

Raport z testu badawczego dotyczącego zagrożenia osuwiskowego z wykorzystaniem metody LiDAR w kamieniołomie Kozy (powiat bielski)

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 kamieniołomie 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.

2. Opis przebiegu prac badawczych z uwzględnieniem założeń teoretycznych, opisu metody, ewentualnego poboru prób w terenie i kolejnych kroków prac laboratoryjnych.

Założenia teoretyczne (LiDAR)

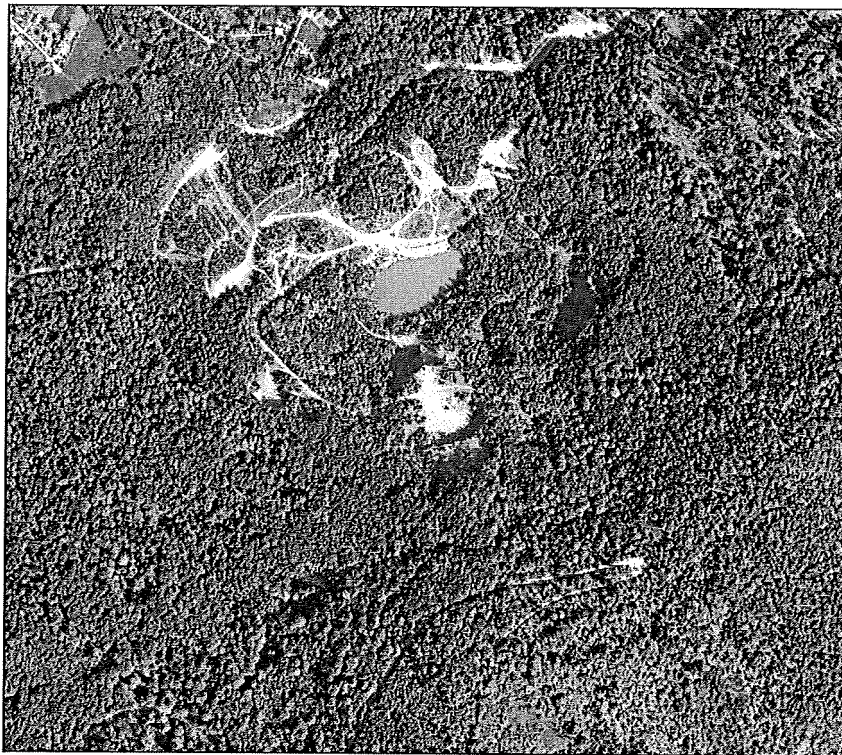
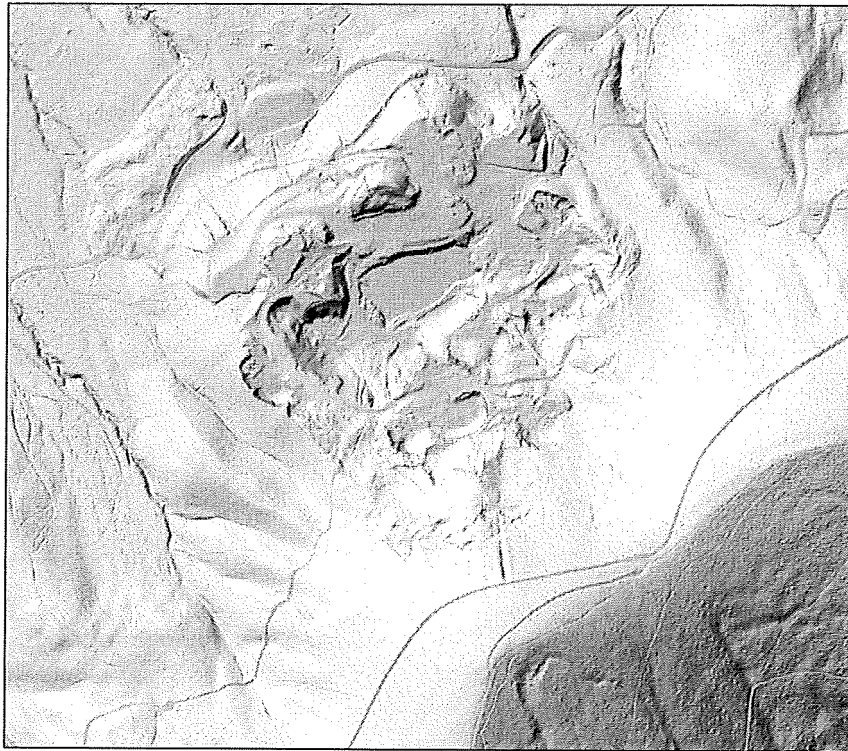
LiDAR to metoda teledetekcyjna oparta na wysyłaniu impulsów laserowych w kierunku powierzchni Ziemi. W badaniach osuwisk technologia ta jest wykorzystywana do precyzyjnego odwzorowania ukształtowania terenu. Pozwala ona na tworzenie szczegółowych numerycznych modeli terenu w strefie, gdzie występuje osuwisko. Dzięki wysokiej rozdzielczości możliwe jest zauważenie nawet bardzo niewielkich zmian powierzchni gruntu na stokach. LiDAR umożliwia analizę terenu pokrytego roślinnością poprzez eliminację zakłóceń wynikających z odbicia sygnału od drzew i krzewów. W efekcie można dokładnie odwzorować powierzchnię gruntu ukrytą pod roślinnością. Na podstawie danych LiDAR da się rozpoznać charakterystyczne elementy rzeźby związane z osuwiskami. Są to między innymi nisze, progi osuwiskowe oraz strefy akumulacji materiału w postaci jęzora osuwiskowego i wielu niewielkich form występujących w jego obrębie. Analiza danych z różnych lat pozwala śledzić rozwój i dynamikę osuwisk. Umożliwia to określenie skali przemieszczeń mas skalnych i zwietrzelinowych w czasie. LiDAR znajduje zastosowanie zarówno w pracach badawczych dotyczących analizy aktywności osuwisk, jak i w działaniach praktycznych wskazując strefy zagrożenia osuwiskowego. Zebrane dane dotyczące analizy numerycznych modeli terenu z wykorzystaniem danych LiDAR są także pomocne przy ocenie stopnia zagrożenia osuwiskowego. Na ich podstawie opracowywane się mapy ryzyka i podatności stoku na osuwanie. Technologia ta wspiera podejmowanie decyzji w planowaniu przestrzennym, jest szczególnie użyteczna na obszarach o skomplikowanej rzeźbie terenu, pozwala także na szybkie i efektywne badanie rozległych obszarów. Uzyskane z analizy modeli terenu opracowanych na podstawie danych LiDAR wyniki charakteryzują się bardzo dużą dokładnością pomiarową.

LiDAR umożliwia wczesne rozpoznanie zmian mogących prowadzić do powstania niebezpiecznych osuwisk, co pozwala traktować numeryczne modele terenu uzyskane z danych LiDAR jako narzędzie do wczesnego zagrożenia przed zagrożeniem osuwiskowym. Dzięki temu analiza LiDAR przyczynia się do zwiększenia bezpieczeństwa oraz ograniczenia strat materialnych wynikających z powstawania osuwisk.

Położenie i główne cechy obszaru badań

Przeprowadzony test badawczy obejmuje obszar położony około 4 km na wschód od centrum Bielska Białej. W obszarze leśnym występuje tu nieczynny kamieniołom Kozy. Miejsce jest atrakcyjne pod względem krajobrazowym, występuje tu sztuczny zbiornik wodny (Rycina 1). Obszar ten, ze względu na swoją atrakcyjność przyciąga turystów zamieszkujących

ościenne tereny, szczególnie Bielsko-Białą. Atrakcyjność badanego obszaru sprawia, że jest on także miejscem, w którym rozważa się prowadzenie inwestycji na szerszą skalę.



0 100 200 400 m

Rycina 1. Położenie analizowanego obszaru, model terenu z 2024 roku (górną mapą) i ortofotomapa (dolna mapa).

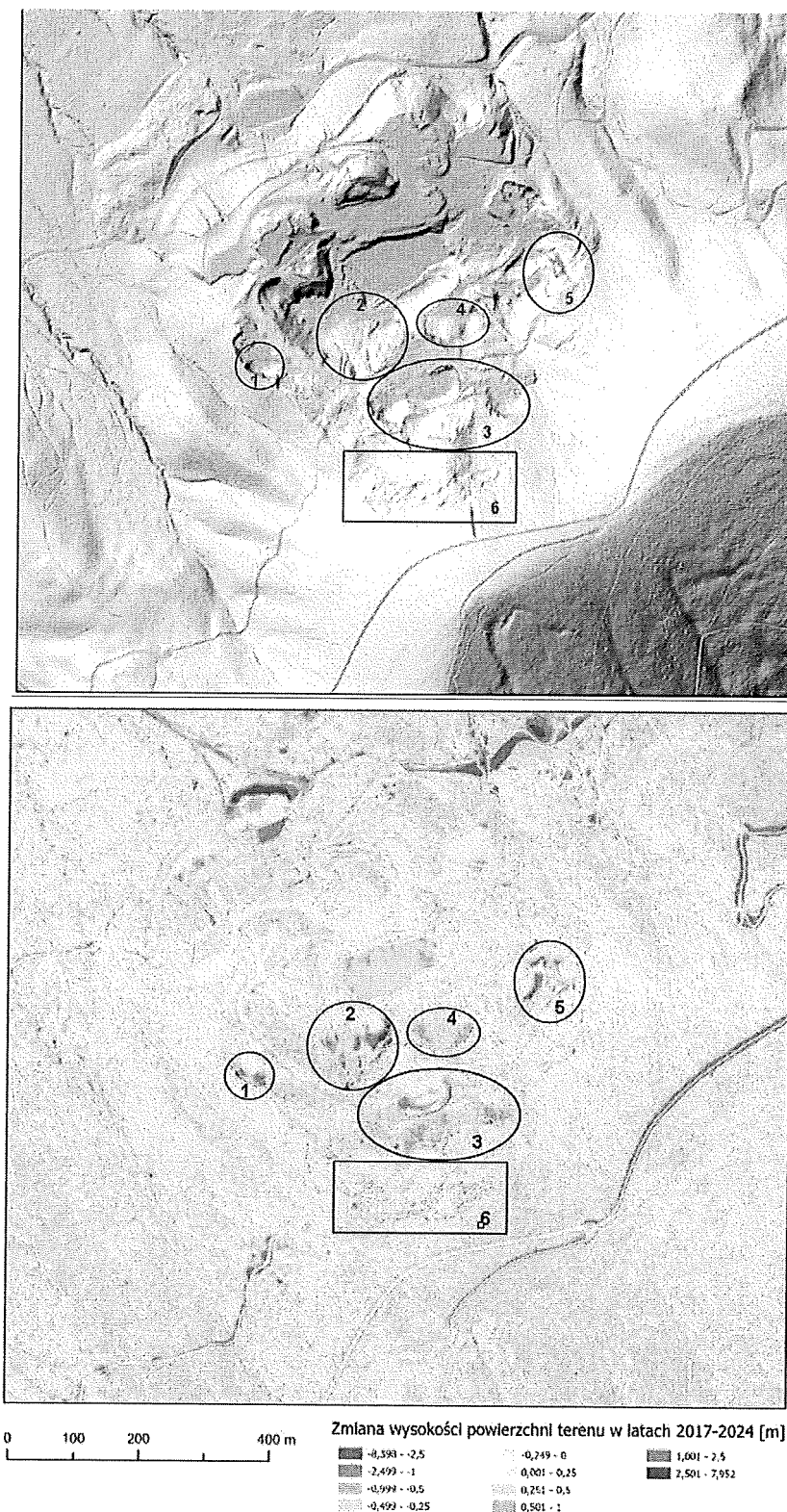
Na modelu terenu (Rycina 1) widoczna jest urozmaicona rzeźba terenu występująca w obszarze badań, długi okres eksploatacji skał spowodował, że w terenie występują liczne obniżenia jak i ściany skalne. Z jednej strony nadaje to badanemu obszarowi niepowtarzalny charakter z drugiej strony jest źródłem potencjalnych ruchów masowych, w tym niebezpiecznego dla infrastruktury osuwania. 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 2017 roku oraz najnowszy NMT z 2024 roku. Porównanie modeli pozwoliło wygenerować różnicowy model terenu obrazującego zmiany wysokościowe zachodzące w okresie 7 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 2024 roku, opracowanym na podstawie danych LiDAR. Analiza modelu różnicowego pozwala na uchwycenie zmian rzeźby terenu w badanym okresie w czasie, co pozwalała z kolei wnioskować o dynamice ruchów masowych w badanym obszarze.

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

Analiza modelu terenu na podstawie danych LiDAR

Wykonanie modeli terenu opracowanych na podstawie danych LiDAR pozwala na analizę obszarową rzeźby terenu wraz z uwzględnieniem terenów leśnych i polnych. Analiza modeli terenu dla badanego obszaru pozwoliła stwierdzić, że w okresie 7 lat (2017-2024) funkcjonowały w obszarze badawczym aktywne osuwiska (Rycina 2). Na podstawie analizy różnicowego modelu terenu wyróżniono 5 obszarów, w których występują zmiany wysokości terenu w ciągu 7 lat (2017-2024); (Rycina 2). Największe zmiany występują w obszarze numer 2, gdzie zidentyfikowano niewielkie strefy wyniesione i obniżone nawet do około 8 m, relatywnie duże wartości zmian rzeźby terenu występują także w obszarze o numerze 1 i 5 (Rycina 2). Największy obszar osuwiskowy to obszar oznaczony numerem 3, jednak deformacje terenu nie są tu tak duże, jak w przypadku obszarów 1, 2 i 5. W obszarze 3, podobnie jak w obszarze 4 występują strefy, które zostały obniżone i wyniesione do około 2 m. Morfologia zidentyfikowanych osuwisk wskazuje, że są to osuwiska skalne, o stromych niszach i strefach depozycyjnych w kształcie stożków. Formy takie są charakterystycznych dla szybkiego transportu materiału ze ścian kamieniołomu, który deponowany jest u podnóża ścian (nisz osuwiskowych). Wyjątek stanowi osuwisko występujące w wschodniej części obszaru numer 2. Jest ono głębsze i posiada rotacyjny charakter, dużą, regularną niszę (niebieski kolor) oraz regularny łob osuwiskowy (kolor czerwony) położony poniżej niszy. Zmiany rzeźby terenu wraz z położeniem form osuwiskowych widoczne są także na modelu różnicowym nałożonym na model terenu z 2024 roku opracowany na podstawie danych LiDAR (Rycina 3). Na rycinie 3 skala barw nie jest wiarygodna ze względu na przezroczystość nałożonych map, jednak

widoczne są charakterystyczne ubytki materiału (kolor niebieski) na ścianach stanowiących nisze osuwisk skalnych oraz strefy depozycji położone u podnóża ścian skalnych (kolor czerwony). Nie można także bagatelizować stosunkowo niewielkich przemieszczeń widocznych w obszarze 6 zaznaczonym prostokątem (Rycina 2).



Rycina 2. Model terenu (górną mapą) oraz różnicowy model terenu na którym widoczne są zmiany rzeźby terenu w czasie 2017-2024 (dolną mapą).



Rycina 3. Różnicowy model terenu nałożony na podkład w postaci numerycznego modelu terenu uzyskanego z danych LiDAR z 2024 roku.

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)

W badanym obszarze zidentyfikowano liczne, stosunkowo niewielkie, aktywne osuwiska. Część z nich została silnie przekształcona w latach 2017-2024. Zmiany powierzchni rzeźby terenu osiągnęły w przypadku badanych osuwisk nawet 8 m. Zidentyfikowano znaczne ubytki materiału w obrębie nisz osuwiskowych (głównie ścian skalnych) jak i duże obszary depozycji materiału położonego u podnóża nisz skalnych. Zdecydowana większość zidentyfikowanych osuwisk to osuwiska skalne, funkcjonujące poprzez płytkie, kolejne zsuwy materiału powiązane z innymi typami ruchów masowych takich jak obrywanie i odpadanie. Osuwiska tego typu są szczególnie niebezpieczne dla infrastruktury i ludzi. Powstają one nagle i mają dużą prędkość. Są one w stanie bardzo szybko zniszczyć infrastrukturę występującą u ich

podnóza, a także stanowią niebezpieczeństwo dla ludzi przemieszczających się poniżej osuwisk. Tego typu osuwiska można zabezpieczyć poprzez użycie siatek metalowych, dopasowanych do wielkości i ilości materiału przemieszczającego się w przypadku każdego z osuwisk z osobna oraz racjonalne wytyczanie szlaków pieszych, pomijając strefy zagrożone osuwaniem, widoczne na modelu różnicowym. Nie proponuje się wyłączenia z inwestycji wyznaczonych 5 stref, chodzi jedynie o niewielkie strefy osuwiskowe widoczne przy nałożeniu modelu różnicowego na numeryczny model terenu. Osobny problem stanowi stosunkowo niewielkie, głębsze osuwisko o charakterze prawdopodobnie rotacyjnym, występujące w obszarze numer 2. Strefa ta, będąc uaktywniona może poczynić duże szkody w infrastrukturze nawet oddalonej obecnie od osuwiska. Zaleca się pomijanie tej strefy przy podejmowaniu jakichkolwiek działań inwestycyjnych. Wyciągając wnioski dla przyszłego planowania infrastruktury należy pamiętać, że analiza została przeprowadzona na podstawie deformacji rzeźby terenu, które zaszły w ciągu 7 lat. To jak na aktywność osuwiskową stosunkowo krótki okres czasu. Z drugiej strony bardzo rzadko zdarza się, że analiza aktywności osuwiskowej obejmuje dłuższe okresy czasu, ze względu na brak starszych danych do budowy modelu. Jednak w przypadku badanego terenu, znajdującego się w obszarze leśnym, można przeprowadzić dalsze analizy z wykorzystaniem metody dendrochronologicznej, której użycie pozwoli na osiągnięcie dłuższych ciągów danych i lepszej predykcji osuwania w obszarze badawczym.

PREZES ZARZĄDU
Oddział Górnośląski, Polskie
Towarzystwo Inżynierskie Ziemi
Katowice, 05.10.2026
J. Cholewa
dr hab. inż. Jerzy Cholewa