zmian morfologicznych mogących prowadzić do inicjacji niebezpiecznych ruchów masowych. W związku z tym numeryczne modele terenu opracowane na podstawie danych LiDAR mogą być traktowane jako skuteczne narzędzie wczesnego ostrzegania przed zagrożeniem osuwiskowym. W rezultacie zastosowanie tej technologii przyczynia się do zwiększenia poziomu bezpieczeństwa oraz ograniczenia strat materialnych związanych z występowaniem osuwisk.

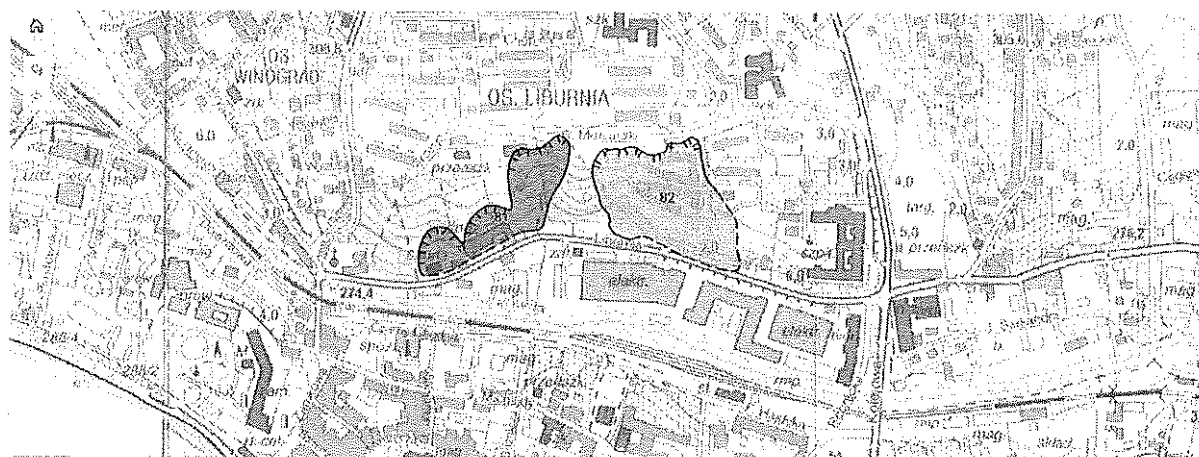
#### Położenie i główne cechy obszaru badań

Przeprowadzony test badawczy obejmuje obszar położony w Cieszynie pomiędzy ulicami Liburnia i Moniuszki, gdzie położone są 2 osuwiska, oznaczone w Systemie Osłony Przeciwosuwiskowej SOPO numerami 81 i 82, przy czym osuwisko oznaczone numerem 81 oznaczone jest jako aktywne, a osuwisko numer dwa jako nieaktywne (Rycina 1). Osuwisko oznaczone numerem 81 to osuwisko skalno-

## 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*

zwietrzelinowe o głębokości około 7 m, jest ono wskazane w systemie SOPO jako osuwisko aktywne ciągle. Z kolei osuwisko 82 to zsuw nieaktywny o głębokości około 10 m. Osuwiska położone są w strefie miejskiej, w przypadku ich szybkiej aktywacji, mogą one zniszczyć infrastrukturę położoną poniżej nich, szczególnie drogę oraz budynki.



Rycina 1. Lokalizacja osuwisk dla których przeprowadzono analizę. Osuwiska widoczne są na podkładzie mapy topograficznej.

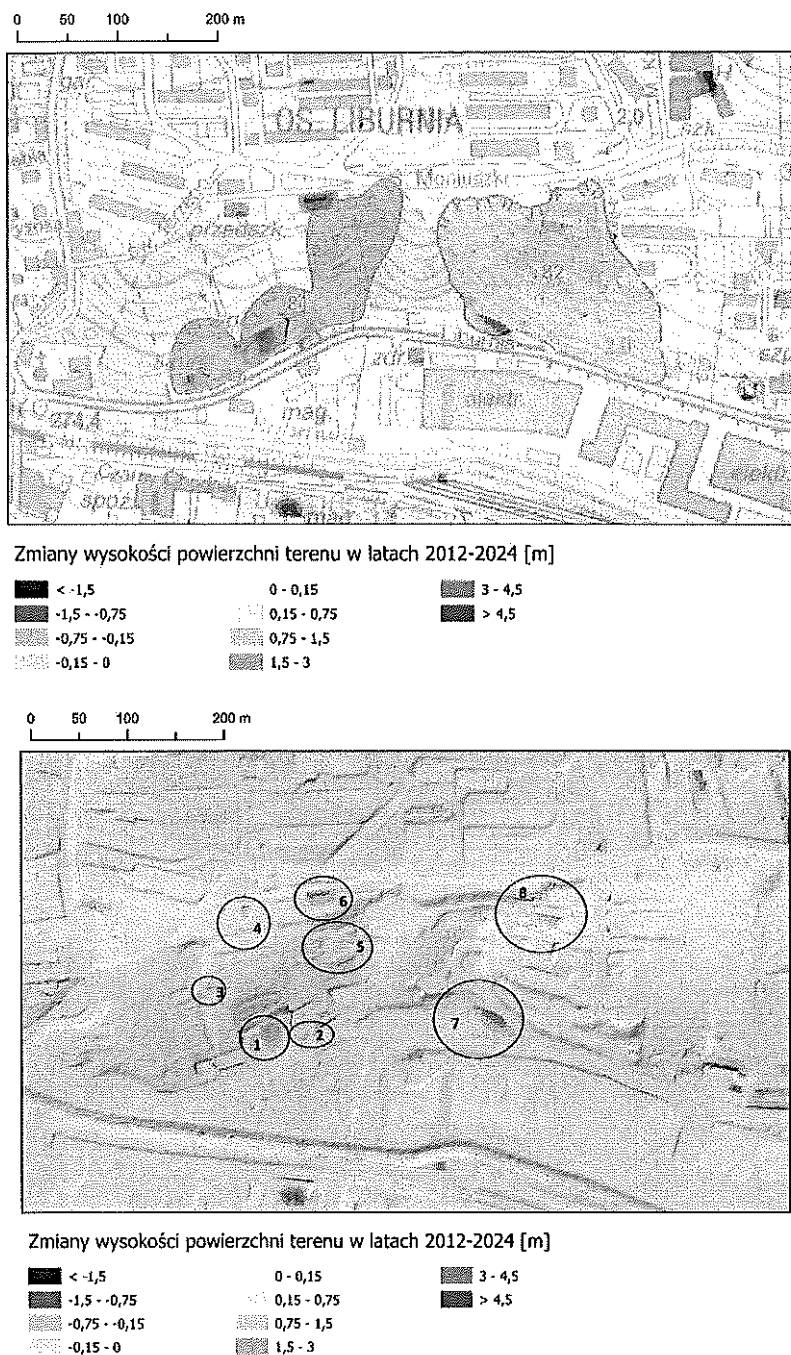
Źródło: Mapa pochodzi z zasobów witryny internetowej Projektu SOPO prowadzonej przez PIG-PIB.

Badany obszar w przeważającej części porośnięty jest drzewami, zabudowa występuje jedynie w dolnych partiach analizowanych osuwisk, natomiast ich górne partie graniczą z ulicą Moniuszki. Rzeźba terenu osuwisk została w znacznym stopniu przekształcona w wyniku działalności antropogenicznej, co spowodowało zatarcie typowych form morfologicznych charakterystycznych dla osuwisk, stosunkowo słabo widocznych w terenie (Rycina 2).

W celu identyfikacji zmian morfologii terenu w obrębie obszaru badawczego przeprowadzono analizę porównawczą numerycznych modeli terenu (NMT) opracowanych na podstawie danych LiDAR. W analizie wykorzystano dwa modele: najstarszy dostępny NMT z 2012 roku oraz najnowszy NMT z 2024 roku. Ich zestawienie umożliwiło opracowanie różnicowego modelu terenu, przedstawiającego zmiany wysokościowe, jakie zaszły w okresie 12 lat. Dane LiDAR, cechujące się wysoką rozdzielczością przestrzenną oraz dużą dokładnością wysokościową, pozwoliły na identyfikację lokalnych deformacji powierzchni terenu, potencjalnie związanych z procesami osuwiskowymi. Wyniki analizy różnicowej zestawiono z modelem rzeźby terenu z 2024 roku, również opracowanym na podstawie danych LiDAR. Interpretacja modelu różnicowego umożliwiła identyfikację przekształceń rzeźby terenu w analizowanym przedziale czasowym, co stanowiło podstawę do wnioskowania na temat dynamiki ruchów osuwiskowych w badanym obszarze.

## 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. Zmiany rzeźby terenu wynikające z modelu różnicowego na tle topografii oraz z uwzględnieniem granic badanych osuwisk (górną mapą) oraz różnicowy model terenu na którym widoczne są zaznaczone liczbami strefy zmian rzeźby terenu w czasie 2012-2024 (dolna mapa).

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

#### Analiza modelu terenu na podstawie danych LiDAR

Wykonanie różnicowego modelu terenu opracowanego na podstawie danych LiDAR pozwala na analizę obszarową rzeźby terenu wraz z uwzględnieniem terenów zalesionych. Analiza modeli terenu dla badanego obszaru pozwoliła stwierdzić, że w okresie 12 lat (2012-2024) nie zidentyfikowano w badanym obszarze znaczących zmian rzeźby terenu dokumentujących duże osuwanie (Rycina 2). Na różnicowym modelu terenu nie są widoczne zmiany rzeźby całych osuwisk, zmiany te występowały jedynie na niewielkich obszarach zaznaczonych numerami na rycinie 2. Możliwa jest analiza poszczególnych/niewielkich obszarów, w których wystąpiły zmiany rzeźby terenu zidentyfikowane poprzez porównanie modeli terenu. Na podstawie analizy różnicowego modelu terenu wyróżniono 8 obszarów, w których występują zmiany wysokości terenu w ciągu 12 lat (2012-2024); (Rycina 2). Generalnie nie zidentyfikowano charakterystycznych dla osuwisk układów zmian rzeźby terenu polegających na występowaniu obniżen terenu w wyższych partiach osuwiska i wyniesień położonych poniżej tych obniżen (taka sekwencja zmian rzeźby terenu dokumentuje osuwanie na stoku). Zmiany polegające na lokalnym wyniesieniu terenu oznaczona na rycinie numerem 1, oraz lokalnym obniżeniu - numery 4 i 6 występują poniżej budynków lub w strefach parkingu, przy czym obszar 4 położony jest poza granicami osuwisk oznaczonych w bazie SOPO. Takie położenie zmiany rzeźby sugeruje być może artefakt, który mógł się pojawić przy opracowaniu chmury punktów w czasie przygotowania numerycznego modelu terenu i prawdopodobnie nie ma związku z procesem osuwania (Rycina 2). Niewykluczone, że opisywane zmiany rzeźby terenu spowodowane są pracami budowlanymi. Obniżony obszar numer 8 występuje w strefie bezpośrednio sąsiadującej z budynkami, więc nie ma on związku z osuwaniem. Z kolei obszary 2 i 3 to stosunkowo małe obniżenia terenu o dość regularnych kształtach, których także nie można wiązać z osuwaniem (Rycina 2). Najbardziej prawdopodobne jest, że niewielkie ruchy gruntu wystąpiły w strefach oznaczonych numerami 5 i 7 (Rycina 2). Obniżenia terenu bieżą tam w przybliżeniu równolegle do poziomnic i przypominają typowe dla osuwisk deformacje gruntu.

## 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*

#### *4. 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)*

Na podstawie analizy rzeźby terenu na modelu różnicowym, w badanym obszarze nie zidentyfikowano zmian rzeźby terenu jednoznacznie wskazujących na aktywne osuwanie. Niewielkie deformacje gruntu zidentyfikowano jedynie w dwóch, stosunkowo małych obszarach (punkty 5 i 7). Zidentyfikowane na modelu różnicowym zmiany rzeźby terenu są z dużym prawdopodobieństwem pochodną prac ziemnych prowadzonych w obszarze badawczym, bądź artefaktów powstałych przy opracowaniu numerycznego modelu na podstawie chmury punktów LiDAR. Analizowane dane dotyczą okresu 2012-2024, w tym czasie nie stwierdzono dużego przemieszczania się mas w obrębie osuwiska, jedynie niewielkie, epizodyczne ślady jego aktywności. W związku z wątpliwościami dotyczącymi interpretacji jakości modelu różnicowego uzyskanego na podstawie modeli terenu z danych LiDAR sprawdzono także dane interferometryczne dostępne otwartym systemie: <https://egms.land.copernicus.eu/>. Analiza tych danych także nie wykazała ruchów osuwiskowych w obszarze badawczym. Biorąc pod uwagę fakt, że obszar badań położony jest w strefie częściowo zalesionej, można także w przyszłości pokusić się o badania dendrochronologiczne, dzięki którym można rekonstruować aktywność osuwiskową w dłuższym okresie czasu i w konkretnych miejscach, zależnie od wieku drzewostanu oraz rozmieszczenia drzew w obszarze badawczym.

PREZES ZARZĄDU  
Oddział Górnośląski, Polskie  
Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi  
Katowice, 26.02.2026

dr hab.   
Dr hab. Jerzy Cabała