

## 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 w powiecie sanockim na zachód od miejscowości Machlina

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 w powiecie sanockim, na zachód od miejscowości Machlina
- 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) stanowi zaawansowaną metodę teledetekcyjną wykorzystującą emisję impulsów laserowych w kierunku powierzchni Ziemi oraz rejestrację sygnału odbitego od obiektów terenowych. W badaniach nad osuwiskami technologia ta znajduje szerokie zastosowanie w precyzyjnym odwzorowaniu rzeźby terenu. Pozwala ona na tworzenie wysokorozdzielczych numerycznych modeli terenu (NMT) na obszarach objętych ruchami masowymi, co umożliwia identyfikację nawet bardzo niewielkich zmian w morfologii stoków. Istotną zaletą technologii LiDAR jest możliwość filtracji punktów odbitych od elementów pokrywy roślinnej. Dzięki temu możliwe jest ograniczenie zakłóceń generowanych przez drzewa i krzewy oraz dokładne odwzorowanie powierzchni gruntu znajdującej się pod roślinnością. Pozwala to na szczegółową analizę form morfologicznych typowych dla obszarów osuwiskowych, takich jak nisze osuwiskowe, progi, jęzory osuwiskowe czy strefy akumulacji materiału wraz z drobnymi formami towarzyszącymi. Analiza porównawcza danych LiDAR pozyskiwanych w różnych okresach umożliwia monitorowanie dynamiki oraz tempa rozwoju osuwisk. Ułatwia to określenie skali oraz kierunków przemieszczeń mas skalnych i zwietrzelinowych, a także ocenę aktywności procesów stokowych. Technologia ta znajduje zastosowanie zarówno w badaniach naukowych, jak i w działaniach praktycznych związanych z identyfikacją oraz wyznaczeniem stref zagrożenia osuwiskowego.

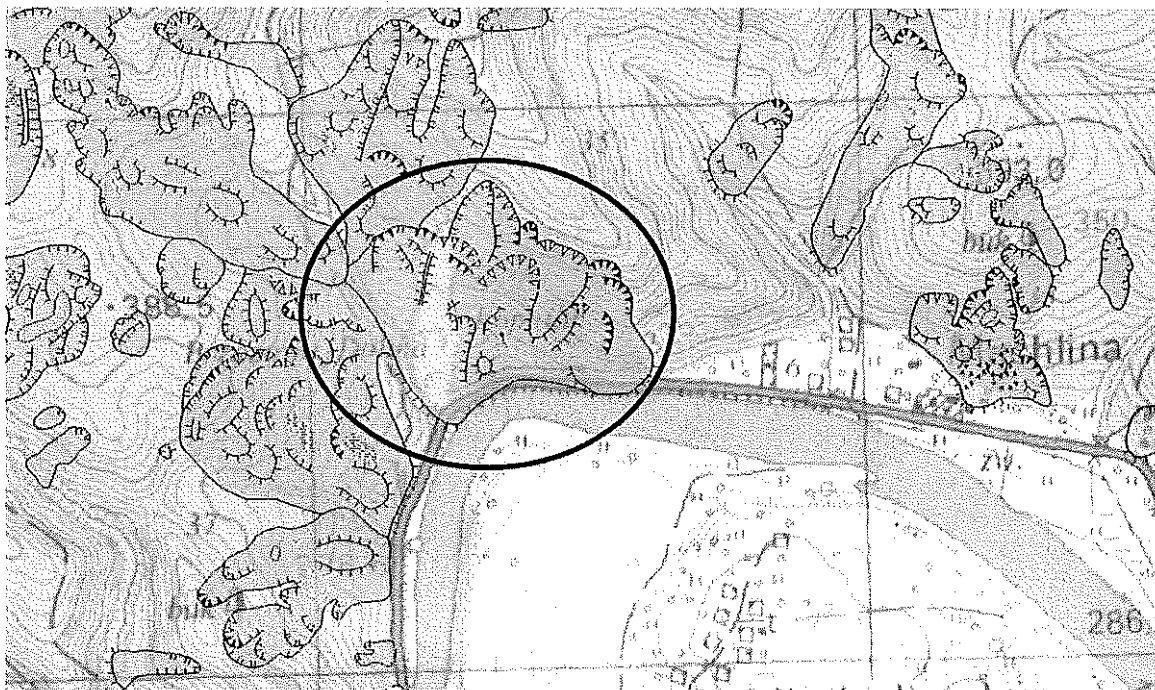
Dane uzyskane na podstawie analiz numerycznych modeli terenu opracowanych z wykorzystaniem pomiarów LiDAR stanowią istotne narzędzie w ocenie stopnia zagrożenia oraz podatności stoków na procesy osuwiskowe. Na ich podstawie opracowywane są mapy ryzyka i mapy podatności osuwiskowej, które wspierają procesy planowania przestrzennego oraz zarządzania ryzykiem. Technologia ta jest szczególnie przydatna na obszarach o złożonej rzeźbie terenu, umożliwiając szybkie pozyskiwanie i opracowywanie danych dla rozległych obszarów przy zachowaniu bardzo wysokiej dokładności pomiarowej. Ponadto LiDAR umożliwia wczesne wykrywanie 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 wspomagające systemy wczesnego ostrzegania przed zagrożeniem osuwiskowym. W rezultacie zastosowanie tej technologii przyczynia się do zwiększenia poziomu bezpieczeństwa oraz ograniczenia strat materialnych związanych z występowaniem osuwisk.

## 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*

### Położenie i główne cechy obszaru badań

Przeprowadzony test badawczy obejmuje obszar położony w powiecie sanockim, na zachód od miejscowości Machlina, badane osuwisko oznaczone jest w Systemie Osłony Przeciwosuwiskowej SOPO numerem 148249, osuwisko zostało opisane jako częściowo aktywne, przy czym 60 % jego powierzchni oznaczono jako nieaktywne. Pozostała część to strefa okresowo aktywna osuwiskowo. Część aktywna osuwiska znajduje się w zachodniej części badanej formy. Miąższość osuwiska została oszacowana na 30 metrów, jego powierzchnia to 3,9 ha. W południowej części osuwiska przebiega droga, która może ulec zniszczeniu w czasie uaktywnienia ruchów osuwiskowych. Poniżej drogi przepływa rzeka San (Rycina 1).



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

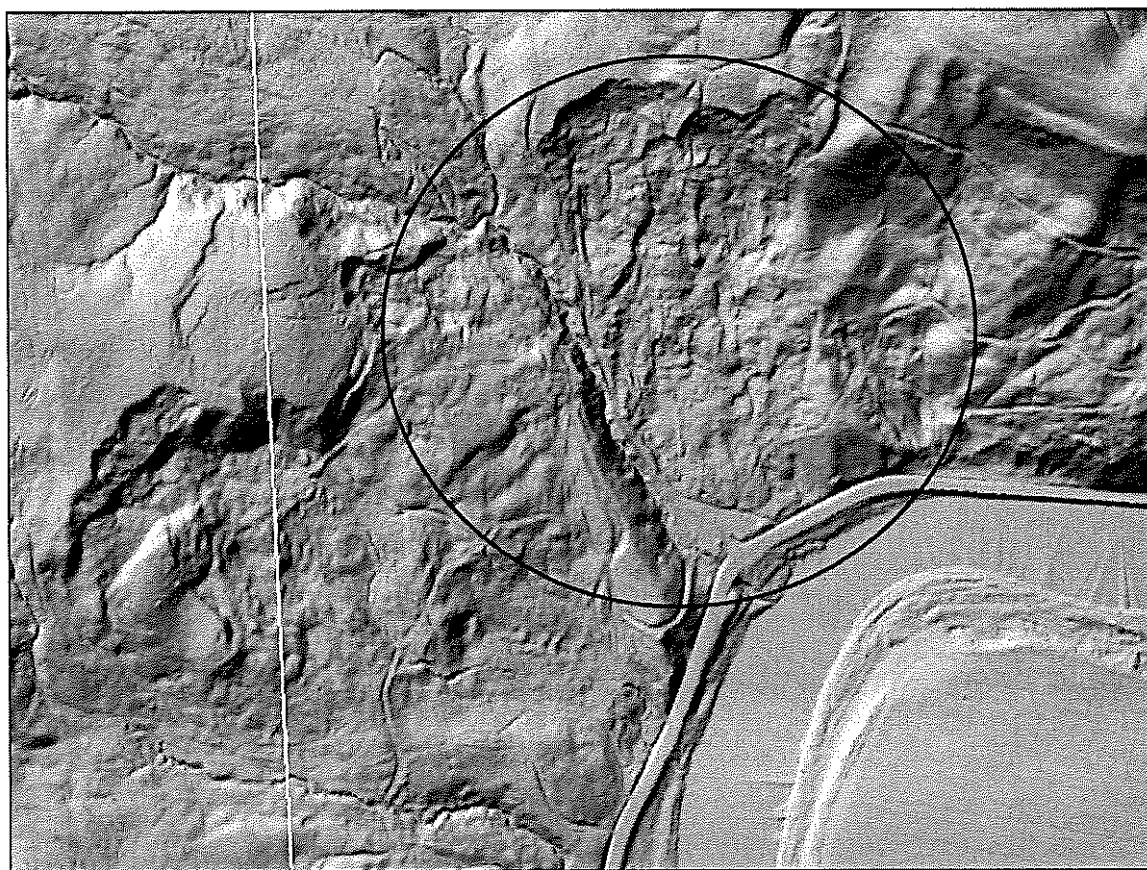
Źródło: Mapa pochodzi z zasobów witryny internetowej Projektu SOPO prowadzonej przez PIG-PIB.

W celu rozpoznania zmian morfologii terenu w obrębie analizowanego obszaru przeprowadzono analizę porównawczą numerycznych modeli terenu (NMT) opracowanych na podstawie danych LiDAR. W badaniu wykorzystano dwa modele: NMT pochodzący z 2022 roku oraz najnowszy model z 2024 roku

## 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). Ich zestawienie umożliwiło opracowanie różnicowego modelu terenu, przedstawiającego zmiany wysokościowe, które zaszły w analizowanym okresie (Rycina 3, 4). Wysoka rozdzielczość przestrzenna oraz duża dokładność wysokościowa danych LiDAR umożliwiły identyfikację lokalnych deformacji powierzchni terenu, potencjalnie związanych z procesami osuwiskowymi. Uzyskane wyniki analizy różnicowej zestawiono dodatkowo z modelem rzeźby terenu z 2024 roku, również opracowanym na podstawie danych LiDAR. Interpretacja różnicowego modelu terenu pozwoliła na wskazanie przekształceń rzeźby w badanym przedziale czasowym, co stanowiło podstawę do sformułowania wniosków dotyczących dynamiki oraz charakteru ruchów osuwiskowych zachodzących na analizowanym obszarze.

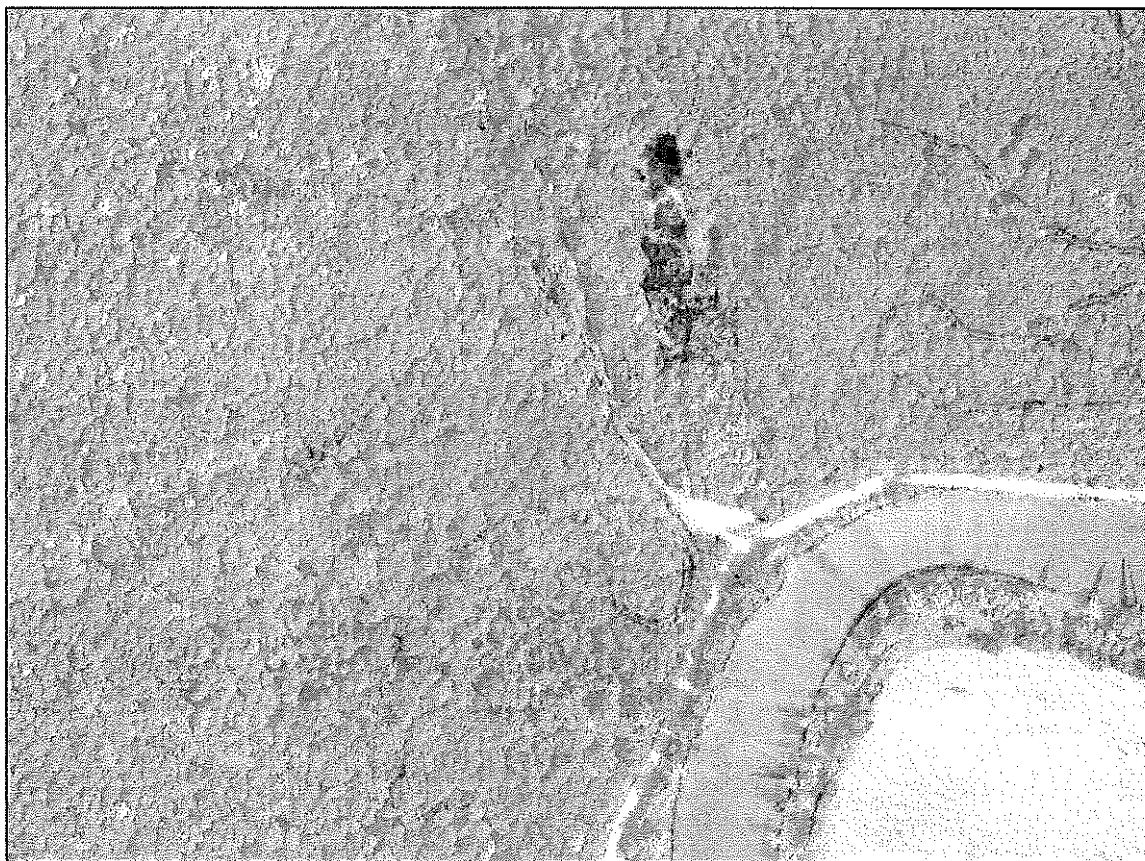


0 50 100 200 m

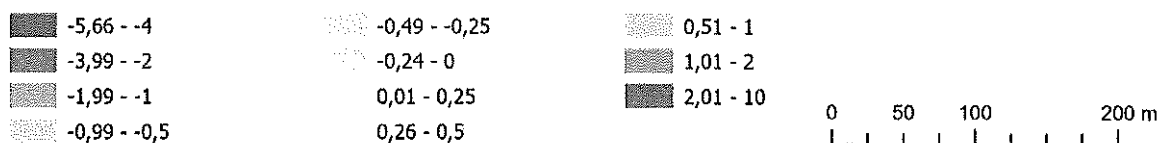
Rycina 2. Numeryczny model terenu opracowany na podstawie danych LiDAR

## 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*



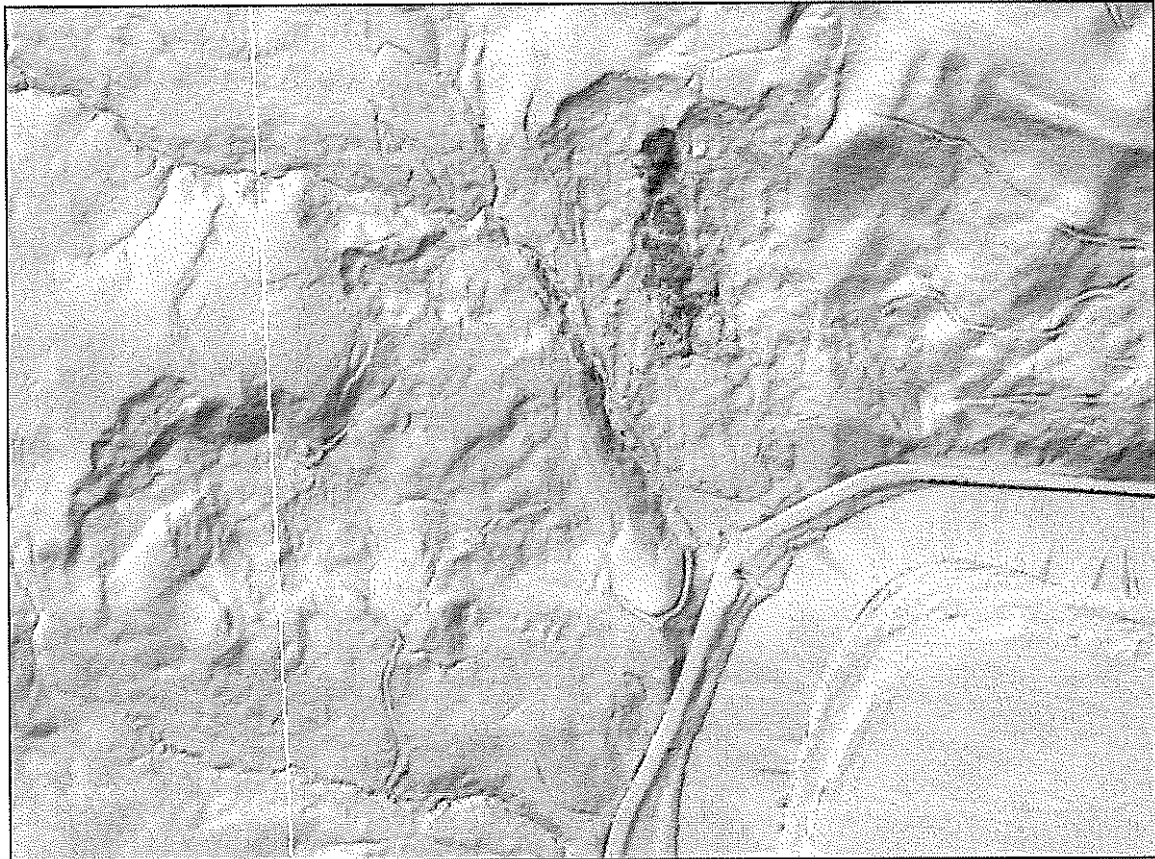
Zmiany wysokości powierzchni terenu w latach 2022-2024 [m]



Rycina 3. Zmiany rzeźby terenu widoczne na modelu różcowym wykonanym z porównania modeli terenu z 2022 i 2024 roku opracowanych na podstawie danych LiDAR. Różnicowy model terenu nałożono na ortofotomapę.

## 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*



Zmiany wysokości powierzchni terenu w latach 2022-2024 [m]



Rycina 4. Zmiany rzeźby terenu widoczne na modelu różcowym wykonanym z porównania modeli terenu z 2022 i 2024 roku opracowanych 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*

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

#### Analiza modelu terenu na podstawie danych LiDAR

Analiza różnicowych modeli terenu opracowanych na podstawie danych LiDAR wykazała, że zachodnia część badanego osuwiska jest bardzo aktywna. W czasie zaledwie dwóch lat (2022-2024) odnotowano bardzo wyraźne ruchy osuwiskowe w obrębie badanej formy. Na rycinach 3 i 4 widoczne jest obniżenie terenu w górnej części osuwiska (kolor niebieski). Oznacza to powstawanie skarpy wtórnej w obrębie dużej formy osuwiskowej. Poniżej obniżenia terenu wystąpiła akumulacja materiału osuwiskowego (kolor czerwony). Na modelu różnicowym terenu widoczne są co najmniej trzy pakiety osuwiskowe, które powstały/zostały uaktywnione w ciągu 2 lat, od 2022 do 2024. Osuwanie obejmuje stosunkowo niewielką powierzchnię badanego osuwiska, jednak jest bardzo spektakularne. Sekwencja zmian rzeźby w postaci dużego obniżania powierzchni terenu w górnej części stoku i akumulacji materiału poniżej jest typowa dla aktywnych stoków osuwiskowych. Osuwisko jest zalesione, nie ma na nim zabudowy, jednak droga położona poniżej części osuwiska reaktywowanej w latach 2022-2024 może w przyszłości zostać objęta ruchami osuwiskowymi, lub też zasypana materiałem koluwalnym pochodzącym ze stoku powyżej. Wprawdzie obecnie osuwisko uaktywniło się w górnej części stoku, w odległości około 120 m od drogi, jednak w przyszłości ruchy osuwiskowe mogą objąć większe części badanej formy, również poniżej, w kierunku drogi.

Z pewnością należy monitorować analizowane osuwisko, zaleca się wykonywanie dalszych różnicowych modeli rzeźby terenu, w miarę jak będą udostępniane kolejne, nowsze dane LiDAR. W przypadku gdyby doszło do nawet niewielkiego uaktywnienia nowych partii osuwiska, należy podjąć prace służące jego stabilizacji, tak aby nie doszło do trwałego uszkodzenia drogi biegnącej poniżej lub jej zepchnięcia do koryta Sanu.

## 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)*

Zachodnia część badanego osuwiska jest aktywna, zidentyfikowano tu powstawanie skarpy wtórnej oraz bardzo czytelną strefie akumulacji koluwiów poniżej skarpy. Dużej skali ruchy osuwiskowe miały miejsce w latach 2022-2024, co oznacza że wystąpiły one w stosunkowo krótkim czasie. Świadczyć to może o dużej dynamice analizowanego osuwiska.

Poniżej osuwiska przebiega droga, która może zostać zniszczona w trakcie dalszego osuwania i uaktywnienia się większej części osuwiska. W latach 2022-2024 akumulacja koluwiów nastąpiła około 120 m powyżej drogi, jednak intensywne opady, a być może podcinanie stoku przez rzekę San może doprowadzić do dalszych przemieszczeń koluwiów na osuwisku i zniszczenia drogi biegnącej u podnóża osuwiska.

Zaleca się monitorowanie analizowanego osuwiska poprzez analizę w przyszłości kolejnych udostępnianych modeli terenu wykonywanych na podstawie pozyskiwanych w następnych latach zbiorów danych LiDAR. Zaleca się także wykorzystanie innych metod do monitorowania osuwiska. Należy min. sprawdzić dostępność danych pochodzących z interferometrii radarowej. Jako że stok jest zalesiony, należy także rozważyć analizę dendrochronologiczną. Analiza ta pozwoli na wnioskowanie o dawnych ruchach osuwiskowych oraz monitorowanie bieżącej sytuacji, dzięki czemu możliwa będzie bardziej wiarygodna predykcja osuwania.

PREZES ZARZĄDU  
Oddział Górnośląski, Polskie  
Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi  
Katowice, 25.02.2026  
Dr hab. Jerzy Cabała