

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 miejscowości Skrzynka (powiat myślenicki)

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 Skrzynka (powiat myślenicki)
- 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) jest zaawansowaną metodą teledetekcji, która opiera się na emisji impulsów laserowych w kierunku powierzchni Ziemi oraz precyzyjnym pomiarze czasu powrotu odbitego sygnału. Na tej podstawie możliwe jest bardzo dokładne określenie odległości oraz stworzenie szczegółowego obrazu rzeźby terenu. W badaniach osuwisk technologia ta odgrywa istotną rolę, ponieważ pozwala na niezwykle precyzyjne odwzorowanie ukształtowania powierzchni nawet w trudnych warunkach terenowych. Szczególnie ważną jej funkcją jest możliwość generowania wysokorozdzielczych numerycznych modeli terenu (NMT), które umożliwiają identyfikację zarówno dużych, jak i bardzo subtelnych zmian morfologii stoków objętych ruchami masowymi. Jednym z najważniejszych atutów technologii LiDAR jest zdolność do filtrowania punktów odbitych od elementów pokrywy roślinnej, takich jak drzewa czy krzewy. Dzięki temu możliwe jest usunięcie zakłóceń i uzyskanie wiernego obrazu rzeczywistej powierzchni gruntu, nawet jeśli jest ona całkowicie ukryta pod roślinnością. Pozwala to na szczegółową analizę form charakterystycznych dla osuwisk, takich jak nisze osuwiskowe, progi, jęzory osuwiskowe, strefy akumulacji materiału, a także drobne formy towarzyszące, które często są niewidoczne w tradycyjnych metodach obserwacji terenowej. Dodatkowo, porównywanie danych LiDAR pozyskanych w różnych odstępach czasu umożliwia prowadzenie analiz dynamicznych, czyli monitorowanie zmian zachodzących w obrębie stoków. Tego typu podejście pozwala określić tempo oraz kierunki przemieszczeń mas skalnych i zwietrzelinowych, co jest kluczowe dla oceny aktywności osuwisk oraz prognozowania ich dalszego rozwoju. W praktyce oznacza to możliwość wykrywania nawet niewielkich deformacji terenu, które mogą stanowić wczesny sygnał nadchodzących zagrożeń.

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 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 decyzji dotyczących zagospodarowania terenu. Szczególne znaczenie LiDAR zyskuje na obszarach o złożonej rzeźbie terenu, gdzie tradycyjne metody pomiarowe są czasochłonne 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 czy dane satelitarne, dodatkowo

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

zwiększa możliwości interpretacyjne i analityczne. Istotnym aspektem wykorzystania LiDAR jest również jego potencjał w zakresie wczesnego ostrzegania. Dzięki możliwości wykrywania drobnych zmian morfologicznych, które mogą poprzedzać inicjację osuwisk, technologia ta może być stosowana jako element systemów monitoringu i prewencji. Numeryczne modele terenu opracowane na podstawie danych LiDAR stanowią więc skuteczne narzędzie wspierające identyfikację zagrożeń na wczesnym etapie, co przekłada się na zwiększenie bezpieczeństwa ludności oraz ograniczenie strat materialnych związanych z występowaniem osuwisk.

Położenie i główne cechy obszaru badań

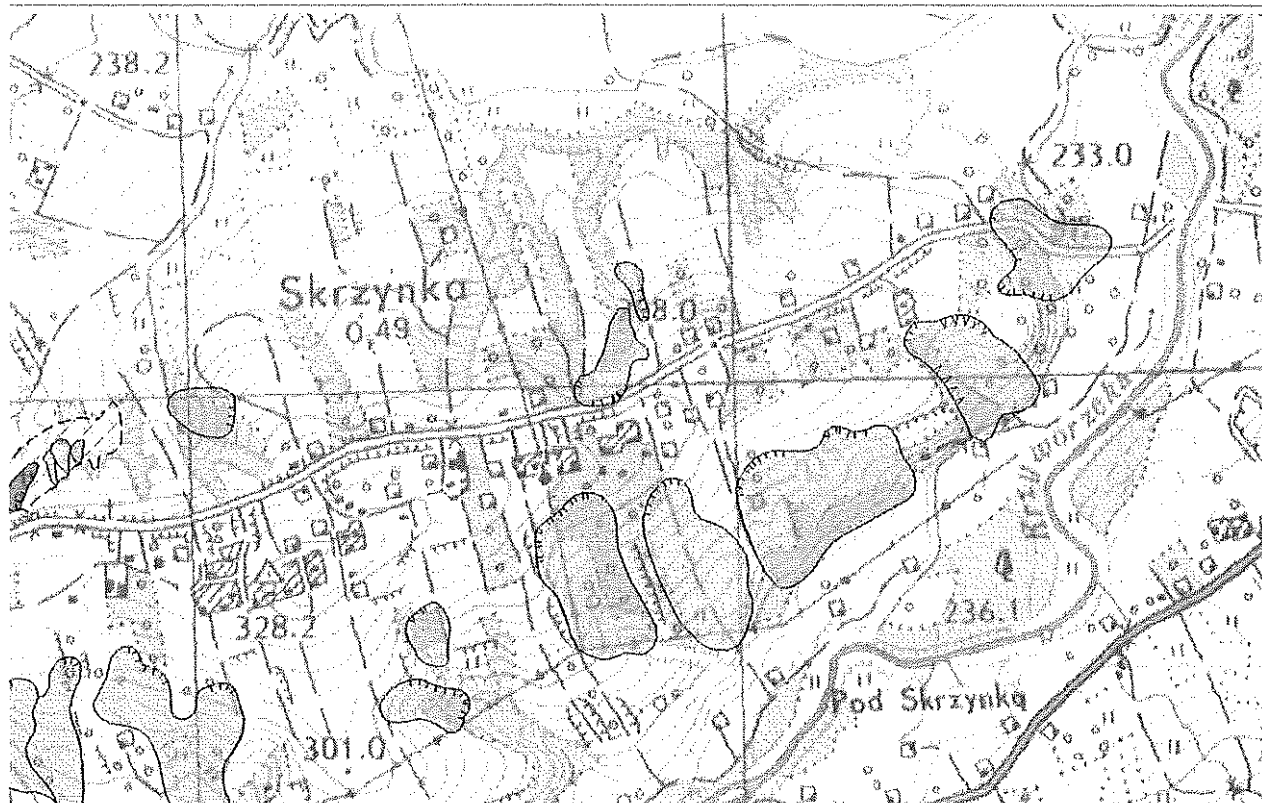
Test badawczy został położony na obszarze powiatu myślenickiego, w miejscowości Skrzynka. Badane osuwisko położone jest na północ od drogi biegnącej przez miejscowość Skrzynka. Osuwisko to jest stosunkowo niewielkie, ma ono 1,15 hektara i posiada numer w systemie SOPO – 10986 (Rycina 1). Forma ma charakter skalno-zwietrzelinowy i według aplikacji SOPO jest ono w 45 % okresowo aktywne, a w 55 % nieaktywne. Aktywny obszar osuwiska położony jest w jego południowej części, natomiast nieaktywna część występuje w północnej części. Miąższość koluwiów badanego osuwiska oszacowano na około 5 m. Osuwisko położone jest bezpośrednio pod drogą, jego część aktywna obejmuje/podcina drogę, stanowiąc potencjalne zagrożenie mogące spowodować jej zniszczenie.

Badany obszar w przeważającej części porośnięty jest drzewami, jest on pozbawiony zabudowy, na modelu terenu widoczna jest owalna forma osuwiskowa obejmująca/podcinająca także drogę (Rycina 2, 3, 4) Badane osuwisko występuje w leju źródłowym, z którego odchodzi w kierunku północno-wschodnim stosunkowo duża forma erozyjna (Rycina 2).

W celu rozpoznania zmian w morfologii terenu na analizowanym obszarze wykonano porównanie numerycznych modeli terenu (NMT) opracowanych na podstawie danych LiDAR. Do analizy wykorzystano dwa zestawy danych: najstarszy dostępny model z 2011 roku oraz najnowszy z 2024 roku. Ich zestawienie pozwoliło na utworzenie różnicowego modelu terenu, obrazującego zmiany rzeźby terenu, jakie nastąpiły w ciągu 13 lat. Wysoka rozdzielczość przestrzenna oraz dokładność wysokościowa danych LiDAR umożliwiły wykrycie lokalnych deformacji powierzchni terenu, które mogą być związane z aktywnością procesów osuwiskowych. Uzyskane wyniki porównano dodatkowo z modelem rzeźby terenu z 2024 roku, również bazującym na danych LiDAR, co ułatwiło ich interpretację przestrzenną. Analiza modelu różnicowego pozwoliła wskazać obszary, w których w badanym okresie zaszły istotne przekształcenia rzeźby terenu. Na tej podstawie możliwe było wnioskowanie o dynamice oraz charakterze ruchów osuwiskowych zachodzących na analizowanym 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 1. Lokalizacja osuwiska dla którego przeprowadzono analizę. Osuwisko położone jest na północ drogi biegnącej przez miejscowość Skrzyńka.

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 osuwiska.

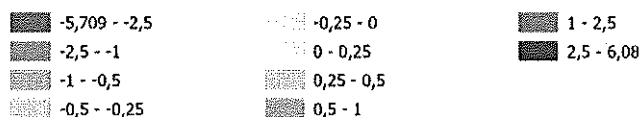
Polska – Słowacja

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



0 150 300 m

Zmiana wysokości powierzchni terenu w latach 2011-2024 [m]



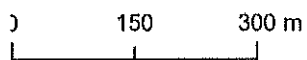
Rycina 3. Zmiany rzeźby terenu osuwiska w okresie 2011–2024 zobrazowane na modelu różnicowym na tle numerycznego modelu terenu (górna mapa).

Polska – Słowacja

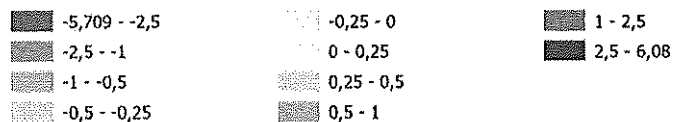
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Rycina 4. Zmiany rzeźby terenu osuwiska w okresie 2011–2024 na tle ortofotomapy.



Zmiana wysokości powierzchni terenu w latach 2011-2024 [m]



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

Wykonanie różnicowego modelu terenu opracowanego na podstawie danych LiDAR pozwala na analizę obszarową rzeźby terenu, uwzględniając tereny zalesione. Analiza modeli terenu dla badanego obszaru pozwoliła stwierdzić, że w okresie 13 lat (2011-2024) zidentyfikowano w obrębie osuwiska jedynie niewielkie zmiany rzeźby terenu (Rycina 3 i 4). Zmiany te są widoczne w północno-wschodniej części osuwiska i polegają na występowaniu bardzo niewielkich, odizolowanych od siebie płytkich zsuwów. Bardzo podobnie sytuacja występuje w południowej części osuwiska, gdzie podcina ono drogę. Z tym że tutaj ruchy niewielkich pakietów osuwiskowych są jeszcze mniej widoczne. Osuwisko nie posiada typowej niszy osuwiskowej, stanowi ono raczej niewielki lej źródłowy, przekształcany przez procesy erozji, w obrębie którego występują niewielkie ruchy osuwiskowe. Świadczą o tym obniżenia biegnące w obrębie badanej formy w kierunku północnym, najlepiej widoczne na rycinie 2.

Leje źródłowe są stosunkowo szybko przekształcanymi formami, w których zachodzi szereg różnych procesów geomorfologicznych, nie tylko niewielkie osuwanie. Takie leje źródłowe jak badany powstają często na skutek niewielkich osunięć materiału w przeszłości i stopniowego przekształcania niewielkiego zsuwu przez inne procesy geomorfologiczne, w tym niewielkie osuwanie. Obok wspomnianej wyżej erozji, może tu także występować sufozja, którą cechuje podziemny odpływ wody i tworzenie tak zwanych kanałów sufozyjnych. Strefy występowania odpływu podziemnego mogą być przekształcane w niewielkie zsuwy funkcjonujące oddzielnie. Efekty tych zsuwów w postaci niewielkich wypukłych form geomorfologicznych są widoczne w obrębie badanej formy w postaci czerwonych obszarów.

Leje źródłowe są przekształcane podczas kolejnych epizodów opadowych. Kolejne opady powodują ich powiększanie kosztem terenów przyległych, dlatego można się spodziewać, że stopniowo podcinana będzie droga biegnąca w górnej części osuwiska. Raczej nie należy się tu spodziewać dużych zsuwów obejmujących znaczne obszary drogi, a raczej sukcesywnego podcinania jej podczas kolejnych epizodów opadowych. W takim przypadku stosunkowo łatwo będzie technicznie zabezpieczyć drogę, tak aby nie była ona objęta niewielkimi ruchami osuwiskowymi. Jeśli to możliwe, należy rozważyć zabezpieczenie południowej części osuwiska przed dalszą jego ekspansją, a jednocześnie przesunąć drogę w kierunku południowym. W innym przypadku po kolejnych opadach, wielokrotnie trzeba będzie umacniać skarpe osuwiska i naprawiać drogę biegnącą w południowej jego części.

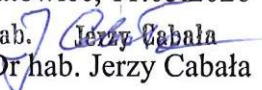


Polska – Słowacja

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 umożliwia szczegółową analizę rzeźby terenu, także na obszarach zalesionych. Analiza modeli z lat 2011 i 2024 wykazała jedynie niewielkie zmiany w obrębie badanego osuwiska. Zmiany te koncentrują się głównie w jego północno-wschodniej części i mają postać drobnych, płytkich zsuwów. Podobne, choć jeszcze słabiej zaznaczone, procesy zachodzą w części południowej, gdzie osuwisko podcina drogę. Badana forma nie posiada wyraźnej niszy osuwiskowej, lecz przypomina niewielki lej źródłowy przekształcany przez erozję. Leje źródłowe są dynamicznymi formami, w których zachodzą różnorodne procesy geomorfologiczne, w tym erozja i sufozja. Procesy sufozyjne prowadzą do powstawania kanałów podziemnego odpływu wody oraz lokalnych, niezależnych zsuwów. Kolejne epizody opadowe powodują stopniowe powiększanie się leja kosztem terenów sąsiednich, w tym drogi biegnącej w górnej części osuwiska. Zjawisko to raczej nie doprowadzi do dużych osunięć, lecz do stopniowego podcinania drogi, którą można zabezpieczyć działaniami technicznymi. Należy rozważyć zabezpieczenie południowej części osuwiska przed dalszą jego ekspansją, a jednocześnie przesunąć drogę w kierunku południowym. W innym przypadku po kolejnych opadach, wielokrotnie trzeba będzie umacniać skarpe osuwiska i naprawiać drogę biegnącą w południowej jego części.

PREZES ZARZĄDU
Oddział Górnośląski, Polskie
Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi
Katowice, 11.03.2026
dr hab. 
Dr hab. Jerzy Cabała