

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

INSTRUKCJA DO PRZEPROWADZENIA TESTU ZAGROŻENIA OSUWISKOWEGO NOWOCZESNYMI METODAMI

Opis techniczny analizy zagrożenia osuwiskowego z zastosowaniem metody dendochronologicznej

- I. Instrukcja pozwalająca ocenić zagrożenie osuwiskowe z zastosowaniem metody dendochronologicznej (krok po kroku)

Krok 1. Analiza drzewostanu rosnącego na osuwisku pod kątem możliwości poboru prób dendochronologicznych. Należy sprawdzić jaka jest średnica drzew w ich pierśnicy (na wysokości około 1,3 m), co najmniej 20 drzew rosnących na stoku osuwiskowym powinno mieć średnicę powyżej 20 cm. W przypadku, gdy nie spełniony jest powyższy warunek nie powinno się stosować metody dendochronologicznej. Aby zmierzyć średnicę drzew powinno się użyć tzw. klupy (Rycina 1).



Rycina 1. Przykład klupy (średnicomierza) do pomiaru średnicy drzew

Krok 2. Gdy spełniony jest warunek opisany w kroku pierwszym należy wytypować do opróbowania 20 drzew, drzewa nie powinny posiadać zranień lub blizn na pniu, większych niż 10 cm długości. Zranienia takie mogą spowodować zaburzenia wzrostu drzew, a co za tym idzie zniekształcenie stojów np. wykształcanie głębokich redukcji po zranieniu. Do opróbowania powinno się pobrać drzewa pochylone zgonie z nachyleniem stoku (pochylone dostokowo bądź dostokowo). Takie drzewa potencjalnie rejestrują ruch osuwiskowy podłoża (Rycina 2).

Krok 3. Wytypowanie stoku referencyjnego, czyli stoku, na którym drzewa rosną na stabilnym podłożu (nie osuwającym się) w miarę możliwości położonego jak najbliżej stoku osuwiskowego objętego analizą. Stok referencyjny nie powinien być oddalony dalej niż 2 km od stoku osuwiskowego. Powinien być on porastany

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

przez drzewa takiego samego gatunku jak stok osuwiskowy. Powinien mieć on podobne nachylenie do stoku osuwiskowego (maksymalnie różniące się o 10 stopni).



Rycina 2. Pochylone drzewa rosnące na stoku osuwiskowym

Krok 4. Należy pobrać 40 rdzeni z 20 drzew rosnących na stoku osuwiskowym za pomocą świdra Presslera (Rycina 3). Z każdego z 20 drzew powinny zostać pobrane dwie próby. Obie zgodnie z nachyleniem stoku. Przed poborem próby należy zamarkować pozycję drzewa przy pomocy ręcznego GPS (wyznaczyć współrzędne geograficzne). Pierwsza próba powinna zostać pobrana od strony odstokowej, druga od strony dostokowej. Próby należy tak pobrać z drzew aby świder został wkręcony w drzewo do głębokości przekraczającej promień drzewa o około 5 cm. W czasie pobrania rdzenia należy założyć uchwyt na świder i po wykonaniu odwiertu wprowadzić do wiertła łyżkę, a następnie wyciągnąć rdzeń na zewnątrz i zabezpieczyć go w sztywnym pudełku. Wszystkie 3 elementy: wiertło, uchwyt i łyżka są elementami świdra Presslera. Pudełka na rdzenie należy numerować kolejno od pierwszej pobranej do ostatniej próby nr. 1,2,3...40.

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 3. Świder Presslera do poboru rdzeni z drzew.

Krok 5. Dokładnie w taki sam sposób jak na stoku osuwiskowym należy opróbować drzewa na stoku referencyjnym i w taki sam sposób zamarkować drzewa ręcznym GPS oraz pobrane zabezpieczyć rdzenie w sztywnych pudełkach.

Krok 6. Po przewiezieniu prób do laboratorium należy wkleić rdzenie do uprzednio przygotowanych drewnianych deseczek posiadających rowek, tak aby unieruchomić rdzenie. Przy wklejeniu powinno się wykorzystać klej rozpuszczalny w wodzie typu Wikol (Rycina 4).



Rycina 4. Przykład rdzenia wklejonego w drewnianą deseczkę

Krok 7. Kolejny etap to zeszlifowanie prób przy wykorzystaniu szlifierki oscylacyjnej i papierów ściernych o różnej granulacji – najpierw o granulacji 100, później 250, 500 i na końcu 1000. Przy użyciu każdego z papierów powinno się szlifować próbę w klejoną w podstawę 4 minuty. Za każdym razem, przy każdej nowej próbie należy zmieniać papier ścierny na nowy. Zeszlifowane próby są przygotowane do wykonania pomiarów dendrochronologicznych (Rycina 5).

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 5. Przykład wyszlifowanego rdzenia z widocznymi granicami przyrostów rocznych

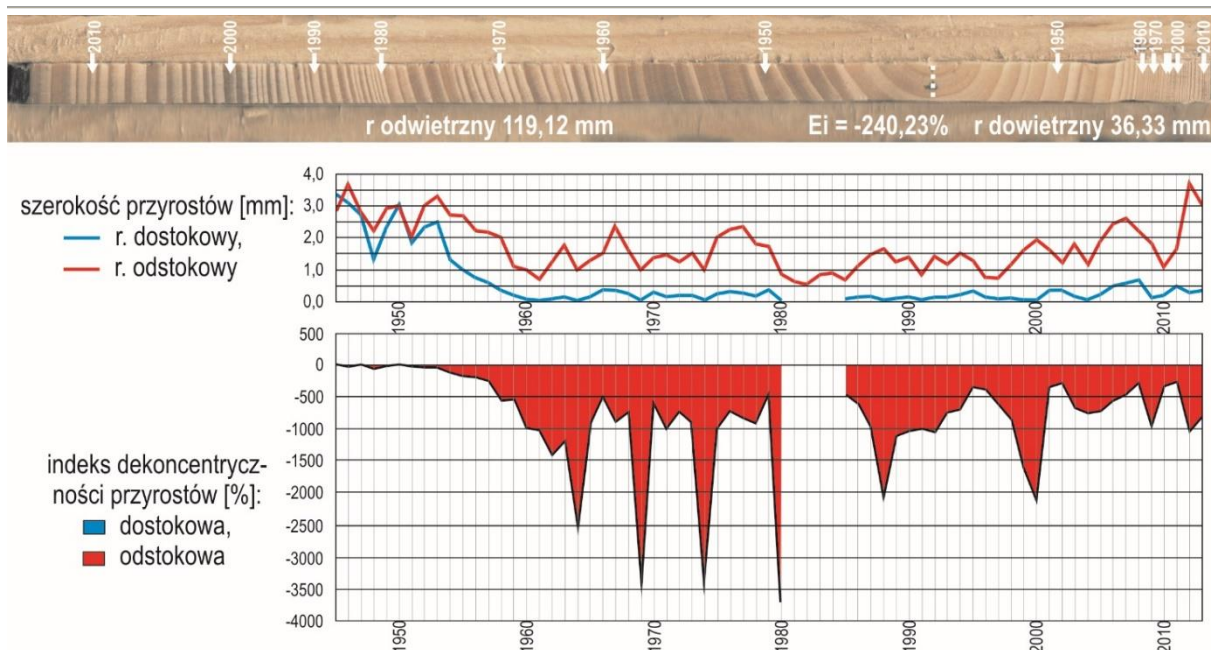
Krok 8. Po zeszlifowaniu prób należy dokonać pomiaru szerokości przyrostów rocznych za pomocą przyrostomierza (najlepiej przy zastosowaniu stacji pomiarowej LinTab z oprogramowaniem TSAPWin Professional 4.65, dokładność 0,01 mm), (Rycina 6). Przyrosty należy mierzyć od środka rdzenia na zewnątrz – w kierunku kory. W trakcie pomiarów mechanicznie przesuwa się rdzeń jednocześnie obserwując drewno przez binokular. Wyskalowany binokular pozwala wyznaczyć granicę przyrostów rocznych, poprzez „kliknięcie” na granicy kończącej przyrost (po przesunięciu). W ten sposób powstają pary wykresów zmienności przyrostów rocznych dla każdego drzewa (krzywa odstoskowa i dostokowa); (Rycina 7).



Rycina 6. Przyrostomierz LinTab do pomiaru szerokości przyrostów rocznych drzew

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



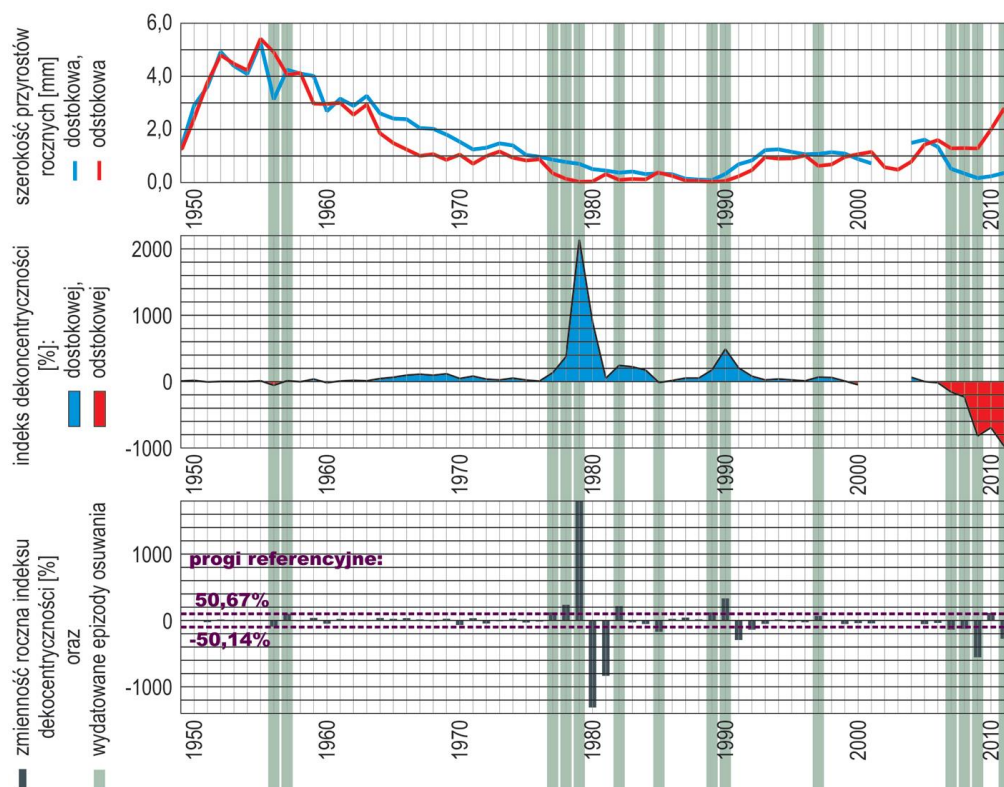
Rycina 7. Rysunek obrazujący krzywe przyrostów rocznych powstające po pomiarach z wykorzystaniem przyrostomierza (rycina górna) oraz policzony indeks dekoncentryczności (rycina dolna).

Krok 9.

Dane dla poszczególnych drzew (zarówno pobranych na stoku osuwiskowym jak i referencyjnym) są porównane i przekształcone w indeks dekoncentryczności i jego zmienność roczną przy użyciu następujących wzorów (Rycina 7,8):

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



Rycina 8. Przykładowe datowanie osuwania zarejestrowanego w pojedynczym pniu świerka pospolitego: szerokości przyrostów [mm] przekształcone w indeks dekoncentryczności [%], jego zmienność roczną [%] i datowanie wykonane w oparciu o progi referencyjne.

$$Ex = Ux - Dx;$$

gdy $Ex > 0$: dekoncentryczność dostokowa; [1] $Eix = (Ex / Dx) \times 100\% > 0$; [2a]

gdy $Ex = 0$: brak dekoncentryczności; $Eix = Ex [mm] = 0$; [2b]

gdy $Ex < 0$: dekoncentryczność odstokowa; $Eix = (Ex / Ux) \times 100\% < 0$; [2c]

$vEix = Eix - Eix-1$; [3]

gdzie: U – szerokość przyrostu rocznego po stronie dostokowej pnia [mm];

D – szerokość przyrostu rocznego po odstokowej stronie pnia [mm];

E – dekoncentryczność przyrostu rocznego [mm];

Ei – indeks dekoncentryczności przyrostu rocznego [%];

vEi – zmienność roczna indeksu [%];

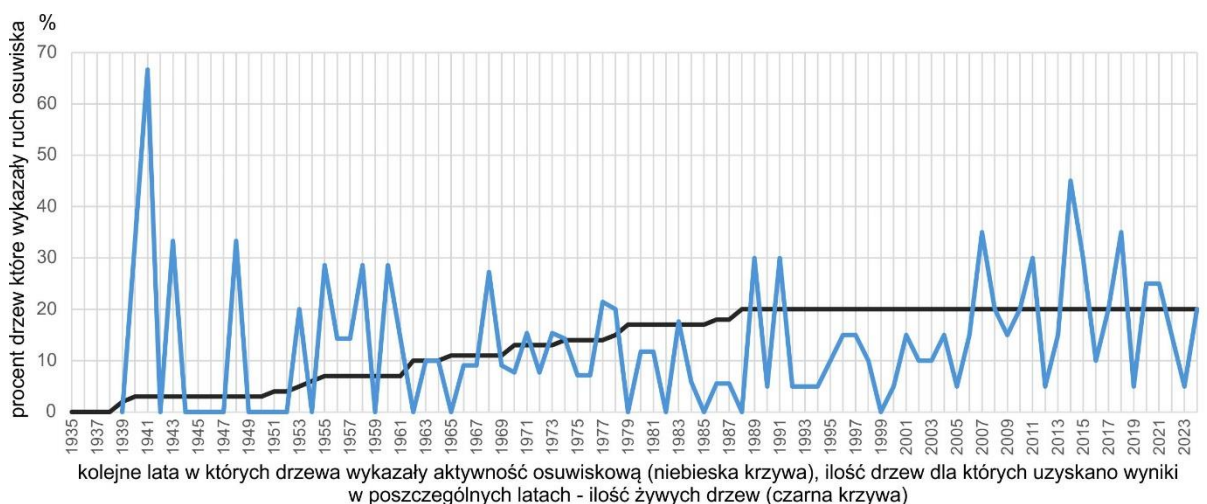
x – rok (przyrost roczny).

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

Krok 10. Datowanie epizodów osuwania stoku wykonuje się w oparciu o wskaźnik rocznej zmienności indeksu dekoncentryczności (obliczone w poprzednim kroku) oraz wartości progowe zmienności indeksu dekoncentryczności obliczone dla stanowiska referencyjnego. Wartości progowe uzyskuje się poprzez uśrednienie największych wartości wskaźnika rocznej zmienności indeksu dekoncentryczności dla drzew pobranych na stoku referencyjnym. Wszystkie wartości zmienności indeksu dekoncentryczności dla drzew pobranych na stoku osuwiskowym przekraczające wartości referencyjne świadczą o osuwaniu stoku w danym roku (Rycina 8).

Krok 11. Kolejnym krokiem jest opracowanie wykresu zbiorowego ukazującego % lub ilość drzew zapisujących osuwanie w poszczególnych latach. Na osi pionowej odznacza się wartość %, na osi pionowej lata, a następnie oblicza się wartość procentową reakcji drzew dla każdego roku z osobna. Efektem jest wykres aktywności osuwiskowej (Rycina 9).

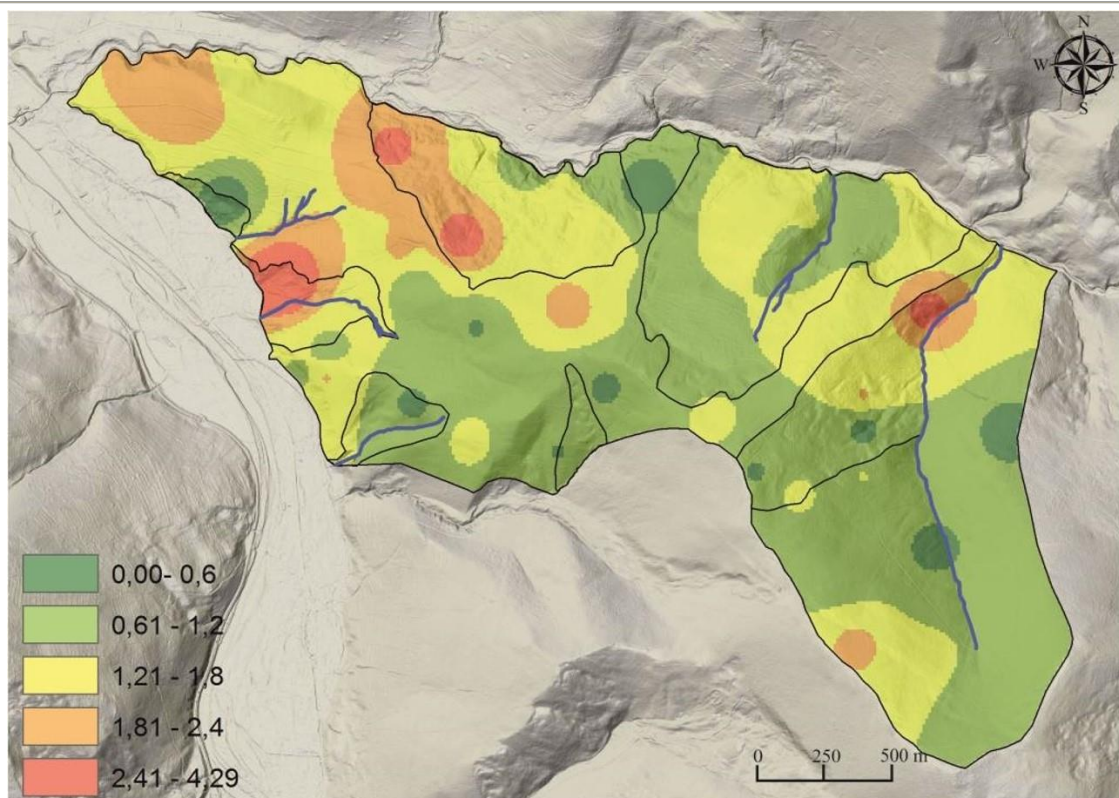


Rycina 9. Wykres obrazujący zmiany aktywności osuwiskowej na badanym stoku w kolejnych latach zidentyfikowane metodą dendrochronologiczną.

Krok 12. Ostatni etap prac to zobrazowanie aktywności osuwiskowej na mapie. Opracowuje się w dowolnym programie graficznym mapy aktywności osuwiskowej i wykorzystując interpolację uzyskanych wyników prezentuje się przestrzenną zmienność osuwania. Podstawą interpolacji jest ilość epizodów na rok w poszczególnych latach np. ilość epizodów osuwiskowych na 10 lat. W ten sposób powstaje mapa zagrożenia osuwiskowego (Rycina 10).

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 10. Mapa obrazująca przestrzenną aktywności osuwiskową i zagrożenie osuwiskowe w różnych strefach osuwiska

II. Opis ograniczeń i preferencji zastosowania opisywanych metody dendochronologicznej

- a. Główną zaletą metody dendochronologicznej jest, to, że można otrzymać informację o aktywności stoku w oparciu o dane z przerostów rocznych na przestrzeni kilkudziesięciu lub nawet kilkuset lat wstecz. Żadna inna tradycyjna metoda przeciwdziałania skutkom osuwisk nie zapewnia możliwości wnioskowania o osuwaniu w oparciu o rejestrację danych kilkudziesięcioletnich lub kilkusetletnich. Należy zauważyć, że długie ciągi danych środowiskowych pozwalają na bardziej precyzyjne rekonstrukcje przeszłego usuwania, a przede wszystkim pozwalają na jego właściwą predykcję. Wszystkie tradycyjne metody przeciwdziałania skutkom osuwisk wykorzystują ciągi danych, które pozyskiwane są dopiero po instalacji sprzętu na obszarze osuwiska. Znacznie spowalnia to proces otrzymania wyników dotyczących aktywności osuwiska, a także czyni go mniej precyzyjnym.

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

Zastosowanie metody dendrochronologicznej jest pod względem długości uzyskanych ciągów unikatowe.

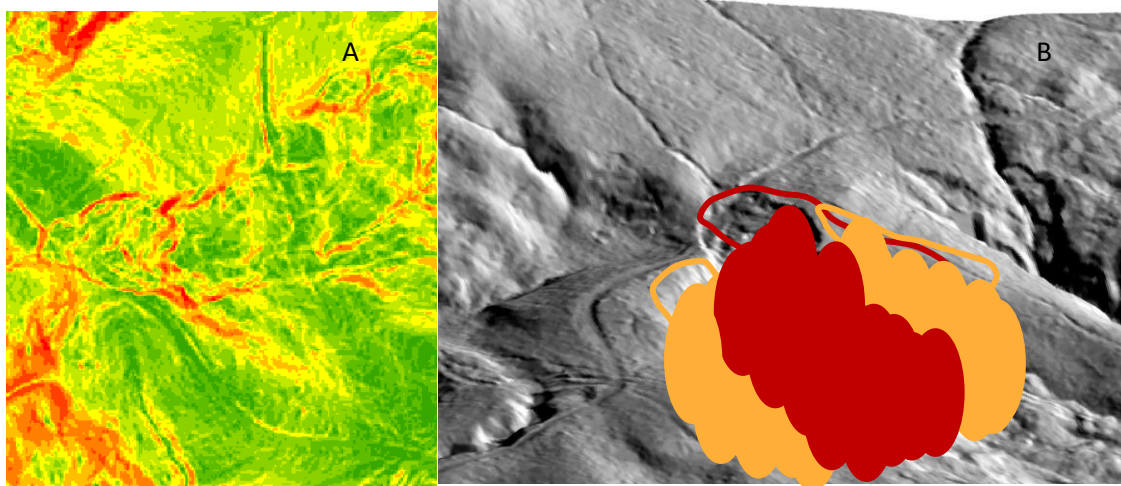
- b. Dodatkową zaletą metody dendrochronologicznej jest możliwość identyfikacji ryzyka katastrofalnego usuwania. Analizując wzrost drzew przed katastrofą osuwiskową opracowano wzorzec kształtowania przyrostów rocznych przez drzewa przed katastrofą osuwiskową. Gdy w drzewach rosnących na stoku pojawia się podobny wzorzec oznacza to, że stok narażony jest na szybkie usuwanie w przyszłości, co czyni go szczególnie niebezpiecznym dla zlokalizowanej w jego obrębie i poniżej niego infrastruktury. Kolejną zaletą metody dendrochronologicznej jest jej niska cena w porównaniu do metod tradycyjnych. Oznaczenie może być wykonane za kilka tysięcy złotych, podczas gdy zastosowanie na przykład inklinometrów, to koszt rzędu co najmniej kilkudziesięciu tysięcy złotych.
- c. Do wad metody dendrochronologicznej należy jej stosunkowo niska rozdzielczość. Wyniki o aktywności osuwisk otrzymuje się z roczną rozdzielczością uzyskiwaną wraz z wykształceniem przez drzewo kolejnych przyrostów rocznych.
- d. Oczywistą wadą metody jest także brak możliwości jej zastosowania na terenach wylesionych. Metoda ta należy do powierzchniowych metod monitorowania osuwisk, co czyni ją mniej dokładną w porównaniu do metod wgłębnych.

III. Przykład zastosowania metody dendrochronologicznej do identyfikacji zagrożenia osuwiskowego

Test został wykonany dla osuwiska zlokalizowanego w województwie podkarpackim, w gminie Strzyżów, w zachodniej części zlewni potoku Stobnica. Lasy porastające teren osuwiska są w zarządzie Nadleśnictwa Strzyżów. Obszar, na którym prowadzono badania, obejmuje kompleks osuwisk o złożonej budowie geomorfologicznej. W badaniach wykorzystano numeryczny model terenu o terenowej wielkości piksela równej 1 m, wyinterpolowany z chmury punktów pozyskanej podczas lotniczego skaningu laserowego w ramach programu ISOK. Identyfikację terenów osuwiskowych przeprowadzono w środowisku oprogramowania GIS umożliwiającym uzyskanie pochodnych zobrazowań kartograficznych na podstawie wysokorozdzielczych danych wysokościowych. W identyfikacji wykorzystano pochodne danych wysokościowych w formie map cieniowych i map spadków generowane zarówno w rzucie dwu-, jak i trójwymiarowym danego terenu (Rycina 11). Na ich podstawie rozpoznawano przebieg skarp osuwiskowych, przebieg granic osuwiska, koluwium i wewnętrzną strukturę geomorfologiczną osuwiska. Strefę przypuszczalnie aktywną wydzielono w oparciu o analizę rzeźby terenu, tzn. występowanie wyraźnych, świeżych skarp głównych i wtórnych oraz wyraźnych deformacji stoku. Strefa ta charakteryzuje się występowaniem typowych form osuwiskowych tj. skarp, zagłębień i progów osuwiskowych.

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 11. Wizualizacja numerycznego modelu terenu w postaci mapy spadków (A) w rzucie dwuwymiarowym. Kolorem zielonym zaznaczono tereny o spadku do 6°, żółtym spadek terenu od 6 – 18°, czerwonym spadek terenu powyżej 18°. Wizualizacja danych wysokościowych w formie mapy cieniowej (B) w rzucie perspektywicznym 3D.

Na testowanym osuwisku pobrano 20 prób z pni drzew rosnących w obrębie osuwiska i w bezpośrednim jego sąsiedztwie. Z każdego drzewa pobrano dwa rdzenie (od- i dostokowy) przy pomocy świdra Presslera (średnica 4 mm). Rdzenie pobierano na wysokości pierśnicy, w jednej osi zgodnej z nachyleniem stoku oraz z nachyleniem pni drzew. Zastosowana procedura poboru prób pozwoliła uzyskać dane o szerokości przyrostów rocznych po do- i odstokowych stronach pni drzew. To kolei pozwoliło na wyznaczenie lat, w których wystąpiły epizody osuwiskowe w oparciu o kalkulację indeksu dekoncentryczności wzrostu drzew (Wistuba, M., Malik, I. 2011. Indeks dekoncentryczności przyrostów rocznych drzew – narzędzie do identyfikacji współczesnych ruchów osuwiskowych). Wszystkie próby pobrano z jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.). Do poboru prób wybrano drzewa najczęściej pochylone zgodnie z nachyleniem stoku, nieposiadające zranień pni i, w miarę możliwości, nie noszące śladów ataku insektów w postaci defoliacji, czyli przerzedzenia aparatu asymilacyjnego. Drzewa, które opróbowano, miały jedną strzałę (Rycina 12).

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 12. Charakterystyczne deformacje pni drzew obserwowane podczas prowadzenia testu badawczego.

Po przetransportowaniu prób do laboratorium wykonano pomiary szerokości przyrostów rocznych (stacja pomiarowa LinTab z oprogramowaniem TSAPWin Professional 4.65, dokładność 0,01 mm) dla do- i odstokowych stron pni. Dane dla poszczególnych drzew zostały porównane i przekształcone w indeks dekoncentryczności przyrostów rocznych i jego zmienność roczną przy użyciu następujących wzorów:

$$Ex = Ux - Dx;$$

gdy $Ex > 0$: dekoncentryczność dostokowa; [1] $Eix = (Ex / Dx) \times 100\% > 0$; [2a]

gdy $Ex = 0$: brak dekoncentryczności; $Eix = Ex \text{ [mm]} = 0$; [2b]

gdy $Ex < 0$: dekoncentryczność odstokowa; $Eix = (Ex / Ux) \times 100\% < 0$; [2c]

$$vEix = Eix - Eix-1; [3]$$

gdzie: U – szerokość przyrostu rocznego po stronie dostokowej pnia [mm];

D – szerokość przyrostu rocznego po odstokowej stronie pnia [mm];

E – dekoncentryczność przyrostu rocznego [mm];

Ei – indeks dekoncentryczności przyrostu rocznego [%];

vEi – zmienność roczna indeksu [%];

x – rok (przyrost roczny).

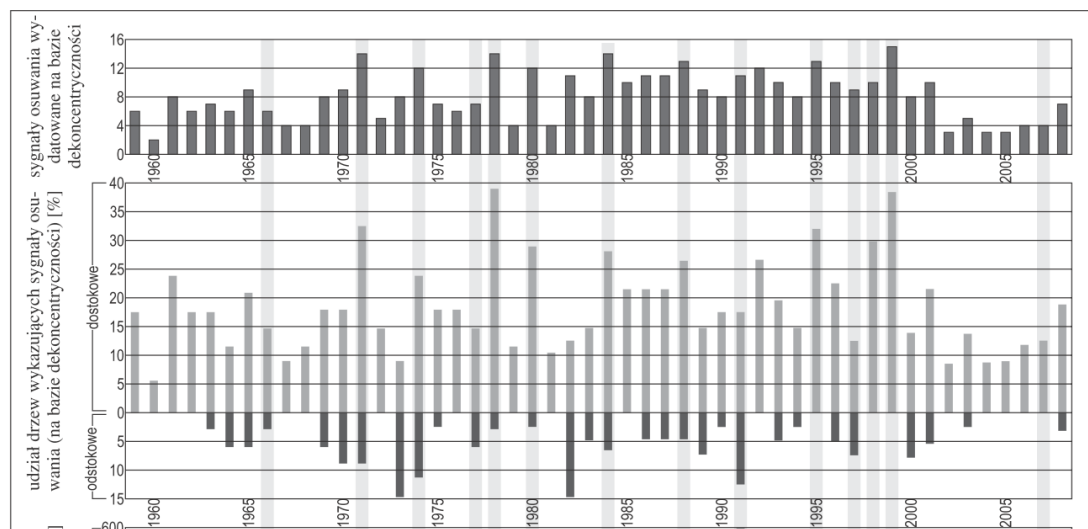
Datowanie epizodów osuwania stoku wykonano w oparciu o wskaźnik rocznej zmienności indeksu oraz wartości progowe zmienności obliczone dla stanowiska referencyjnego. Wykorzystano dane ze wcześniejszych stanowisk referencyjnych opierając się na obserwacjach własnych (brak rzeźby

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

osuwiskowej, brak deformacji pni drzew diagnostycznych dla ruchu podłoża). Na ich podstawie stok uznano za potencjalnie stabilny. Na stoku referencyjnym badaniom poddano 10 drzew. Próby pobrano i analizowano w sposób identyczny jak na stoku osuwiskowym. Progi referencyjne obliczono jako sumy średnich arytmetycznych i odchyłeń standardowych dla ogółu wyników z 10 drzew. W badanym przypadku wynoszą one: -50,14% (dla epizodów odstokowych) i 50,67% (dla epizodów dostokowych). Procedurę datowania osuwania w oparciu o wskaźniki dekoncentryczności wzrostu i progi referencyjne szczegółowo omówiono w publikacji: Wistuba, M., Malik, I. 2011. Indeks dekoncentryczności przyrostów rocznych drzew - narzędzie do identyfikacji współczesnych ruchów osuwiskowych

Udało się wydatować i uzgodnić wszystkie 20 pobranych rdzeni z 20 drzew. Ciągi przyrostów rocznych odstokowych i dostokowych (dla pojedynczych drzew) wykazywały dużą zgodność, posiadały one dobrze widoczne lata rozejścia się krzywych sugerujące okresową aktywność osuwiskową widoczną jeszcze przed wykonaniem obliczeń (Rycina 13).



Rycina 13. Procentowy udział drzew wykazujących dekoncentryczność przyrostu obrazujący aktywność testowanego osuwiska

Datowania epizodów osuwiskowych uzyskane dla badanego obszaru pozwalają obiektywnie wyznaczyć aktywność osuwiskową od roku, w którym rosła połowa opróbowanych drzew, tj. od roku 1960. Analiza z wykorzystaniem indeksu dekoncentryczności wzrostu drzew wykazała, że osuwisko było szczególnie aktywne w latach: 1971, 1974, 1978, 1980, 1984, 1995 i 1999, przy czym największą aktywność stoku zarejestrowano w latach 90. XX wieku (Rycina 13). Należy jednak zauważyć, że drzewa rejestrują aktywność osuwiskową czasami z opóźnieniem rocznym (gdy aktywność zachodzi w czasie okresu wegetacyjnego lub po nim, np. gdy aktywność osuwiskowa zachodzi w okresie letnim lub jesiennym, jest ona najczęściej rejestrowana przez drzewa w roku następnym). Od 2000 roku aktywność osuwiskowa testowanego stoku maleje, co oznacza, że badany stok nie stanowi obecnie zagrożenia dla budynków zlokalizowanych u jego podnóża.

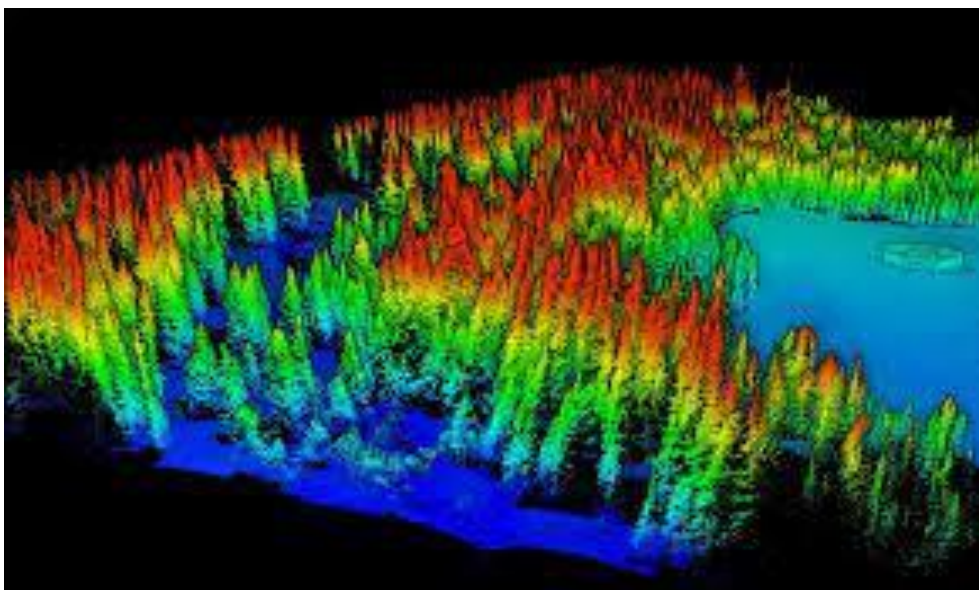
Polska – Słowacja

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

Opis techniczny analizy zagrożenia osuwiskowego z zastosowaniem metody skaningu laserowego

1. Instrukcja pozwalająca ocenić zagrożenie osuwiskowe z zastosowaniem skaningu laserowego (krok po kroku)

Krok 1. W pierwszym etapie należy przeanalizować dostępne chmury punktów/zbiory danych przestrzennych dostępne dla testowanego obszaru (Rycina 14). W tym celu należy sprawdzić zasoby dostępne w Geoportalu Infrastruktury Informacji Przestrzennej w serwisie www.geoportal.gov.pl. W zakładce dane do pobrania należy sprawdzić ile kompletów danych jest dostępnych dla danego obszaru i z jakich okresów czasu. Najczęściej w obszarach zabudowanych może ich być kilka, natomiast w obszarach górskich, gdzie głównie występują osuwiska, chmur punktów jest zwykle mniej. Rekomenduje się pobranie wszystkich dostępnych danych dla testowanego obszaru.



Rycina 14. Chmura punktów obejmująca zarówno punkty odbite od drzew jak i od powierzchni gruntu.

Krok 2. W kolejnym etapie należy zdecydować, czy analiza zagrożenia osuwiskowego będzie wykonywana w oparciu o istniejące dane pobrane z geoporalu, lub dokonane zostanie w oparciu o kolejne skanowanie rzeźby terenu ukazujące aktualne ukształtowanie powierzchni. Wynika to z faktu, że analiza zagrożenia osuwiskowego z wykorzystaniem skaningu laserowego może być wykonana w dwóch wariantach. Pierwszy polega na wykorzystaniu istniejącej chmury punktów pochodzących ze wcześniejszego nalotu LiDAR, druga możliwość to wykonanie nalotu z wykorzystaniem drona wyposażonego w skaner laserowy pozwalający na detekcję ukształtowania rzeźby terenu (Rycina 15). Warto także zauważyć, że pojedyncze skanowanie

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

laserowe powierchni pozwala jedynie na identyfikację granic i ukształtowania osuwiska, dopiero porównanie dwóch modeli terenu wykonanych dla tego samego osuwiska ale w innym czasie, pozwala na oszacowanie zagrożenia osuwiskowego.



Rycina 15. Idea działania skanera laserowego, na rycinie widoczny dron z kamerą LiDAR, wiązka promieni laserowych i skanowana powierzchnia gruntu.

Krok 3. Do analizy zagrożenia osuwiskowego rekomendowany jest skaning laserowy z powietrza ponieważ może on być prowadzony w górach, gdzie skaner naziemny raczej nie sprawdza się, ze względu na duże nachylenia terenu. W przypadku zdecydowania się na wykonanie nalotu i zeskanowania rzeźby terenu rekomendowane jest zaangażowanie firmy zewnętrznej mającej doświadczenie w używaniu technologii LiDAR, ewentualnie można wypożyczyć sprzęt do skanowania powierzchni gruntu. W przypadku zdecydowania się na samodzielne skanowanie rzeźby terenu można np. uzyskać chmurę punktów, za pomocą skanera full-waveform LMS-Q680i (Rycina 16). Proponowana gęstość próbkowania to 4 punkty na metr kwadratowy, a dokładność pomiaru wysokości wynosi wtedy 0,15 m. Trójwymiarowa chmura punktów danych ALS może zostać przetworzona na pliki np. w formacie binarnym LAS, zgodnym z najnowszą wersją 1.3 przyjętą przez American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS). Format ten jest obsługiwany przez wiele programów informatycznych i przechowuje wszelkie informacje przypisane do punktów z chmury ALS, a także dodatkowe dane

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

dotyczące transformacji kartograficznych oraz informacji o pełnym sygnale. Ponadto, format LAS umożliwia oznaczenie przynależności każdego punktu do odpowiedniej klasy, zgodnie z definicjami ASPRS.

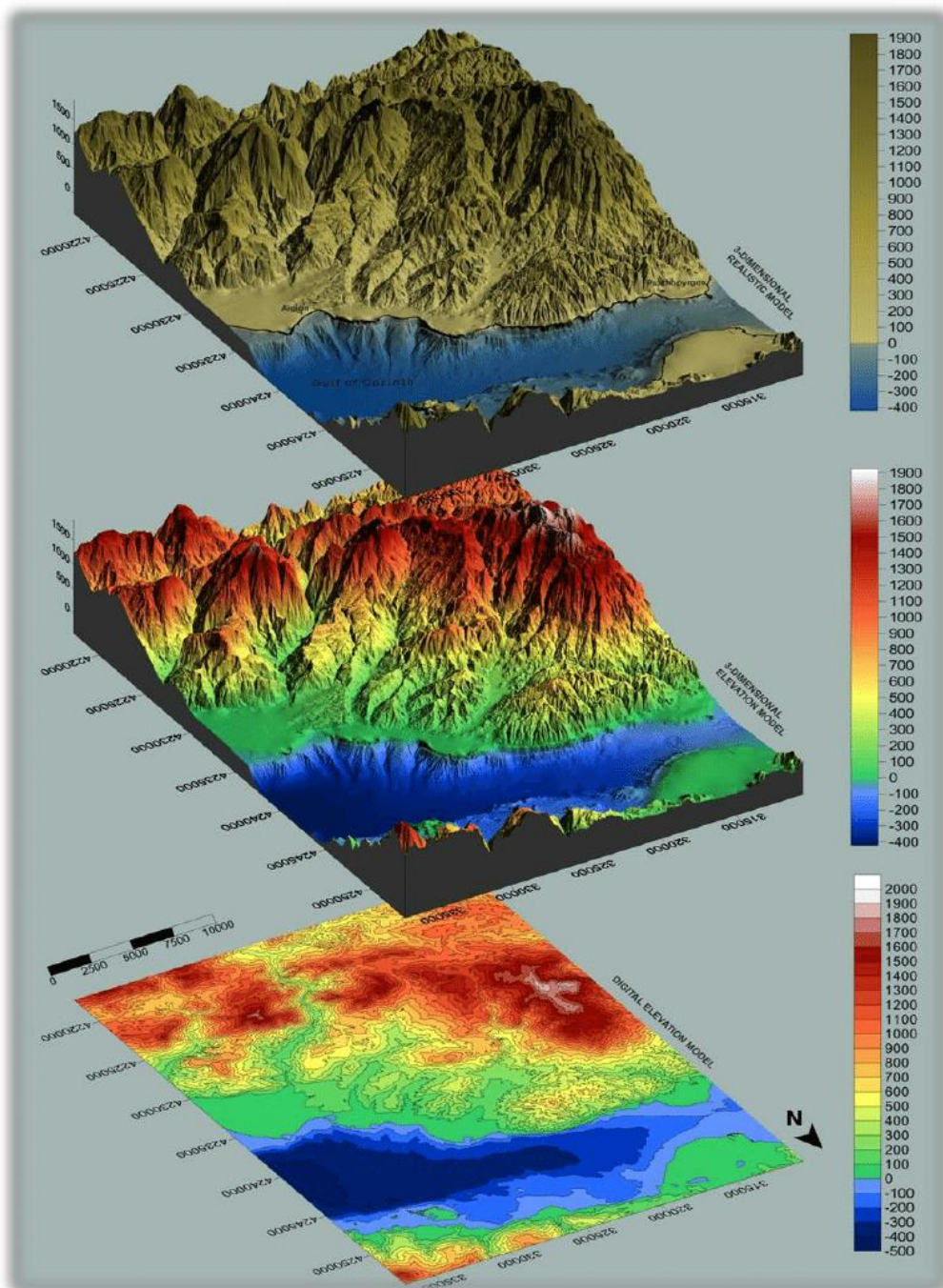


Rycina 16. Dron wyposażony w zestaw do skanowania powierzchni gruntu LiDAR.

Krok 4. Kolejny etap polega na odpowiedniej filtracji uzyskanych danych, tak aby uzyskać obraz rzeczywistej powierzchni terenu pozbawionej punktów, należących do budynków czy elementów pokrycia terenu roślinnością (Rycina 17). Rekomenduje się zastosowanie algorytmu analizy par punktów z kolejnych "chmur punktów" w celu obliczenia wektora przemieszczeń wybranych, charakterystycznych elementów, takich jak pień drzewa czy głąz, w obrębie dowolnej części osuwiska. Technika ta jest stosunkowo prosta w użyciu, jednak ma swoje istotne ograniczenia. Obszary pozbawione tzw. „elementów charakterystycznych” nie mogą być monitorowane, a ich nadmiar może prowadzić do trudności w identyfikacji właściwych elementów, które powinny być porównywane.

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



17. Różne rodzaje danych przekształcone w modele terenu oraz w mapę poziomową.

Krok 5. Zarówno w przypadku wykorzystania źródła wtórnego czyli chmury punktów wynikającej z wcześniejszego nalotu (skanowania) jak i z przeprowadzanego z własnej inicjatywy nalotu, z uzyskanej chmury punktów należy wygenerować numeryczny model rzeźby terenu. Dlatego kolejne kroki przebiegają

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

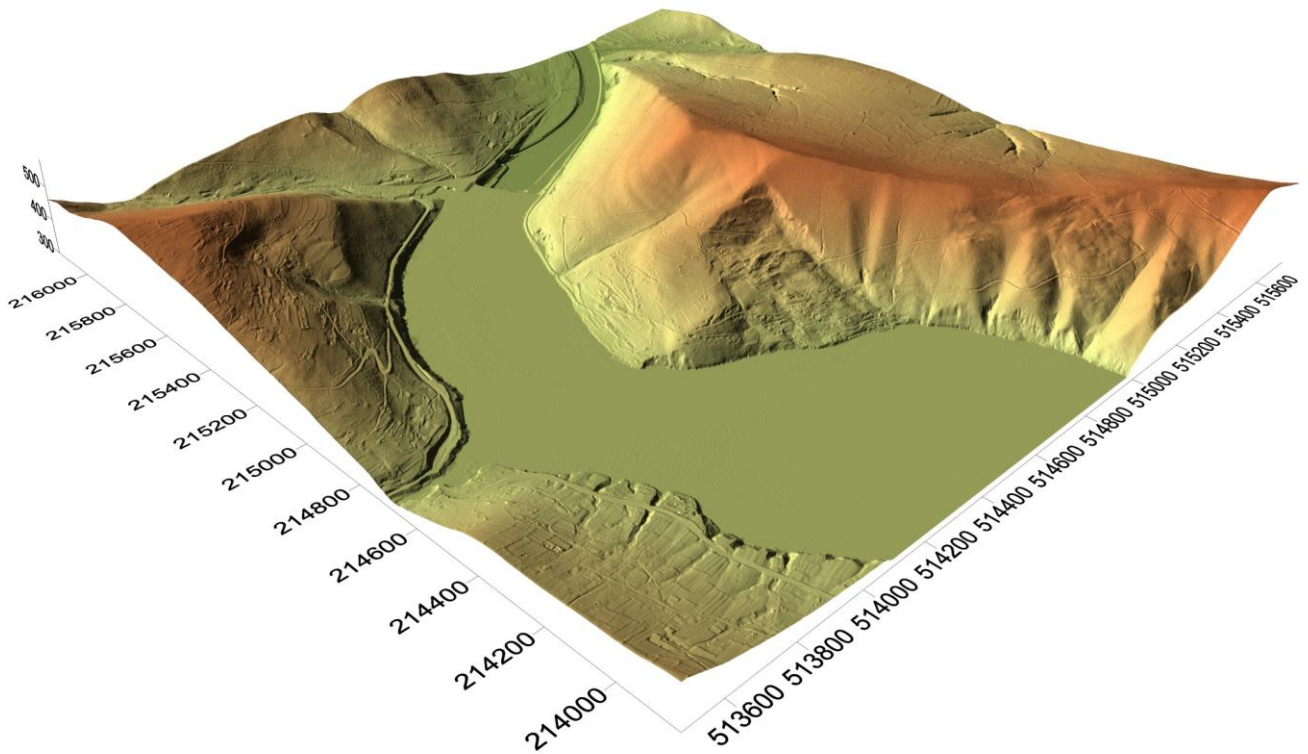
już niezależnie od tego w jaki sposób pozyskane zostaną dane (chmury punktów) niezbędne do budowy modelu terenu. Aby zauważyć zmiany rzeźby terenu należy wykorzystać chmury punktów z co najmniej dwóch nalołów. Dopiero porównanie dwóch modeli terenu pozwala na analizę zmian rzeźby terenu osuwiska w czasie, a co za tym idzie oszacowania zagrożenia osuwiskowego.

Krok 5. W kolejnym etapie w oparciu o pozyskane dane należy zbudować numeryczne modele terenu. Numeryczny model terenu to punktowa reprezentacja wysokości terenu, która wykorzystuje algorytm interpolacyjny do obliczenia wysokości w dowolnym punkcie obszaru, dla którego model został stworzony. Jest to zestaw punktów terenowych, określonych przez współrzędne X, Y, Z, razem z algorytmem interpolacyjnym, który umożliwia określenie kształtu powierzchni lub wysokości poszczególnych punktów terenu.

Krok 6. Do budowy modelu rzeźby terenu można wykorzystać różne formy zapisu Numerycznego Modelu Terenu (NMT), z których każdy oparty jest na różnych strukturach geometrycznych. Rekomendowane jest użycie module tzw. GRID w wersji hybrydowej. Jest to model oparty na strukturze regularnej siatki kwadratów o zadanym oczku (tj. długości boku kwadratu). Wysokości punktów tworzących regularną siatkę kwadratów wyznacza się za pomocą różnych metod interpolacji na podstawie pewnej liczby punktów o znanych współrzędnych X, Y, Z. W wersji hybrydowej model ten uzupełniają charakterystyczne elementy terenu np. skarpy, urwiska, wąwozy oraz powierzchnie wyłączone z modelu, np. zbiorniki wodne czy tereny pod budynkami. Wysokość terenu w dowolnym punkcie X, Y określa się za pomocą odpowiedniego oprogramowania przez interpolację najbliższych punktów wchodzących z zasób NMT. Rekomendowane jest użycie programów ArcGIS lub Quantum GIS. Opracowanie trójwymiarowego modelu rzeźby terenu osuwiska pozwala lepiej zobrazować rzeźbę terenu osuwiska. Nie jest to krok niezbędny przy wyznaczaniu zagrożenia osuwiskowego z wykorzystaniem skaningu laserowego, jednak przy prezentacji wyników pozwala lepiej zrozumieć odbiorcom uzyskane wyniki prac (Rycina 18,19).

Polska – Słowacja

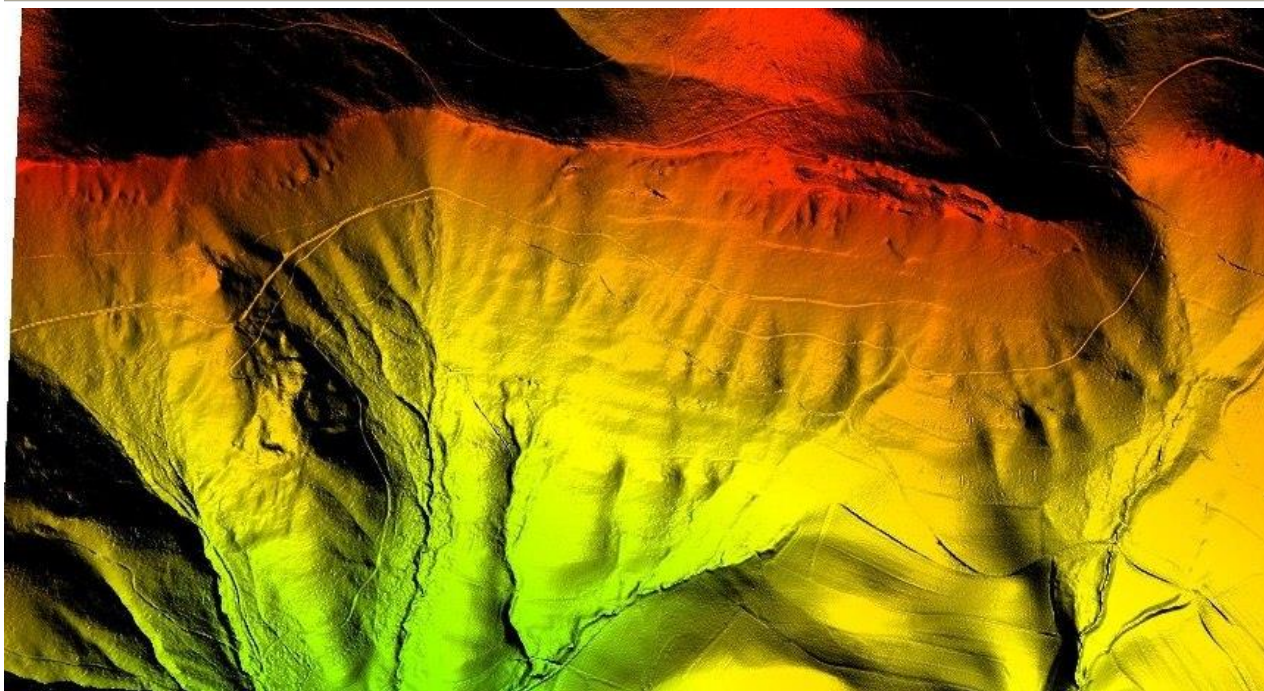
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



18. Trójwymiarowy model terenu osuwiska w Łaskach położonego nad jeziorem Międzybrodzkim.

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



19. Trójwymiarowy model terenu z widocznym inicjalnym osuwiskiem na szczycie góry (Góry Kamienne – Sudety).

Krok 7. Tworzenie numerycznego modelu terenu w programie ArcGIS można zrealizować na różne sposoby, w zależności od typu danych, którymi dysponujemy, takich jak chmura punktów LiDAR, dane wysokościowe czy też kontury. Poniżej przedstawiono krok po kroku najpopularniejszą metodę tworzenia NMT na podstawie danych LiDAR lub konturów.

Z danych LiDAR (np. pliki LAS/LAZ):

a) Dodanie danych LiDAR

- Należy się upewnić czy posiadamy pliki .las lub .laz.
- W ArcGIS Pro:
 - Otworzyć nowy projekt.
 - W zakładce Catalog → kliknij prawym na folder → Add LAS Dataset.

b) Utwórz klasę LAS Dataset

- Kliknąć prawym na plik LAS Dataset → LAS Dataset to Raster.
- Wybrać metrykę (np. Z minimum, Z average lub Z maximum).
- Wybrać tylko punkty typu ground (typ klasyfikacji = 2).
- Określić rozdzielczość piksela (np. 1m, 5m).
- Wygenerować rastr jako NMT.

c) (opcjonalnie) Wygładzić modelu

- Można użyć narzędzi takich jak Focal Statistics do wygładzenia NMT.

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

Krok 8. W ostatnim etapie należy utworzyć różnicowy model terenu. Tworzenie modelu różnicowego w programie ArcGIS polega na analizie różnicy między dwoma rastrami przedstawiającymi ten sam obszar osuwiska w różnych momentach czasu lub według różnych kryteriów. Celem jest wykrycie zmian rzeźby terenu w obrębie testowanego osuwiska i oszacowanie zagrożenia osuwiskowego. W celu utworzenia modelu różnicowego należy kolejno:

a) Przygotowanie danych rastrowych:

- Wybranie dwóch rastrów tego samego obszaru z różnych okresów (np. DEM_2020 i DEM_2024).
- Ważne: rastry muszą być w tej samej rozdzielczości, formacie i układzie odniesienia (CRS).

b) Użycie narzędzia „Raster Calculator” (Kalkulator rastrów):

- Wyszukanie w Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator.
- Wpisanie wyrażenie różnicy:

arduino

KopiujeDytuj

```
"DEM_2024" - "DEM_2020"
```

- Wynikiem będzie raster różnicowy, gdzie:
 - Wartości dodatnie oznaczają wzrost (np. podniesienie terenu),
 - Wartości ujemne oznaczają spadek (np. erozję).

c) Analiza wyników:

- Użycie symbolizacji, aby pokazać różnice kolorami.
- obliczanie statystyki zmian, obszary największych różnic itp.

d) Eksport i raportowanie:

- Gotowy model różnicowy można zapisać jako nowy plik rastrowy, PDF z mapą.

Krok 9. Wyznaczenie zagrożenia osuwiskowego w oparciu o różnicowy model terenu polega na ocenie zmian rzeźby w czasie, który upłynął pomiędzy uzyskanymi modelami rzeźby terenu (np. dla roku 2019 i 2025). Gdy różnice w rzeźbie pomiędzy modelami terenu są duże, wtedy uznaje się zagrożenie osuwiskowe jest znaczne. Gdy różnice te są niewielkie, zakłada się że stok osuwiskowy jest bezpieczny – stabilny. Oczywiście im dłuższy okres czasu pomiędzy porównywanymi modelami terenu tym oznaczenie aktywności osuwiskowej jest bardziej skuteczne.

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 ograniczeń i preferencji zastosowania opisywanych skaningu laserowego

- a) Skaningu laserowego jest metodą przydatną, gdy chcemy otrzymać dokładną mapę rzeźby terenu w obrębie osuwiska. Taki model terenu może być wykorzystywany w różny sposób w późniejszych badaniach. Jednak do oceny aktywności osuwania i zagrożenia osuwiskowego, metoda skaningu laserowego nie jest najlepszym rozwiązaniem. Od pierwszego pomiaru trzeba, bowiem odczekać jakiś czas i wykonać pomiar kolejny, aby otrzymać informację, co do zmian w rzeźbie terenu osuwiska, czyli jego aktywności. Takie podejście nie pozwala na realną i przede wszystkim szybką ocenę zagrożenia osuwiskowego.
- b) Do najważniejszych zalet skaningu laserowego należy niezwykle wysoka precyzja metody przy użyciu zaawansowanego GPS, osiąga dokładność rzędu 2 cm, oraz szybkość w zbieraniu ogromnych ilości danych przestrzennych, sięgających nawet kilkuset milionów punktów.
- c) Dodatkową zaletą jest duża szybkość uzyskania wyników od momentu przeprowadzenia pomiarów terenowych. Kolejną zaletę stanowi możliwość powtórzeń skanowania w dowolnym momencie, metoda nie jest zależna od źródeł zewnętrznych, jak na przykład interferometria radarowa, która jest stosowana w oparciu o zdjęcia radarowe. Mimo licznych atutów, metoda ta ma również wady.
- d) Obszary pozbawione charakterystycznych elementów, takich jak pnie drzew czy głazy, a także te z ich nadmiarem, są nieodpowiednie do monitorowania aktywności osuwisk za pomocą tej techniki. Jednak największą wadą metody jest konieczność czekania na uzyskanie wyników od pierwszego zastosowania metody. Dopiero kolejne skanowane obrazy powierzchni osuwiska mogą ujawnić przemieszczenia. Oznacza to, że oszacowanie dynamiki osuwiska zachodzi dopiero do stosunkowo długim czasie.
- e) Obraz aktywności osuwiska uzyskany metodą skaningu laserowego dla jednego roku może być nieobiektywny, Może trafić się rok, w którym osuwisko jest nieaktywne, z powodu np. mniejszych opadów, podczas gdy osuwisko to w ciągu dziesięcioleci wykaz uje aktywność.

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. Przykład zastosowania skaningu laserowego do identyfikacji zagrożenia osuwiskowego (Opracowano na podstawie publikacji: Graniczny M., Kamiński M., Anna Piątkowska A., Maria Surafa M., 2012. Wykorzystanie lotniczego skaningu laserowego do inwentaryzacji i monitoringu osuwiska w rejonie Łańnicy (gmina Lanckorona), Pogórze Wielickie, Karpaty zewnętrzne. Przegląd Geologiczny, 60, 89-94).

Testowany obszar przynależy do Pogórza Wielickiego, które jest częścią Zewnętrznych Karpat Zachodnich, a znajduje się w pobliżu miejscowości Lanckorona. Stoki Pogórza Wielickiego zajmują materiały czwartorzędowe. Na terenie Łańnicy gdzie występuje osuwisko występują one w formie grubych glin oraz materiałów przypominających less (utwory stokowe).

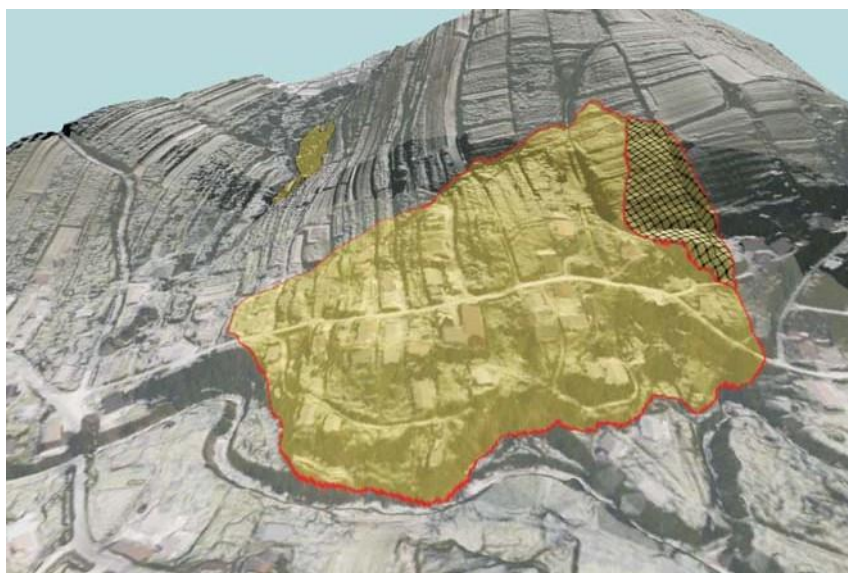
Technika skanowania laserowego z powietrza, zastosowana na obszarze osuwiska w okolicy Łańnicy, polegała na stworzeniu Numerycznego Modelu Terenu (NMT) oraz Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (NMPT) na podstawie chmury punktów. Opracowano też ortofotomapę, wykorzystując cyfrową kamerę digi CAM. Rozdzielczość wykonanych zdjęć określają rozmiary pikseli terenowych, które wynoszą 15 centymetrów, przy pokryciu terenu w kierunku podłużnym na poziomie około 60%, a w kierunku poprzecznym około 30%. Obraz uzyskany z lotu był zapisany w formacie Geo Tiff, w układzie współrzędnych PUWG 1992. Cyfrowe zdjęcie ma pełną kolorystykę (RGB).

Skanowanie laserowe z powietrza, które doprowadziło do uzyskania chmury punktów, zostało wykonane za pomocą skanera punkowego full-waveform LMS-Q680i. Opcjonalna gęstość próbkowania wynosiła 4 punkty na metr kwadratowy, a dokładność pomiaru wysokości wyniosła 0,15 metra. Trójwymiarowy format chmury punktów uzyskany z ALS został przetworzony do formatu binarnego LAS, coraz szerzej uznawanego na świecie (zaproponowanego przez ASPRS - Amerykańskie Towarzystwo Fotogrametrii i Zdalnego Sondowania, w najnowszej wersji 1.3). Format ten współpracuje z wieloma programami i przechowuje wszystkie dane przypisane do punktów z chmury ALS, a także parametry dotyczące transformacji kartograficznych i informacje związane z danymi typu full waveform. Format LAS umożliwia także zapis informacji o przynależności punktu do odpowiedniej klasy, która została zdefiniowana przez ASPRS. W procesie tworzenia NMT, dla NMPT ustalono wartość pikseli na 0,5m w formacie IMG, z precyzją parametru wysokościowego $Z_{mh} \leq 0,30$ m, w systemie współrzędnych PUWG 1992.

Na potrzeby dalszych analiz porównawczych podjęto decyzję o skorzystaniu z zakresu osuwiska opracowanego przez T. Ziętarę w 1969 roku. Archiwalny rysunek osuwiska został zeskanowany i przekształcony w geodezyjny układ PUWG 1992. Po wektoryzacji teren osuwiska w programie ArcGis 9.3, przeprowadzono porównanie uzyskanych danych z modelem LIDAR. Wyniki skanowania przedstawiono na rycinie 20.

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 20. Zasięg aktywności osuwiska przedstawiony z wykorzystaniem dokładnej rekonstrukcji rzeźby terenu w rejonie Łańcicy z użyciem metody laserowej.

Źródło: Graniczny M., Kamiński M., Anna Piątkowska A., Maria Surała M., 2012. Wykorzystanie lotniczego skaningu laserowego do inwentaryzacji i monitoringu osuwiska w rejonie Łańcicy (gmina Lanckorona), Pogórze Wielickie, Karpaty zewnętrzne. Przegląd Geologiczny, 60, 89-94.

Kolejnym krokiem był proces przetwarzania danych wysokościowych uzyskanych z lotniczego skaningu laserowego. Dane te zostały wprowadzone do programu ArcGis 9.3 i przetworzone przy użyciu modułu Spatial Analyst. Powstały mapa nachyleń terenu, izolinie oraz mapy cieniowane, prezentujące oświetlenie z różnych kierunków. Efektem tych działań była interpretacja granicy zasięgu analizowanego osuwiska w Łańcicy. Następnie na wcześniej przygotowaną ortofotomapę, której czytelność poprawiono dzięki cieniowaniu z cyfrowego modelu terenu LIDAR, nałożono oba obszary osuwiska. Analiza przestrzenna oraz dane archiwalne wskazują, że w ciągu ostatnich 50 lat osuwisko zwiększyło swoją powierzchnię i znacząco zmieniło kształt oraz zasięg osuwiskowego płatu. Zakres działania oparty na precyzyjnej rekonstrukcji ukształtowania terenu w obszarze Łańcicy przy zastosowaniu technologii laserowej, umożliwia dokładniejszą ocenę zasięgu form morfologicznych powiązanych z osuwiskami, nawet w trudno dostępnych lokalizacjach. Analiza testowanego osuwiska pozwoliła na stwierdzenie dość znacznych przemieszczeń gruntu i zmiany zasięgu w obrębie osuwiska. Oznacza to, że jest ono aktywne i jest ono zagrożeniem dla infrastruktury która mogłaby się znaleźć w jego zasięgu.