

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 w Zawadce (powiat wadowicki)

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 w obrębie osuwiska i wokół niego,
- 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 aktywną metodę teledetekcyjną opartą na emisji impulsów laserowych w kierunku powierzchni Ziemi oraz rejestracji czasu powrotu sygnału odbitego. W badaniach osuwisk znajduje szerokie zastosowanie jako narzędzie umożliwiające precyzyjne odwzorowanie ukształtowania terenu. Dane pozyskane w tej technologii pozwalają na generowanie wysokorozdzielczych numerycznych modeli terenu (NMT) w obrębie obszarów objętych ruchami masowymi. Wysoka dokładność pomiarowa oraz gęstość chmury punktów umożliwiają identyfikację nawet bardzo niewielkich zmian morfologii stoków. Istotną zaletą technologii LiDAR jest możliwość filtracji punktów odbitych od roślinności, co pozwala na eliminację zakłóceń generowanych przez pokrywę leśną i uzyskanie wiarygodnego obrazu powierzchni gruntu. Dzięki temu możliwe jest szczegółowe rozpoznanie form rzeźby charakterystycznych dla obszarów osuwiskowych, takich jak nisze osuwiskowe, progi, strefy akumulacji materiału oraz jęzory osuwiskowe wraz z towarzyszącymi im drobnymi formami wtórnymi. Analiza wieloczasowych zbiorów danych LiDAR umożliwia monitorowanie dynamiki procesów osuwiskowych poprzez porównywanie modeli terenu wykonanych w różnych okresach. Pozwala to na ilościowe określenie skali przemieszczeń mas skalnych i zwietrzelinowych oraz ocenę aktywności osuwiska w czasie. Technologia ta znajduje zastosowanie zarówno w badaniach naukowych nad mechanizmami i dynamiką ruchów masowych, jak i w praktyce inżynierskiej oraz planistycznej, gdzie służy identyfikacji stref zagrożenia.

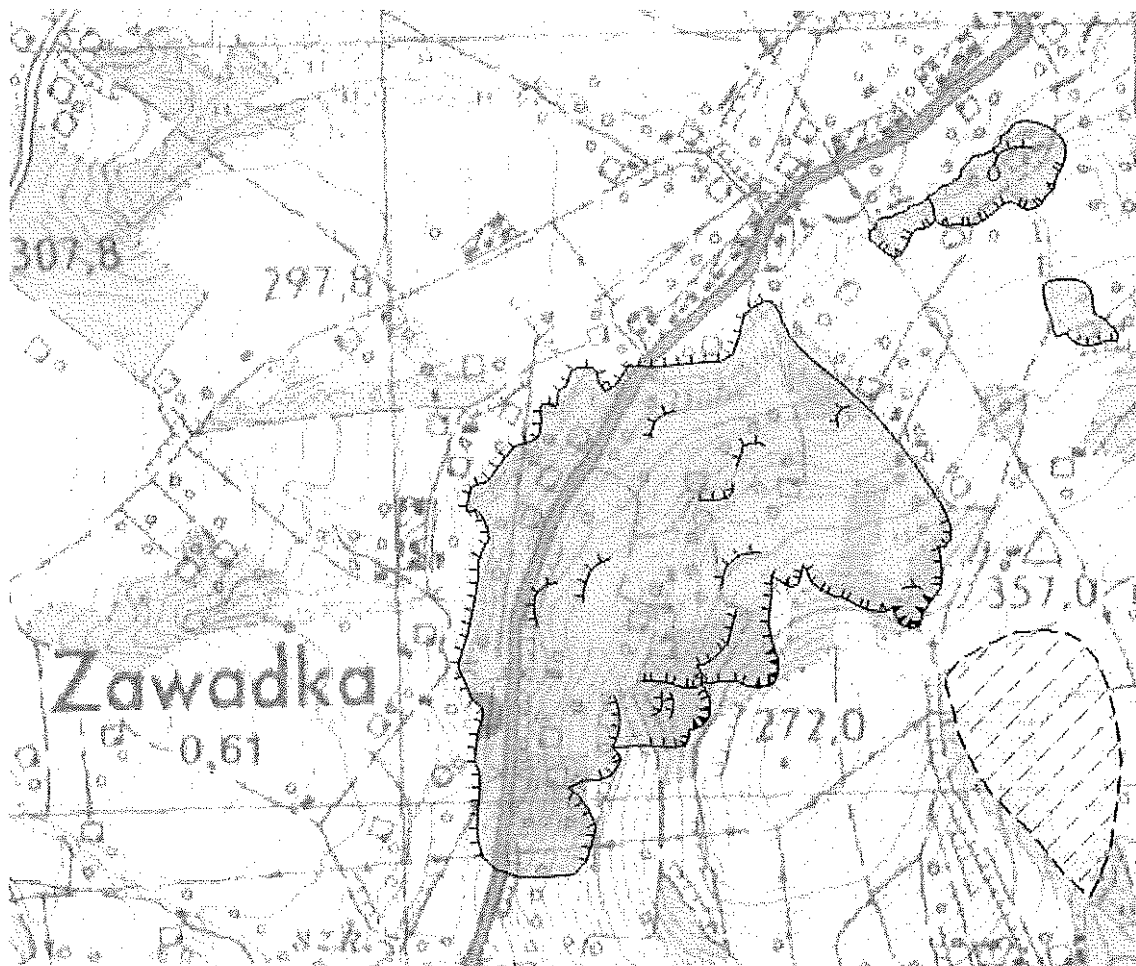
Numeryczne modele terenu opracowane na podstawie danych LiDAR stanowią podstawę do sporządzania map podatności i ryzyka osuwiskowego. Wspierają one proces podejmowania decyzji w zakresie planowania przestrzennego, szczególnie na obszarach o złożonej rzeźbie terenu. Dodatkowo technologia ta umożliwia szybkie i efektywne opracowanie danych dla rozległych obszarów, przy zachowaniu bardzo wysokiej precyzji pomiarowej. Ponadto LiDAR umożliwia wczesną identyfikację zmian morfologicznych mogących inicjować rozwój niebezpiecznych osuwisk. W tym kontekście numeryczne modele terenu pozyskane z danych LiDAR mogą być traktowane jako skuteczne narzędzie wczesnego ostrzegania przed zagrożeniem osuwiskowym. Zastosowanie tej technologii przyczynia się do zwiększenia poziomu bezpieczeństwa oraz ograniczenia potencjalnych strat materialnych wynikających z aktywności procesów osuwiskowych.

Położenie i główne cechy obszaru badań

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

Przeprowadzony test badawczy obejmuje obszar osuwiska położonego w powiecie wadowickim, w miejscowości Zawadka. Osuwisko położone jest w strefie, w której występują budynki, przez osuwisko przebiega także droga powiatowa. Osuwisko posiada numer 20750 w bazie SOPO i jest oznaczone prawie w całości jako nieaktywne, jedynie niewielki obszar położony w jego południowo-zachodniej części oznaczono jako aktywny (Rycina 1). Osuwisko stanowi zagrożenie dla drogi powiatowej, która uległa zniszczeniu (około 2015-2016 roku) w wyniku aktywizacji ruchów osuwiskowych. Ma ono charakter skalno-zwierzelinowy, w jego obrębie występują cechy rzeźby charakterystyczne dla osuwiska, czyli skarpa główna, skarpy wtórne oraz liczne formy dyspozycyjne.



Rycina 1. Lokalizacja osuwiska dla którego przeprowadzono analizę. Osuwisko widoczne jest 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

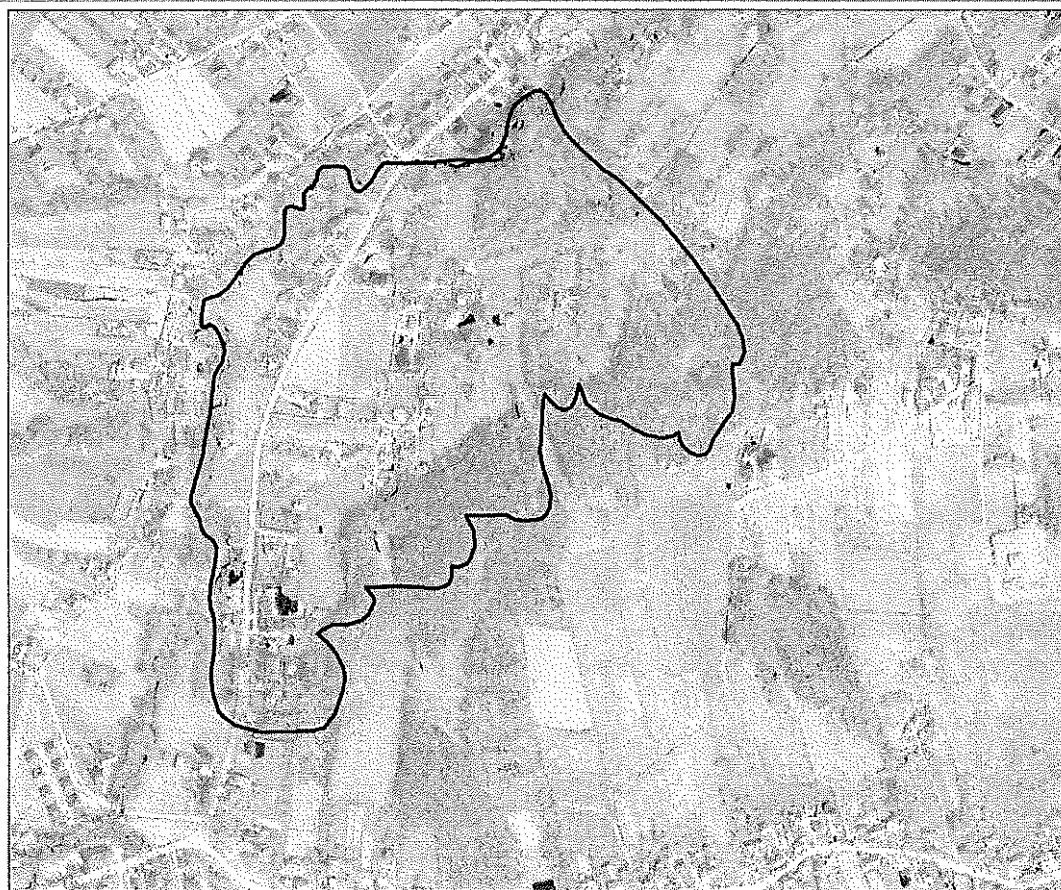
Analiza porównawcza numerycznych modeli terenu (NMT) opracowanych na podstawie danych LiDAR została przeprowadzona w celu identyfikacji zmian morfologii terenu w obszarze badawczym. Do analizy wykorzystano dwa modele: najstarszy dostępny NMT z 2012 roku oraz najnowszy NMT z 2025 roku. Porównanie modeli pozwoliło wygenerować różnicowy model terenu obrazujący zmiany wysokościowe zachodzące w okresie 13 lat. Dane LiDAR, charakteryzujące się wysoką rozdzielczością i dokładnością wysokościową, umożliwiły identyfikację lokalnych deformacji terenu, potencjalnie związanych z procesami osuwiskowymi. Wyniki analizy różnicowej zostały skonfrontowane z aktualną ortofotomapą i modelem rzeźby terenu z 2025 roku, opracowanym na podstawie danych LiDAR. Analiza modelu różnicowego pozwala na identyfikację zmian rzeźby terenu w badanym okresie w czasie, co pozwalała z kolei wnioskować o dynamice ruchów osuwiskowych w badanym obszarze.

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

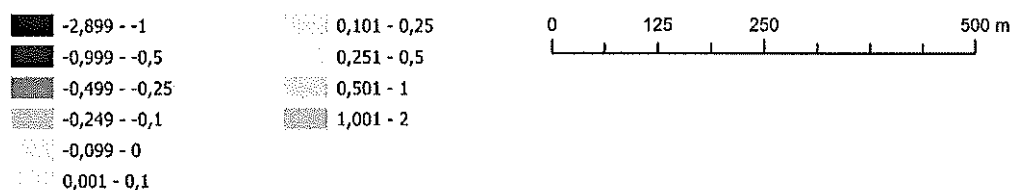
Różnicowy model terenu przedstawiono na tle ortofotomapy (Rycina 2). Na modelu rzeźby terenu zidentyfikowano stosunkowo niewielką aktywność badanego osuwiska w latach 2012-2025, strefy zmian rzeźby terenu zaznaczono na rycinie 3. Szczególnie duże zmiany rzeźby terenu oznaczono numerami 1 i 2, przy czym strefa 2 znajduje się częściowo poza granicą osuwiska (Rycina 3). W strefie 1 zidentyfikowano obniżenie i występujące pod nim wyniesienie przypominającego strefę osuwiskową. Jest to jednak obszar budowy domu, gdzie zrównano teren poprzez podcięcie skarpy (strefa niebieska), jednocześnie nadbudowano powierzchnie pod budynek w dolnej części (strefa czerwona). Inny charakter ma strefa położona w zachodniej części obszaru numer 1, występuje tu strefa osuwiskowa – położona w pobliżu potoku Dąbrówka z niewielką skarpią osuwiskową oraz zdeponowanym materiałem koluwalnym (Rycina 3). Strefa numer 1 występuje w obszarze, gdzie zniszczona została droga powiatowa, z pewnością obszar ten podlegał będzie dalszym ruchom osuwiskowym w okresach długotrwałych opadów bądź zależnie od głębokości powierzchni ścięcia, nawet podczas opadów nawałnych. Wydaje się, że osuwanie może mieć związek z podcinaniem stoku, a następnie stopniowym rozwoju opisywanej formy. Świadczy o tym położenie formy w sąsiedztwie doliny potoku, prawdopodobnie to potok podcinając stok przyczynia się do rozwoju osuwiska. Inny charakter ma strefa numer 2, zidentyfikowano tu różnice wysokości na modelu różnicowym wynikające budowy domów i erozji w dnie doliny. W strefie tej podnóże stoku jest podcinane przez potok, co prowadzi do bardzo płytkich zsuwów materiału ze stoku i depozycję materiału w dnie doliny. Na modelu różnicowy terenu wyraźnie widać zarys formujących się skarpi podcięć w samym sąsiedztwie koryta Dąbrówki, są to strefy strome, przylegające do koryta (Rycina 3). Brak kontynuacji tworzenia się skarpi osuwiskowych powyżej świadczy o tym, że erozja boczna rzeki występująca w strefie 2, nie generuje wielkoskalowego osuwania. Zwłaszcza w przypadku strefy 1 występuje ryzyko uaktywnienia i przemieszczenia wyższych partii stoku.

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 2012-2025 [m]



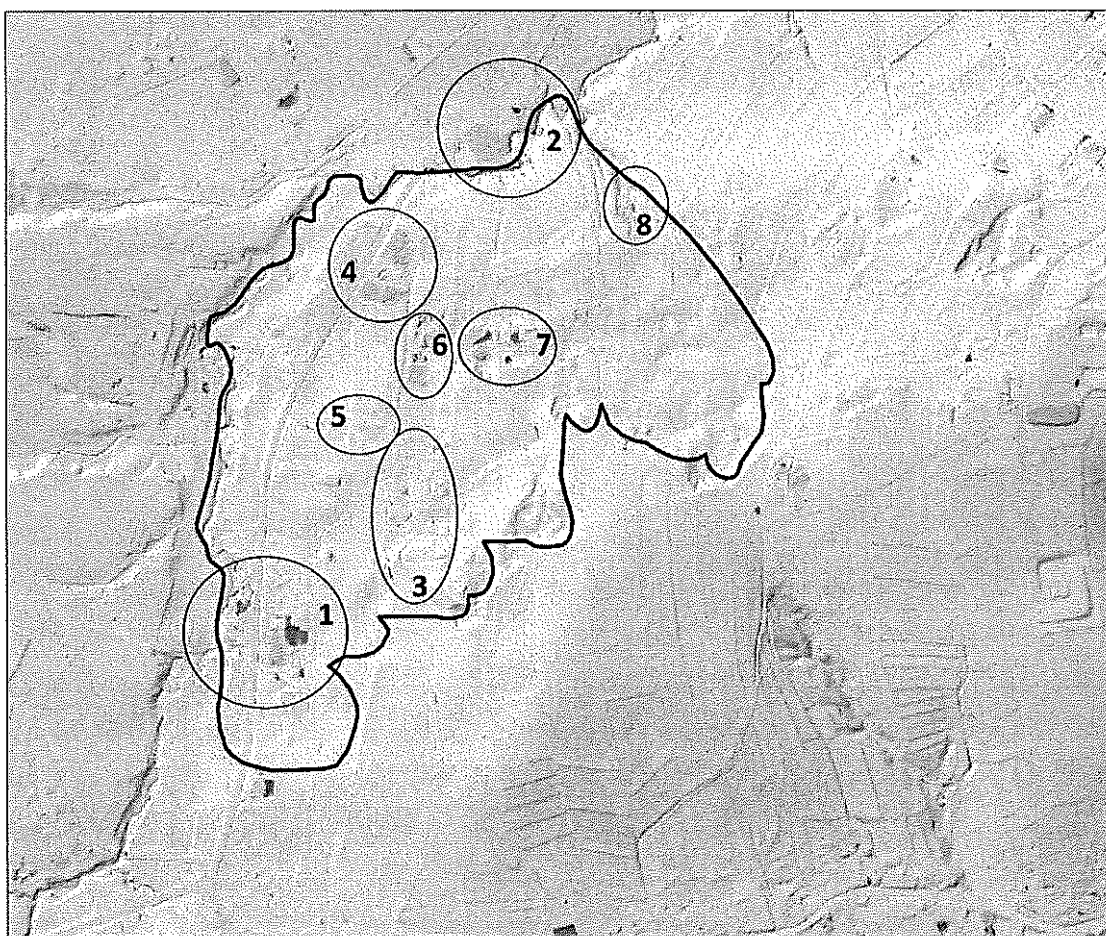
Rycina 2. Różnicowy model terenu model z zaznaczonym obszarem osuwiska na tle ortofotomapy.

W strefie oznaczonej numerem 3 widoczne są biegnące poprzecznie, łukowane obniżenia stanowiące podcięcia stoków będące efektem budowy domów, podcięciom towarzyszą płaskie strefy nadbudowanego materiału, powstałe w skutek niwelacji terenu pod budynki. W strefach 4, 5 i 6 zidentyfikowano zmiany rzeźby terenu wynikające prawdopodobnie z oddziaływania człowieka, ich kształt nie przypomina form osuwiskowych, raczej są to formy o regularnych prostokątnych kształtach znajdujące się najczęściej w obrębie zabudowanych posesji. W strefie oznaczonej numerem 7 zidentyfikowano antropogeniczne zmiany

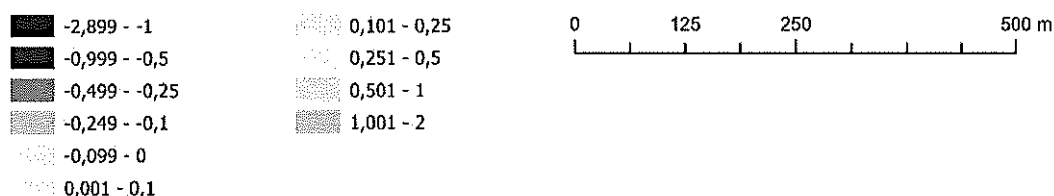
Polska – Słowacja

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

rzeźby (obszar położony w zachodniej części) i strefę prawdopodobnie wynikającą z osuwania gruntu położoną na północny wschodzie obszaru numer 7. Z kolei strefa numer 8 jest położona rozcięciu i ma charakter erozyjno-osuwiskowy. Widać tu niewielkie skarpy osuwisk i strefy depozycji materiału. Występują tu płytkie, raczej inicjalne zsuwy.



Zmiany wysokości powierzchni terenu w latach 2012-2025 [m]



Rycina 3. Różnicowy model terenu na tle modelu terenu z 2025 roku z zaznaczonymi zmian rzeźby terenu strefami (1-8).



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)

Analizowane osuwisko w kilku miejscach jest obecnie aktywne, pojawiają się w jego obrębie skarpy wtórne i osuwiskowe formy depozycyjne. Najbardziej wyraźne osuwanie zidentyfikowano w strefie numer 1, sąsiadującej z potokiem Dąbrówka. Formy osuwiskowe sąsiadują tu z drogą powiatową, która z dużym prawdopodobieństwem będzie ulegać dalszemu niszczeniu wynikającemu z osuwania. Jednym ze środków zaradczych może być zabezpieczenie podcinanych zboczy potoku Dąbrówka w strefie występowania osuwisk. Jednak w związku z występowaniem w sąsiedztwie koryta rzecznych budynków, nie należy przy pracach związanych z zabezpieczaniem stoku zmieniać/zawęzać biegu potoku. Proponuje się zachować równinę zalewową potoku i kanał swobodnej migracji jego koryta podczas wezbrań.

Osuwanie miejscami obejmuje także wyższe partie stoku, czego przykładem jest strefa oznaczona numerem 8. Formy aktywne, zidentyfikowane na modelu różnicowym i położone w wyższych partiach stoku można traktować jako formy inicjalne, które w efekcie długotrwałych opadów lub opadów nawalnych (zależnie od głębokości osuwiska) będą się w przyszłości prawdopodobnie rozwijać. Na modelu różnicowym zidentyfikowano także dość duże zmiany rzeźby terenu, które związane są z działaniami człowieka – strefy 1, oraz 4-7.

PREZES ZARZĄDU
Oddział Górnośląski, Polskie
Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi
Katowice, 23.02.2026
dr hab. 
Dr hab. Jerzy Cabała