

## 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 gminie Nowe Rybie (powiat limanowski)

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 gminie Nowe Rybie (powiat limanowski)
- 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,

## 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*

- 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.
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 jedną z najbardziej zaawansowanych metod teledetekcyjnych wykorzystywanych wspólnie w badaniach środowiska przyrodniczego i procesów geomorfologicznych. Jej działanie opiera się na emisji impulsów laserowych w kierunku powierzchni Ziemi oraz pomiarze czasu, w jakim odbity sygnał wraca do sensora. Na podstawie tych danych możliwe jest bardzo precyzyjne określenie odległości między urządzeniem pomiarowym a powierzchnią terenu, co pozwala na tworzenie niezwykle dokładnych modeli rzeźby terenu o wysokiej rozdzielczości przestrzennej. Dzięki dużej dokładności pomiarów technologia LiDAR znajduje szerokie zastosowanie w analizie procesów geodynamicznych, w szczególności w badaniach osuwisk i ruchów masowych.

W kontekście badań osuwiskowych LiDAR umożliwia szczegółowe odwzorowanie powierzchni terenu nawet na obszarach trudno dostępnych i silnie zalesionych. Jedną z najważniejszych zalet tej technologii jest możliwość generowania wysokorozdzielczych numerycznych modeli terenu (NMT), które pozwalają identyfikować zarówno rozległe formy osuwiskowe, jak i bardzo drobne deformacje powierzchni stoków. Dzięki temu możliwe jest rozpoznawanie subtelnych zmian morfologicznych, które często są niewidoczne podczas tradycyjnych badań terenowych lub na standardowych mapach topograficznych. Istotnym atutem technologii LiDAR jest również zdolność do filtrowania punktów odbitych od roślinności, takich jak drzewa, krzewy czy wysoka roślinność zielna. Pozwala to na „odsłonięcie” rzeczywistej powierzchni gruntu i uzyskanie dokładnego obrazu terenu nawet w przypadku zwartej pokrywy leśnej. Ma to ogromne znaczenie szczególnie na obszarach górskich i podgórskich, gdzie roślinność bardzo często utrudnia prowadzenie

## 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*

klasycznych obserwacji geomorfologicznych. Dzięki analizie danych LiDAR możliwe jest dokładne wyznaczenie charakterystycznych elementów rzeźby osuwiskowej, takich jak nisze osuwiskowe, progi, jęzory koluwalne, wały, szczeliny czy strefy akumulacji materiału skalnego i zwietrzelinowego. Technologia ta umożliwia także wykrywanie niewielkich pęknięć oraz deformacji terenu będących wczesnymi symptomami aktywizacji ruchów masowych.

Duże znaczenie ma również możliwość porównywania danych LiDAR pozyskanych w różnych okresach czasu. Analizy wieloczasowe pozwalają monitorować dynamikę zmian zachodzących na stokach oraz określać tempo i kierunki przemieszczeń materiału skalnego. Dzięki temu możliwe jest śledzenie aktywności osuwisk i ocena ich rozwoju w czasie. Tego typu badania dostarczają niezwykle cennych informacji dotyczących stabilności stoków oraz potencjalnego ryzyka wystąpienia nowych ruchów masowych. W praktyce umożliwia to wykrywanie nawet bardzo niewielkich zmian wysokościowych, które mogą poprzedzać większe i bardziej niebezpieczne procesy osuwiskowe.

Technologia LiDAR znajduje obecnie szerokie zastosowanie nie tylko w badaniach naukowych, ale również w działaniach związanych z zarządzaniem ryzykiem geologicznym i ochroną ludności. Dane uzyskiwane z numerycznych modeli terenu są podstawą opracowywania map zagrożenia osuwiskowego oraz map podatności terenów na ruchy masowe. Opracowania tego typu mają ogromne znaczenie w planowaniu przestrzennym, projektowaniu infrastruktury oraz podejmowaniu decyzji inwestycyjnych. Pozwalają one ograniczać ryzyko lokalizacji budynków, dróg czy sieci przesyłowych na terenach szczególnie narażonych na destabilizację stoków. Szczególne znaczenie LiDAR ma na obszarach o skomplikowanej rzeźbie terenu, gdzie tradycyjne metody pomiarowe okazują się czasochłonne i mniej efektywne. Możliwość szybkiego pozyskiwania bardzo dokładnych danych dla dużych powierzchni sprawia, że technologia ta znacząco zwiększa możliwości prowadzenia analiz geomorfologicznych. Dodatkową zaletą jest możliwość integracji danych LiDAR z innymi źródłami informacji, takimi jak zdjęcia lotnicze, dane satelitarne, pomiary geodezyjne czy informacje geologiczne i hydrologiczne. Takie połączenie różnych metod badawczych pozwala na uzyskanie bardziej kompleksowego obrazu procesów zachodzących w środowisku.

Coraz większe znaczenie przypisuje się także wykorzystaniu LiDAR-u w systemach monitoringu i wczesnego ostrzegania przed zagrożeniami osuwiskowymi. Regularne pomiary umożliwiają wykrywanie zmian terenowych poprzedzających aktywację osuwiska, co pozwala na wcześniejsze podjęcie działań zabezpieczających. W efekcie technologia ta stanowi niezwykle skuteczne narzędzie wspomagające identyfikację zagrożeń naturalnych, zwiększające bezpieczeństwo mieszkańców terenów zagrożonych oraz ograniczające potencjalne straty materialne i infrastrukturalne.

## 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*

---

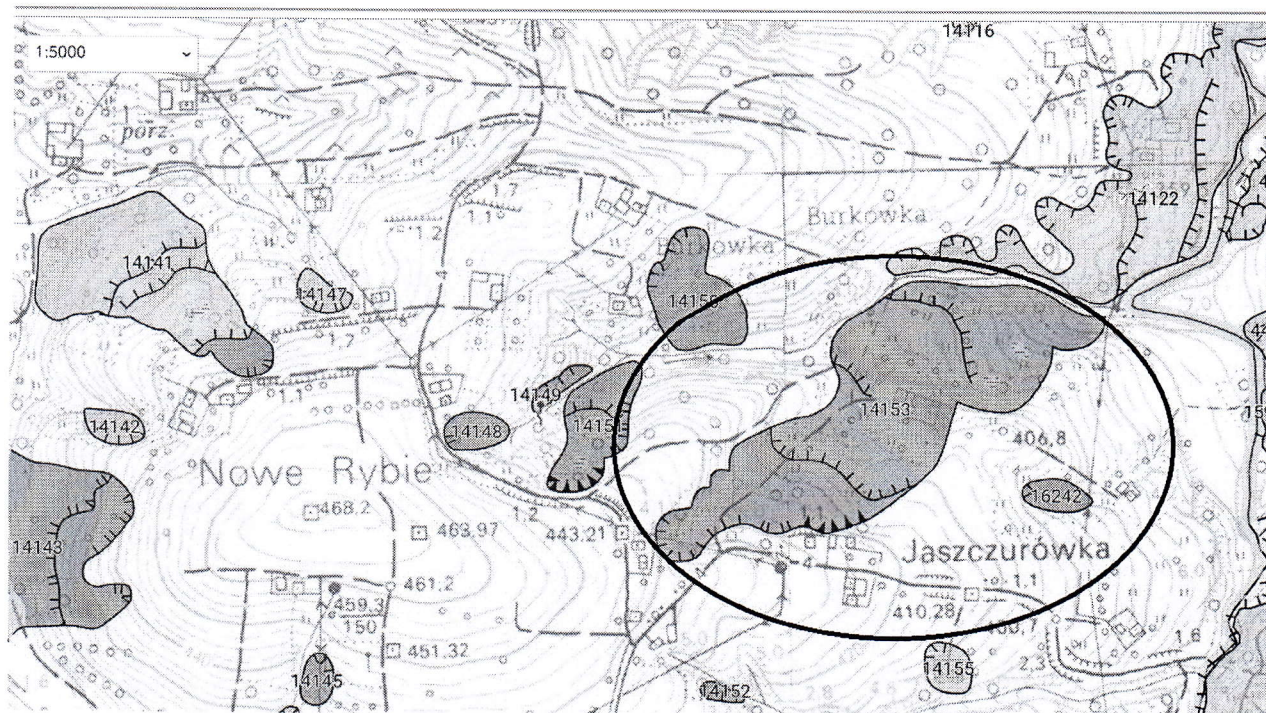
### Położenie i główne cechy obszaru badań

Test badawczy został wykonany w gminie Nowe Rybie (powiat limanowski). Analizowano aktywność osuwiska położonego w pobliżu wschodniej granicy administracyjnej gminy Nowe Rybie, na północ od przysiółka Jaszczurówka (Rycina 1). Osuwisko ma powierzchnię 6,8 hektara. W aplikacji SOPO jest ono określone jako osuwisko skalno-zwietrzelinowe o miąższości koluwiów wynoszącej około 30 m (Rycina 1). Osuwisko to oznaczone na mapie SOPO pod numerem 14153. Ma ono charakter rotacyjny i jest w 100% powierzchni okresowo aktywne. W obrębie osuwiska położony jest 1 budynek mieszkalny i 1 budynek gospodarczy (Rycina 2,3). Jednocześnie podjęto działania zmierzające do zagospodarowania analizowanego obszaru i budowy kolejnych domów na obszarze osuwiska. Niniejsze opracowanie ma na celu określenie aktywności osuwiska cele określenie dynamiki zmian rzeźby terenu i zagrożeń związanych z przyszłym zabudowaniem analizowanego obszaru. W badanym obszarze szczególną uwagę zwrócono na strefę położoną w obrębie działki numer 360 zaznaczonej na analizowanych mapach.

W celu szczegółowego rozpoznania zmian zachodzących w morfologii analizowanego terenu przeprowadzono analizę porównawczą numerycznych modeli terenu (NMT) opracowanych na podstawie danych pozyskanych z wykorzystaniem technologii LiDAR (Light Detection and Ranging). W badaniach zastosowano dwa zestawy danych wysokościowych: najstarszy dostępny model przedstawiający oraz najnowszy model odpowiadający sytuacji z roku 2024. Data nalotu na podstawie którego wykonany pierwszy model rzeźby terenu jest nieznaną ze względu na błędne włączenie arkusza do geoportalu, jednak zwykle najstarszy i najmłodszy model terenu dzieli kilka lub kilkanaście lat. Porównanie obu modeli umożliwiło opracowanie różnicowego modelu terenu, który w sposób ilościowy przedstawia zmiany rzeźby powierzchni. Wysoka dokładność wysokościowa oraz duża rozdzielczość przestrzenna danych LiDAR pozwoliły na identyfikację nawet niewielkich deformacji powierzchni terenu o charakterze lokalnym, mogących świadczyć o aktywności procesów osuwiskowych. Dodatkowo wyniki uzyskane w trakcie analizy zestawiono z modelem rzeźby terenu opracowanym dla roku 2024, również bazującym na danych LiDAR, co znacząco ułatwiło interpretację przestrzennego układu zidentyfikowanych zmian. Analiza rozmieszczenia przestrzennego wartości różnicowych umożliwiła wyznaczenie obszarów charakteryzujących się największą intensywnością przekształceń powierzchni terenu. Wykonane obliczenia pozwoliły również określić tempo zachodzących przemieszczeń oraz kierunki ruchu mas ziemnych w poszczególnych fragmentach badanego obszaru. Na podstawie uzyskanych wyników możliwe było sformułowanie wniosków dotyczących dynamiki procesów osuwiskowych oraz charakteru zachodzących ruchów masowych.

## 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 w gminie Nowe Rybie (powiat limanowski).

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*



Zmiana wysokości powierzchni terenu [m] i położenie przedmiotowej działki

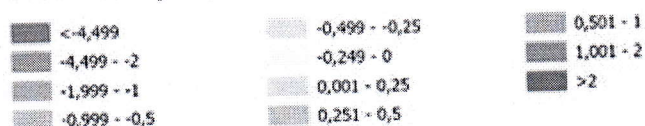
Rycina 2. Ortofotomapa obrazująca położenie osuwiska (działka numer 360 została zaznaczona czerwonym kolorem).

## 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*



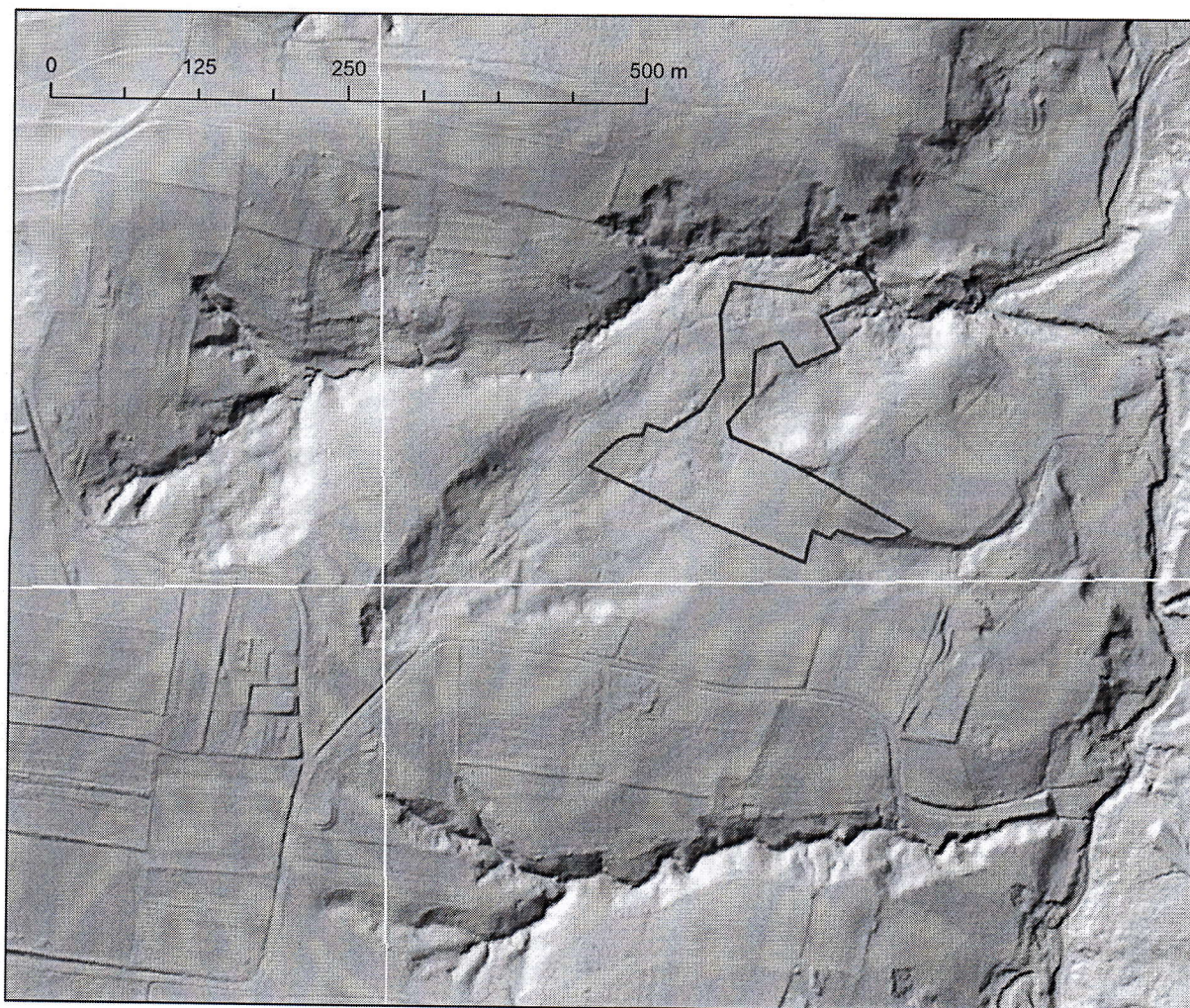
Zmiana wysokości powierzchni terenu [m] i położenie przedmiotowej działki



Rycina 3. Zmiany rzeźby terenu osuwiska zobrazowane na modelu różnicowym na tle ortofotomapy (działka numer 360 została zaznaczona czerwonym kolorem, na rycinie zaznaczono 3 strefy, w których zidentyfikowano największe przekształcenia rzeźby terenu).

## 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*



Zmiana wysokości powierzchni terenu [m] i położenie przedmiotowej działki

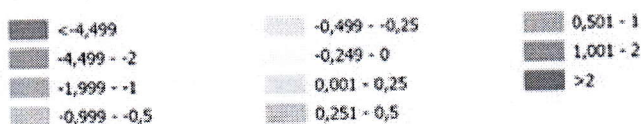
Rycina 3. Model terenu obrazujący morfologię i położenie osuwiska (działka numer 360 została zaznaczona czerwonym kolorem).

## 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*



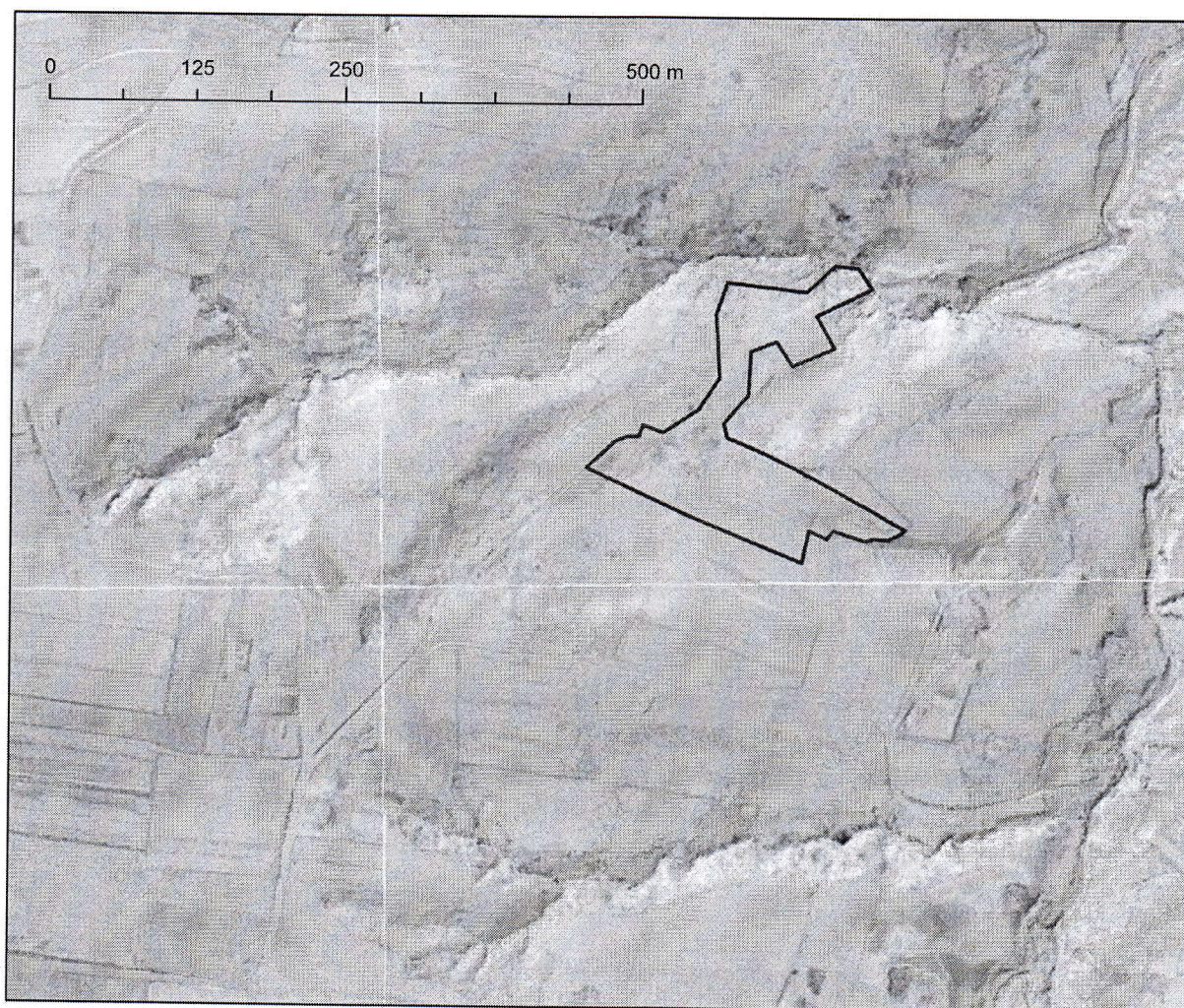
Zmiana wysokości powierzchni terenu [m] i położenie przedmiotowej działki



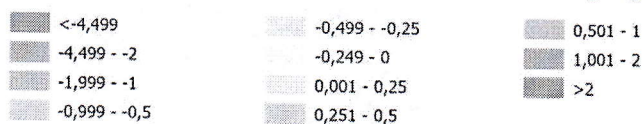
Rycina 3. Zmiany rzeźby terenu osuwiska zobrazowane na modelu różnicowym na tle ortofotomapy (działka numer 360 została zaznaczona czerwonym kolorem, na rycinie zaznaczono 3 strefy, w których zidentyfikowano największe przekształcenia rzeźby terenu).

## 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*



Zmiana wysokości powierzchni terenu [m] i położenie przedmiotowej działki



Rycina 4. Zmiany rzeźby terenu osuwiska na tle numerycznego modelu terenu (działka numer 360 została zaznaczona czerwonym kolorem).



## 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

Zmiany rzeźby terenu w obrębie osuwiska nie były duże w badanym okresie. Przekształcenia morfologii terenu występują w trzech strefach. Pierwsza strefa to obszar zalesiony położony w górnej (południowej) części osuwiska. Zmiany powierzchni gruntu nie są tu duże i obejmują raczej strefy dróg i wyglądają w większości jakby miały charakter gospodarczy (Rycina 3 i 4). Druga strefa, w której zidentyfikowano przekształcenia rzeźby terenu to obszar położony w obrębie działki numer 360 (Rycina 3 i 4). Występują tu prostokątne strefy, w których widoczne są wyniesienia terenu (strefy zaznaczone w obszarze numer 2 czerwonym kolorem, rycina 4 i 5). Zarówno kształt jak i charakter wyniesień świadczy o gospodarczej genezie przekształceń rzeźby terenu w tym obszarze. Nie ma tu charakterystycznych sekwencji sąsiadujących ze sobą wyniesień i o obniżen, co mogłoby sugerować wystąpienie osuwania w obszarze oznaczonym numerem 2 (Rycina 3 i 4). Obszar położony w strefie 3, także ma przekształconą rzeźbę terenu (Rycina 3,4). W tej strefie widoczne są niewielkie loby osuwiskowe oraz obniżenia sugerujące postępujące procesy osuwiskowe. Nie są to zmiany spektakularne, jednak na tyle widoczne, że potwierdzają one aktywność badanego osuwiska.

Badana forma osuwiskowa w okresie pomiędzy sporządzeniem najstarszego i najmłodszego modelu terenu na podstawie danych LiDAR nie wykazała dużej aktywności, w strefie górnej i dolnej badanego osuwiska występują zmiany powierzchni gruntu, które były związane z działalnością gospodarczą. Z kolei dolna (północna) część osuwiska była przekształcana pod wpływem ruchów masowych. Przekształcenia morfologii terenu na działce numer 360 obejmują zarówno działania gospodarcze (południowa część działki) jak i aktywność osuwiskową (północna część działki sąsiadująca z potokiem).

PREZES ZARZĄDU  
Oddział Górnośląski, Polskie  
Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi

dr hab. Jerzy Cabała