

Raport z testu badawczego dotyczącego analizy aktywności osuwiska położonego w gminie Maków Podhalański (powiat suski) metodą dendrochronologiczną z wykorzystaniem obrazów LiDAR

*1. Plan badawczy zawierający przebieg badań z podziałem na prace terenowe i laboratoryjne, wraz ze wskazaniem kolejnych kroków przebiegu prac badawczych*

a) Prace terenowe:

- wytyczenie zasięgu osuwiska poprzez odnalezienie skarpy osuwiskowej, skarp bocznych i części marginalnych jęzora osuwiskowego,
- wytypowanie odpowiednich drzew do poboru prób dendrochronologicznych (brak defoliacji, zranień, selekcja gatunkowa, posiadanie jednej strzały, sprawdzono średnicę na wysokości około 1,3 m - pomiar drzew rosnących na stoku osuwiskowym miało średnicę powyżej 20 cm za pomocą klupy),
- 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.
- pobór prób z drzew polegający na zastosowaniu świdra Presslera,
- spakowanie rdzeni do specjalnie przygotowanych pudełek i oznaczenie pudełek,
- opis cech morfologicznych drzewa,
- naniesienie pozycji GPS dla każdego drzewa.

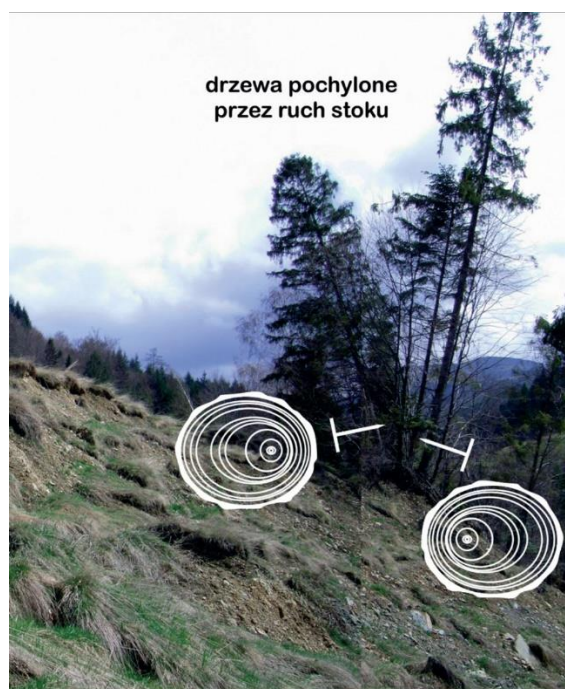
b) Prace kameralne:

- wklejenie rdzeni do specjalnie przygotowanych desek drewnianych,
- szlifowanie rdzeni przy użyciu kolejno kilku typów papierów ściernych najpierw o granulacji 100, później 250, 500 i na końcu 1000,
- pomiar przyrostów rocznych przy użyciu aparatury badawczej LinTab z oprogramowaniem TSAPWin Professional 4.65, dokładność 0,01 mm,
- analiza z wykorzystaniem skeleton plot i eliminacja przyrostów brakujących i fałszywych,
- 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,
- wytypowanie lat z aktywnością osuwiskową poprzez opracowanie wykresu zbiorowego ukazującego % lub ilość drzew zapisujących osuwanie w poszczególnych latach
- sporządzenie wykresów aktywności osuwiskowej,
- opracowanie mapy aktywności osuwiskowej.

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

**Metoda badawcza**

Ekspertyza została wykonana dla osuwiska położonego powyżej ośrodka DPS przy ulicy Żeromskiego 17, w Makowie Podhalańskim przy wykorzystaniu metody dendrochronologicznej. 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 pochyleniem pni drzew. Zastosowana procedura poboru prób pozwoliła na uzyskanie danych o szerokości przyrostów rocznych po do- i odstokowych stronach pni drzew (rycina 1). To kolei pozwoliło na wyznaczeni 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 ze świerków pospolitych (*Picea abies* Karst.). Do poboru prób wybrano drzewa najczęściej pochylone zgodnie z nachyleniem stoku, nie posiadające zranień pni i w miarę możliwości nie noszące śladów ataku insektów w postaci defoliacji, czyli przerzedzenia aparatu asymilacyjnego. Drzewa które opróbowano posiadały jedną strzałę.



Rycina 1. Drzewa pochylone przez ruch stoku. W pniach pochylonych dostokowo wykształcana jest dekoncentryczność dostokowa, a w pniach pochylanych odstokowo – dekoncentryczność odstokowa

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 (rycina 2):

$$Ex = Ux - Dx;$$

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];

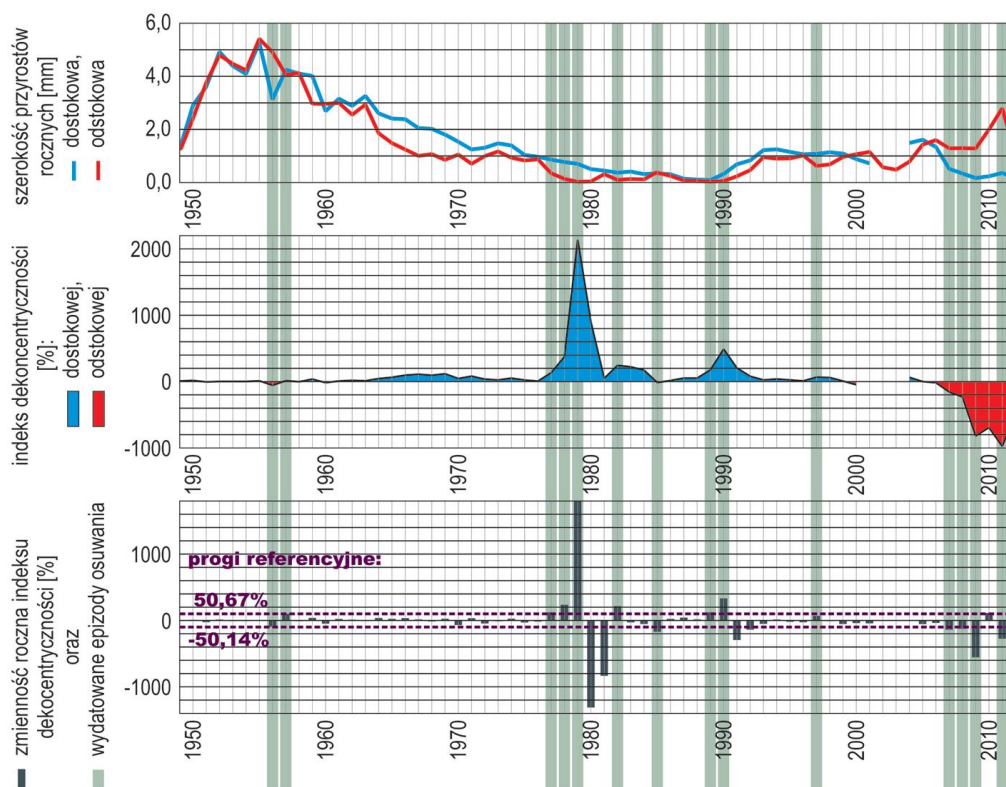
D – szerokość przyrostu rocznego po odstokowej stronie pnia [mm];

E – dekoncentryczność przyrostu rocznego [mm];

Ei – indeks dekoncentryczności przyrostu rocznego [%];

vEi – zmienność roczna indeksu [%];

x – rok (przyrost roczny).



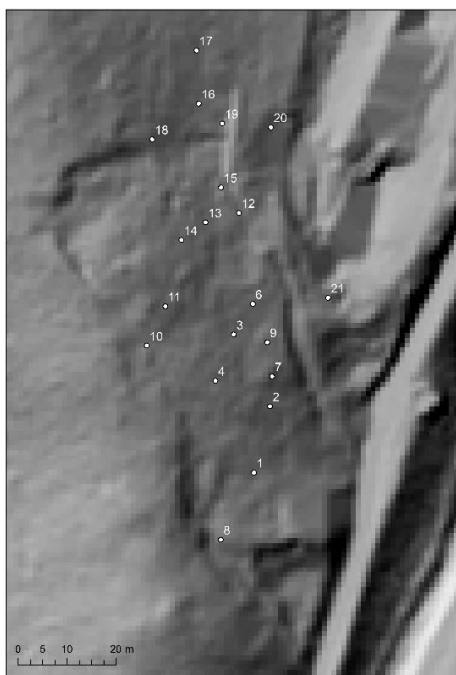
Rycina 2. Przykładowe datowanie osuwania zarejestrowanego w pojedynczym pniu świerka pospolitego z badanego stoku: szerokości przyrostów [mm] przekształcone w indeks dekoncentryczności [%], jego zmienność roczną [%] i datowanie wykonane w oparciu o progi referencyjne.

### *3. Wyniki badań w postaci obliczeniowej oraz niezbędną dokumentację w postaci tabel, wykresów i rysunków*

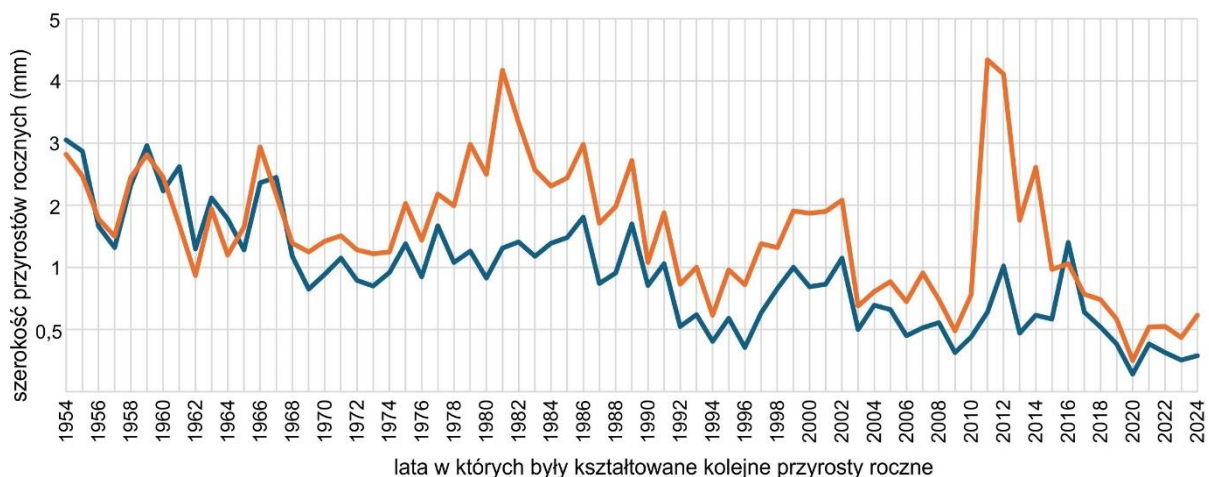
Datowanie epizodów osuwania stoku wykonano w oparciu o wskaźnik rocznej zmienności indeksu oraz wartości progowe zmienności obliczone dla stanowiska referencyjnego. Wykorzystano dane ze wcześniejszych stanowisk referencyjnych opierając się na obserwacjach własnych (brak rzeźby osuwiskowej, brak deformacji 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 (ryc. 3) szczegółowo omówiono w publikacji: Wistuba, M., Malik, I. 2011. Indeks dekoncentryczności przyrostów rocznych drzew-narzędzie do identyfikacji współczesnych ruchów osuwiskowych

#### **Przebieg oznaczenia**

Udało się wydatować i uzgodnić wszystkie z pobranych 20 rdzeni z 20 drzew. Położenie opróbowanych drzew względem form rzeźby terenu przedstawia rycina 3. Na rycinie widać, że pobrano próby z 15 drzew położonych na osuwisku i z 5 drzew położonych poza nim (drzewa oznaczone numerami 15-21). Taka strategia poboru próby była celowa, ponieważ często zdarza się, że strefy położone na granicy osuwiska są niestabilne. Próby z poza osuwiska pobrano bezpośrednio nad budynkami DPS. Ciągi przyrostów rocznych odstokowych i dostokowych (dla pojedynczych drzew) wykazywały dużą zgodność, posiadały one dobrze widoczne lata rozejścia się krzywych sugerujących okresową aktywność osuwiskową widoczną jeszcze przed wykonaniem obliczeń (rycina 4).



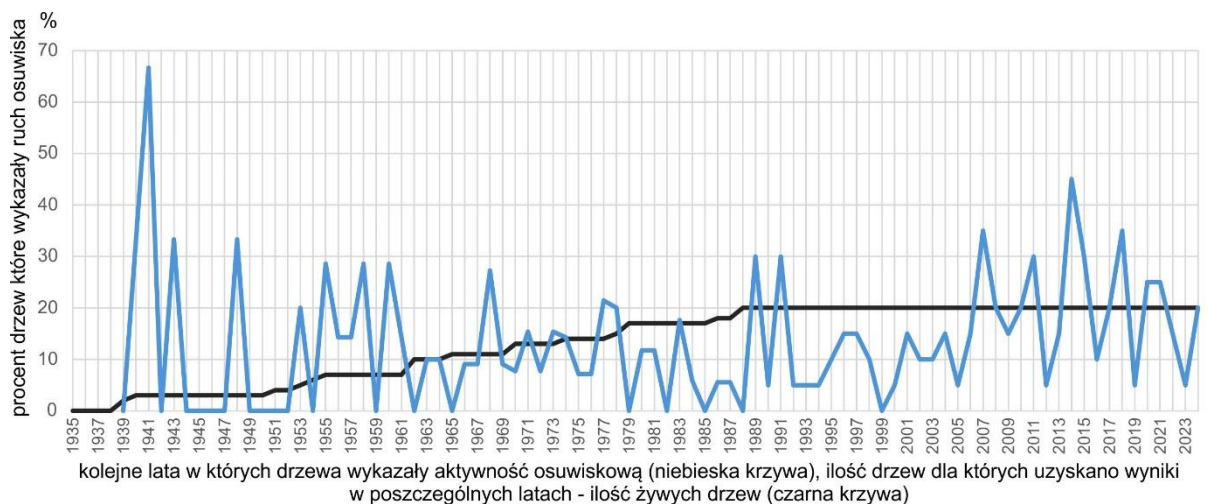
Rycina 3. Położenie opróbowanych drzew względem form rzeźby terenu osuwiska (modelu terenu utworzonego na podstawie danych LiDAR)



Rycina 4. Wykres przyrostów rocznych dla jednego z opróbowanych drzew. Sekwencja przyrostów rocznych ze strony odstokowej (niebieski kolor), sekwencja przyrostów rocznych ze strony dostkowej (czerwony kolor). Widoczne trzy duże okresy rozejścia się krzywych odstokowej i dostkowej.

Datowania epizodów osuwiskowych uzyskane dla badanego obszaru pozwalają wyznaczyć obiektywnie aktywność osuwiskową od roku kiedy rosta połowa opróbowanych drzew, czyli od roku 1965. Wszystkie drzewa żyły od 1989 roku i od tego momentu zapis aktywności na stoku jest najpełniejszy (rycina 5). Analiza z wykorzystaniem indeksu dekoncentryczności wzrostu drzew wykazała, że osuwisko było szczególnie aktywne w latach w latach: 1968, 1989, 1991, 2007, 2011, 2014 i 2018, przy czym największą aktywność stoku zarejestrowano w 2015 roku, kiedy to osuwanie zarejestrowało aż 45% drzew (rycina 5).

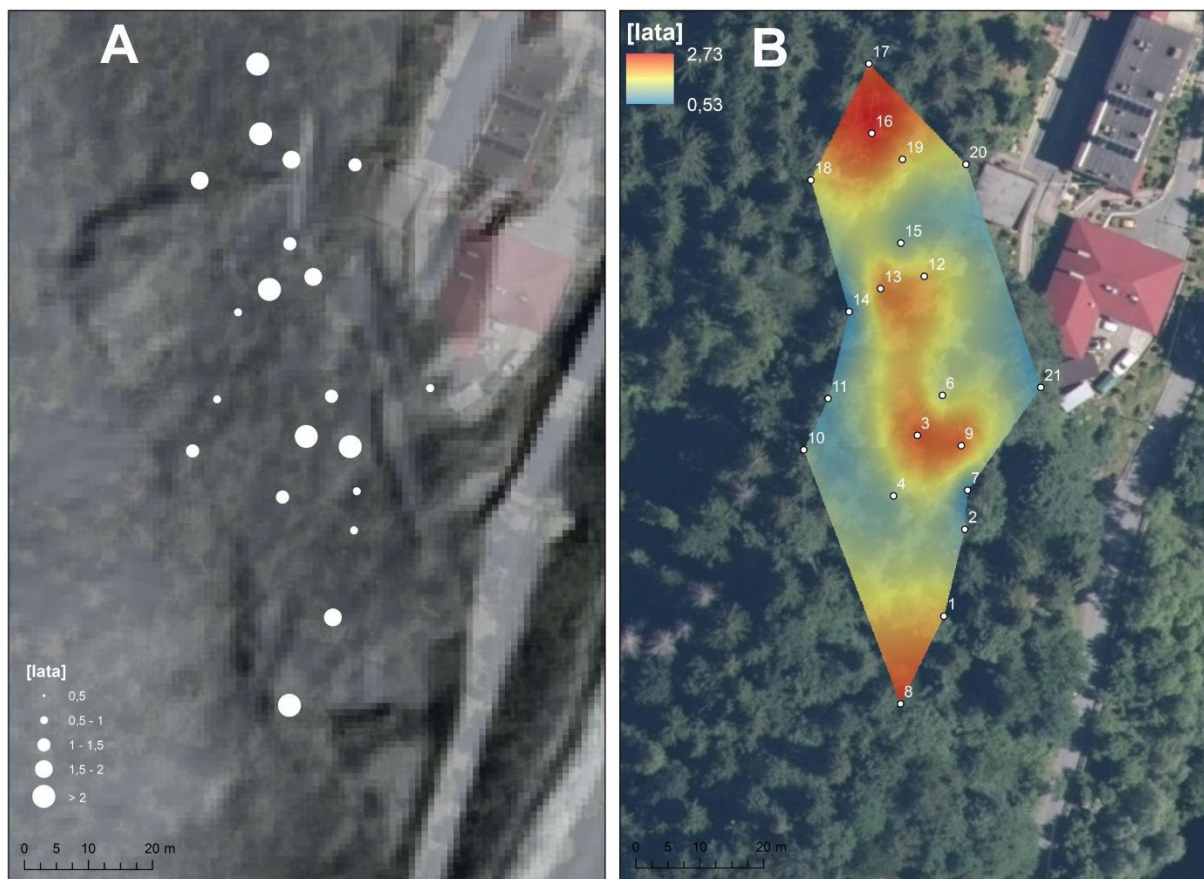
Trzeba jednak zauważyć, że drzewa rejestrują aktywność osuwiskową czasami z opóźnieniem rocznym (gdy aktywność zachodzi w czasie okresu wegetacyjnego lub po nim, np. gdy aktywność osuwiskowa zachodzi w okresie letnim lub jesiennym, jest ona najczęściej rejestrowana przez drzewa w roku następnym). Oznacza to, że osuwanie mogło wystąpić w latach 1967, 1988, 1990, 2006, 2010, 2013 i 2017. Od 1965 roku zidentyfikowano trend wzrostowy zdarzeń osuwiskowych, co widoczne jest na rycinie 5. Oznacza to że aktywność osuwiskowa rośnie w obrębie badanego stoku.



Rycina 5. Wykres obrazujący zmiany aktywności osuwiskowej na badanym stoku w kolejnych latach zidentyfikowane metodą dendrochronologiczną.

#### 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)

Stwierdzono zróżnicowanie przestrzenne aktywności osuwiska, najbardziej aktywna wydaje się strefa położona poza osuwiskiem, gdzie występują średnio ponad dwa epizody ruchu gruntu na 10 lat, aktywna jest także środkowa część osuwiska (rycina 6).



Rycina 6. Ilość epizodów osuwiskowych zidentyfikowanych na badanym stoku na 10 lat. (A – ilość epizodów osuwiskowych na 10 lat, B – interpolacja ilości epizodów osuwiskowych zidentyfikowanych na 10 lat.

Zidentyfikowano rosnącą aktywność osuwiska od 1965 roku. Badania pozwoliły wyróżnić trzy okresy wzmożonej aktywności osuwiska, pierwszy z nich miał miejsce w latach 1967- 1978, drugi wystąpił w okresie 1988-1991, trzeci od 2006 roku do roku 2024. Aktywność badanego osuwiska była szczególnie silna w ostatnim z trzech badanych okresów. Największe przemieszczenia gruntu wystąpiły w 2014 roku. Oprócz samego osuwiska, aktywna jest także strefa położona bezpośrednio poza jego granicami, na północ od niego, nad budynkami DPS. Uzyskane wyniki wskazują na niebezpieczeństwo przyspieszenia ruchu osuwiska i powiększenia jego rozmiarów podczas intensywnych, długotrwałych opadów. Rozwiązaniem jest monitorowanie osuwiska, najlepiej z wykorzystaniem interferometrii radarowej PSInSAR. Zastosowanie tej metody pozwoli na częste wykonanie pomiarów i szybką identyfikację zagrożenia katastrofą osuwiskową na terenie DPS. Jednak wcześniej należy sprawdzić czy badany teren spełnia warunki do zastosowania tej metody. Osuwisko jest tak ułożone, że może podczas nagłego, szybkiego uaktywnienia zniszczyć jedyną drogę dojazdową prowadzącą do DPS. Dlatego należy przemyśleć w jaki sposób poprowadzić ewakuację DPS podczas ewentualnego uaktywnienia osuwiska.