

## 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 (Przemysł)

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,
- identyfikacja obszarów potencjalnie objętych osuwaniem,
- identyfikacja strefy która powinna zostać objęta analizami z wykorzystaniem technologii LiDAR,
- określenie granic, w których zostanie przeprowadzona analiza 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,
- zaplanowanie przedstawienia typów grafik obrazujących zmiany powierzchni gruntu z wykorzystaniem obrazów LiDAR,
- ocena aktywności osuwiskowej analizowanego 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 jedną z nowoczesnych metod teledetekcji, opartą na emisji impulsów laserowych w kierunku powierzchni Ziemi oraz analizie czasu powrotu odbitego sygnału. W badaniach osuwisk technika ta wykorzystywana jest przede wszystkim do bardzo dokładnego odwzorowania rzeźby terenu. Na podstawie zarejestrowanych danych możliwe jest tworzenie szczegółowych numerycznych modeli terenu (NMT), które pozwalają na analizę morfologii obszarów objętych procesami osuwiskowymi. Wysoka rozdzielczość danych LiDAR umożliwia identyfikację nawet niewielkich zmian w ukształtowaniu powierzchni stoków, które mogą świadczyć o aktywności ruchów masowych. Istotną zaletą tej technologii jest możliwość analizy terenu pokrytego roślinnością. Dzięki odpowiednim procedurom filtracji sygnału możliwe jest oddzielenie odbić od elementów roślinnych od odbić pochodzących bezpośrednio od powierzchni gruntu. Pozwala to na uzyskanie dokładnego obrazu topografii terenu znajdującego się pod warstwą roślinności, co ma szczególne znaczenie w obszarach górskich i leśnych. W rezultacie możliwe staje się precyzyjne rozpoznanie mikroform rzeźby związanych z procesami osuwiskowymi.

Na podstawie danych LiDAR identyfikowane są charakterystyczne elementy morfologiczne osuwisk, takie jak nisze osuwiskowe, progi osuwiskowe, strefy akumulacji materiału oraz jęzory osuwiskowe wraz z licznymi drobnymi formami występującymi w ich obrębie. Analiza szczegółowych modeli terenu pozwala również na określenie zasięgu i struktury poszczególnych części osuwiska. Porównywanie danych LiDAR pozyskanych w różnych okresach umożliwia natomiast monitorowanie zmian zachodzących w czasie. Dzięki temu możliwe jest śledzenie dynamiki przemieszczeń mas skalnych oraz zwietrzelinowych, a także ocena tempa rozwoju procesów osuwiskowych. Technologia LiDAR znajduje zastosowanie zarówno w badaniach naukowych dotyczących genezy i aktywności osuwisk, jak i w działaniach o charakterze praktycznym. Dane LiDAR są wykorzystywane do identyfikacji obszarów szczególnie narażonych na występowanie ruchów masowych oraz do wyznaczania stref potencjalnego zagrożenia. Na ich podstawie opracowywane są mapy podatności stoków na osuwanie oraz mapy ryzyka osuwiskowego. Informacje te stanowią ważne narzędzie wspomagające planowanie przestrzenne oraz zarządzanie zagrożeniami naturalnymi.

Wysoka dokładność pomiarowa danych LiDAR sprawia, że uzyskane numeryczne modele terenu charakteryzują się dużą wiarygodnością analityczną. Technologia ta umożliwia również szybkie pozyskiwanie danych dla rozległych obszarów, co znacząco zwiększa efektywność badań terenowych. Jest to szczególnie istotne w regionach o złożonej rzeźbie terenu, gdzie tradycyjne metody pomiarowe są czasochłonne i trudne do zastosowania. Dodatkowo dane LiDAR mogą być integrowane z innymi źródłami

## 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*

informacji przestrzennej, takimi jak zdjęcia lotnicze czy dane satelitarne, co zwiększa możliwości interpretacyjne.

Zastosowanie technologii LiDAR umożliwia także wczesne wykrywanie niewielkich zmian w rzeźbie terenu, które mogą wskazywać na inicjację procesów osuwiskowych. W związku z tym numeryczne modele terenu opracowane na podstawie danych LiDAR mogą pełnić funkcję narzędzia wspierającego systemu wczesnego ostrzegania przed zagrożeniem osuwiskowym. Wczesna identyfikacja potencjalnie niebezpiecznych zmian pozwala na podjęcie odpowiednich działań zapobiegawczych. W konsekwencji wykorzystanie tej technologii przyczynia się do zwiększenia bezpieczeństwa ludności oraz ograniczenia strat materialnych związanych z występowaniem osuwisk.

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

#### Położenie i główne cechy obszaru badań

Przeprowadzony test badawczy obejmuje obszar położony w Przemyślu, analizowano tu aktywność trzech osuwisk. Największe z nich oznaczone na mapie SOPO (System Osłony Przeciwosuwiskowej) numerem 51300, osuwisko zostało zakwalifikowane jako gruntowe (ziemne). Według oznaczeń na mapie SOPO, osuwisko jest w większości nieaktywne, jedynie jego północno-zachodnia część oznaczona jest jako aktywna, miąższość koluwiów oszacowano tu na około 25 metrów (Rycina 1). Kolejne osuwisko oznaczone numerem 51301 położone jest na wschód od największego osuwiska, osuwisko to także funkcjonuje na mapach SOPO jako osuwisko ziemne, jest ono oznaczone jako całkowicie nieaktywne, a miąższość koluwiów wynosi tu około 20 m. Ostatnie z analizowanych osuwisk ma numer 513002, położone jest ono na północny-wschód od największego osuwiska. Jest ono także oznaczone jako ziemne, 20 % powierzchni osuwiska zakwalifikowano jako aktywne, a 80% jako nieaktywne, miąższość koluwiów oszacowano na 12 metrów (Rycina 1).

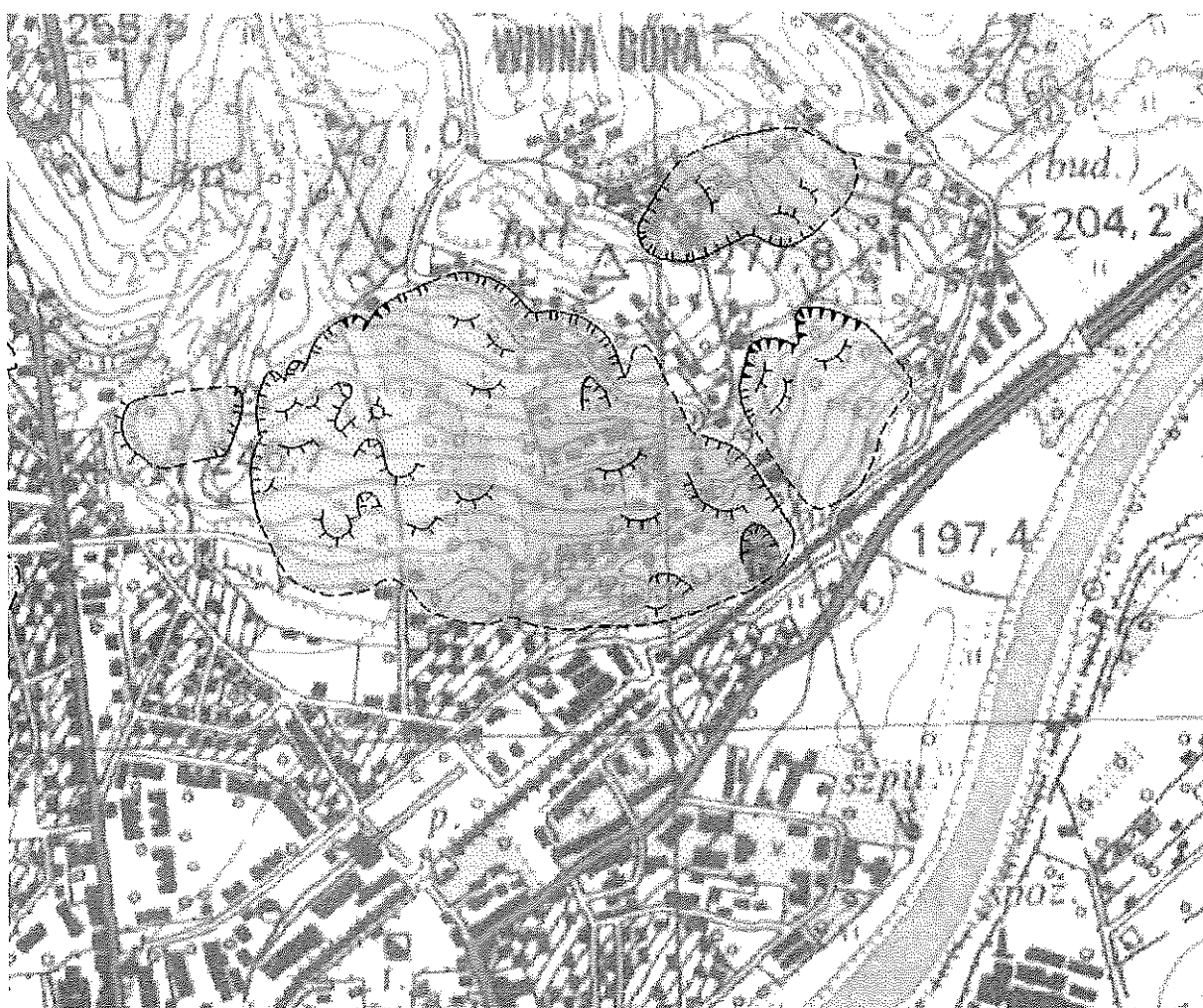
Badane osuwiska położone są w strefie częściowo zabudowanej, ich południowe części, szczególnie część największego osuwiska sąsiadują z linią kolejową i drogą. W razie szybkiej aktywizacji osuwisk mogłoby dojść do zniszczenia infrastruktury położonej w ich obrębie oraz w ich sąsiedztwie. Badany obszar jest w niewielkim stopniu porośnięty drzewami (Rycina 1).

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 wysokościowe: najstarszy dostępny model z 2018 roku oraz najnowszy model z 2025 roku. Ich zestawienie umożliwiło opracowanie różnicowego modelu terenu, który przedstawia zmiany wysokościowe zachodzące w analizowanym okresie. Zastosowane dane LiDAR, charakteryzujące się wysoką rozdzielczością przestrzenną oraz dużą dokładnością wysokościową, umożliwiły identyfikację lokalnych deformacji powierzchni terenu, mogących pozostawać w związku z procesami osuwiskowymi. Uzyskane wyniki analizy różnicowej zestawiono dodatkowo z modelem rzeźby terenu z 2025 roku, również

## 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*

opracowanym na podstawie danych LiDAR. Interpretacja modelu różnicowego pozwoliła na wskazanie obszarów, w których doszło do przekształceń rzeźby terenu w analizowanym przedziale czasowym. Uzyskane rezultaty stanowiły podstawę do oceny charakteru oraz skali zachodzących zmian morfologicznych. Na tej podstawie możliwe było również sformułowanie wniosków dotyczących dynamiki ruchów osuwiskowych w obrębie badanego obszaru.



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.

## 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*

---

### Analiza modelu terenu na podstawie danych LiDAR

Opracowanie modeli terenu uzyskanych na podstawie danych LiDAR pozwala na analizę powierzchniową rzeźby terenu wraz z uwzględnieniem terenów leśnych i polnych. Analiza modelu terenu dla badanego obszaru wykazała, że zmiany rzeźby terenu w latach 2018-2024 były stosunkowo niewielkie (Rycina 2). Na modelu różnicowym nie widać powierzchniowych zmian rzeźby terenu, które sugerowałyby wystąpienie rozległych ruchów masowych. Na największym osuwisku zidentyfikowano zmiany rzeźby terenu jedynie we wschodniej części. Nie jest to jednak aktywność osuwiskowa. Odnotowano jedynie erozję liniową, która spowodowała przemieszczanie się powierzchniowe materiału, bez występowania powierzchni ścienia w podłożu (charakterystycznych dla osuwania) (Rycina 2, 3).

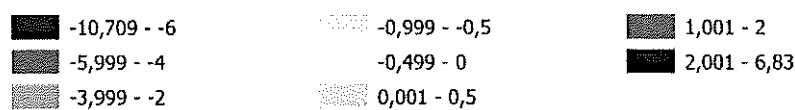
W południowo-zachodniej części największego osuwiska także wystąpiły zmiany powierzchni terenu, jednak widać wyraźnie, że wynikały one z działań gospodarczych człowieka i nie są powiązane z osuwaniem (Rycina 2, 3). Na osuwisku oznaczonym w aplikacji SOPO numerem 51301 odnotowano zmiany powierzchni terenu dokumentujące niewielkie osuwanie. Na modelu różnicowym widać obniżanie gruntu w górnej części, a następnie strefy akumulacji poniżej, co jest charakterystyczne dla aktywnych osuwisk. W obrębie ostatniego osuwiska, oznaczanego w SOPO numerem 51302 zidentyfikowano tylko niewielkie przekształcanie skarpy osuwiska polecające na jej erozji (Rycina 2, 3).

## 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*



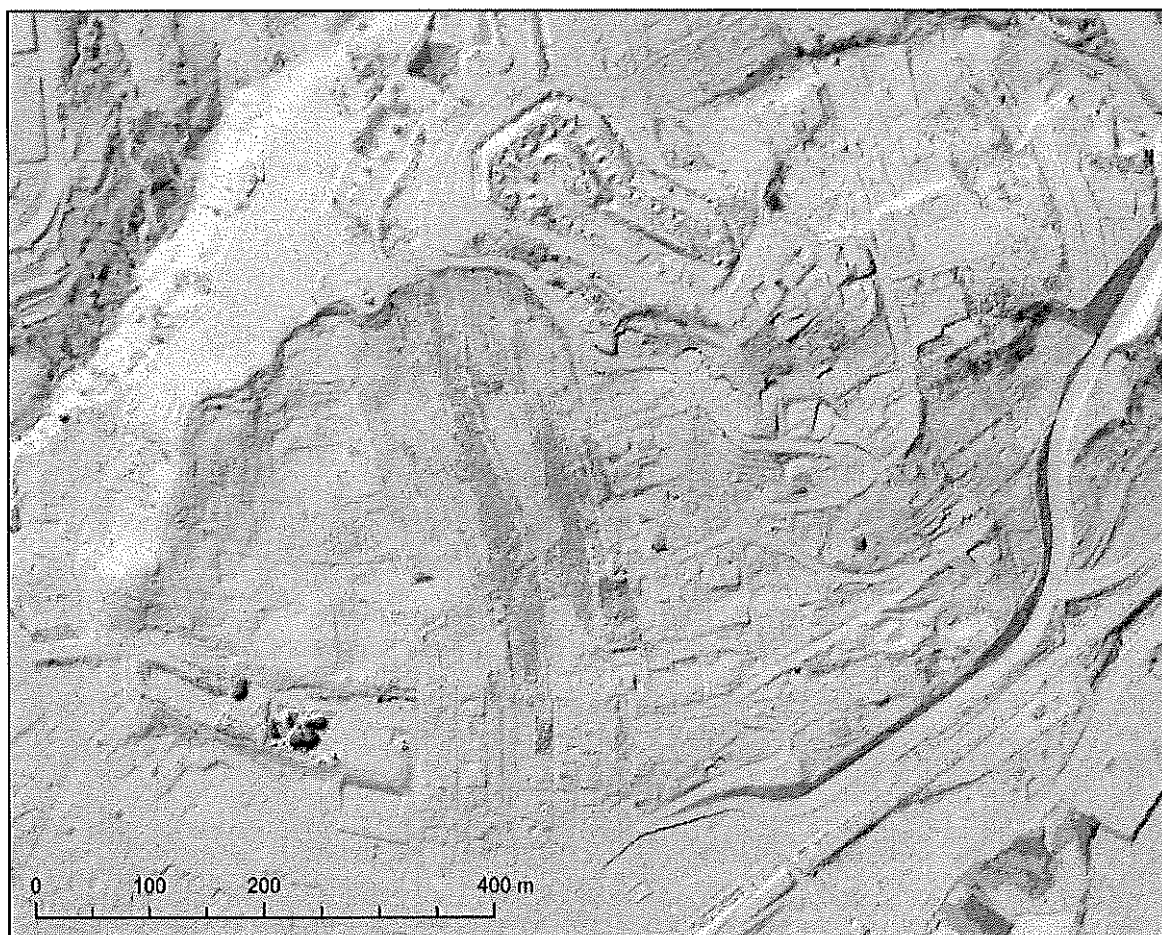
Zmiany wysokości powierzchni terenu w latach 2018-2025 [m]



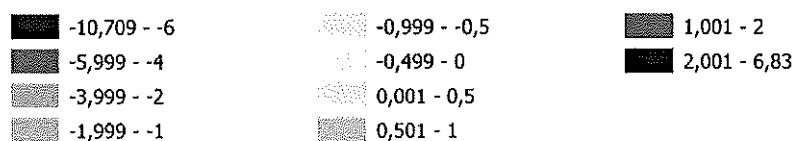
Rycina 2. Zmiany rzeźby terenu widoczne na modelu różcowym wykonanym z porównania modeli terenu z 2018 i 2025 roku opracowanych na podstawie danych LiDAR. Różnicowy model terenu nałożono na ortofotomapę.

## 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 2018-2025 [m]



Rycina 3. Zmiany rzeźby terenu widoczne na modelu różcowym wykonanym z porównania modeli terenu z 2012 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*

---

#### *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)*

Analiza różnicowego modelu terenu opracowanego na podstawie danych LiDAR za okres 2018-2025 wykazała, że badany obszar był objęty w niewielkim stopniu ruchami masowymi, w tym osuwaniem. Najbardziej aktywne w badanej strefie jest osuwisko oznaczone numerem 51301, gdzie w dolnej części odnotowano aktywność i powstanie niewielkich skarp wtórnych oraz form akumulacyjnych położonych poniżej skarp. Duże osuwisko (numer 51300) w badanych latach (2018-2025) nie było aktywne. Na tym osuwisku stwierdzono zmiany wysokości powierzchni terenu w dwóch miejscach. W jego wschodniej części występowała prawdopodobnie erozja linijna, natomiast w południowej jego części odnotowano zmiany powierzchni terenu spowodowane najprawdopodobniej działalnością gospodarczą. Kolejne osuwisko, oznaczone w SOPO numerem 51302 nie było aktywne, jedynie odnotowano niewielkie zmiany rzeźby terenu w obrębie skarpy osuwiskowej związane prawdopodobnie z erozją powierzchniową materiału.

Generalnie aktywność osuwiskowa jest w badanym obszarze niewielka. Nie ma potrzeby zabezpieczania osuwiska, ma ono charakter ziemny, stąd podczas opadów należy się spodziewać raczej bardzo płytkiego, powierzchniowego przemieszczania materiału zwietrzelinowego. Rekomendowane jest jednak monitorowanie analizowanego obszaru osuwiskowego pod kątem możliwości uruchomienia przyszłych ruchów osuwiskowych. Można także wzbogacić monitoring o zastosowanie innych metod badawczych np. interferometrii radarowej lub dendrochronologii.

PREZES ZARZĄDU  
Oddział Górnośląski Polskie  
Towarzystwo Przyjaciół Ziemi

Katowice, 25.02.2026  
  
dr hab. Jerzy Gabala