

# Dendrochronologiczna ocena przestrzennej zmienności zagrożenia osuwiskowego w masywie góry Prusów (Beskid Żywiecki)

Małgorzata Wistuba, Ireneusz Malik

**Abstrakt.** Pnie drzew porastających aktywne osuwiska są pochylone i wyginane na skutek niestabilności podłoża, co wpływa na anatomię drewna i przyrosty roczne. W przeprowadzonych badaniach przeanalizowano dekoncentryczność przyrostu świerka pospolitego i jodły pospolitej, czyli cechę diagnostyczną dla aktywnych stoków osuwiskowych. Celem pracy było też opracowanie mapy zagrożenia osuwiskowego na stokach masywu góry Prusów (1020 m n.p.m., Beskid Żywiecki). Na powierzchni 2 km<sup>2</sup> zlokalizowano 64 stanowiska, a w każdym z nich pobrano próby z 3 drzew (w sumie ze 192 osobników). Z każdego drzewa pobrano dwa wywierty: jeden po stronie dostokowej, a drugi po stronie odstokowej pnia. Stosując metodę indeksu procentowego dekoncentryczności przyrostów wydatowano epizody osuwania podłoża dla poszczególnych drzew. Uzyskane w ten sposób wyniki stały się podstawą określenia średniej częstotliwości osuwania podłoża w analizowanych miejscach na stoku. Następnie wyniki zinterpolowano uzyskując mapę zagrożenia osuwiskowego dla badanego terenu, którą porównano z zasięgiem stoków o rzeźbie osuwiskowej wyznaczonym w oparciu o numeryczny model terenu uzyskany z danych LiDAR. Badania wykazały, że dendrochronologia może być skuteczną metodą w analizie aktywności osuwiskowej i zagrożenia osuwiskowego.

**Słowa kluczowe:** zagrożenie osuwiskowe, dekoncentryczność przyrostu, świerk pospolity, jodła pospolita

**Abstract.** Dendrochronological assessment of spatial distribution of landslide hazard in the massif of Mt Prusów (Beskid Żywiecki Mts). Stems of trees growing on active landslides are tilted and bent due to bedrock instability, which affects wood anatomy and tree rings. In our study we analysed growth eccentricity of Norway spruce and silver fir which is a diagnostic feature for active landslide slopes. The aim of the study was to prepare a map of landslide hazard for slopes of Mt Prusów massif (1020 m a.s.l., Beskid Żywiecki Mts). On the area of 2 km<sup>2</sup> we have located 64 sampling points. In each of them we sampled 3 trees (192 individuals in total). From each tree we took two samples: one on the up- and one on the downslope side of a stem. Using percentage index of ring eccentricity we dated events of landsliding for particular trees. Obtained results were a basis for determining average frequency of landsliding in sampling points. Next, the results were interpolated into a map of landslide hazard in the studied area. It was compared with the range of slopes having landslide relief, visible on digital terrain model obtained from LiDAR data. The results confirmed that dendrochronology can be an effective method for analysing landslide activity and hazard.

**Keywords:** landslide hazard, growth eccentricity, Norway spruce, silver fir

## Wstęp

Osuwanie gruntu często ma gwałtowny, katastrofalny przebieg, powodujący zniszczenia infrastruktury, straty finansowe i stwarzający zagrożenie dla ludzi (Baroń i in. 2011, Klimeš i Vilimek 2011) (Ryc. 1). Ocena stabilności stoków jest więc jednym z najważniejszych zadań geologii i geomorfologii. Oslona przed osuwaniem prowadzona jest z zastosowaniem różnorodnych metod monitoringu: powtarzalnych pomiarów geodezyjnych i pomiarów GPS, pomiarów inklinometrami, piezometrami oraz satelitarnej interferometrii radarowej. Metody te pozwalają na określenie skali przemieszczeń koluwiów osuwiskowych (np. Nescieruk i in. 2013), ale jedynie w okresie od rozpoczęcia monitoringu. Ponieważ metody te są stosunkowo nowe, zatem pozyskiwane z ich pomocą ciągi danych są najczęściej bardzo krótkie.



**Ryc. 1.** Dekoncentryczność przyrostów wykształcana w pniach drzew pochylonych w różnych kierunkach na osuwisku w badanym masywie góry Prusów. Osuwisko to było aktywne podczas katastrofy osuwiskowej w 2010 roku, na stoku położone są zabudowania zagrożone przez osuwanie

*Fig. 1. Tree-ring eccentricity developed in tree stems tilted in diverse directions on a landslide in the studied Mt Prusów massif. The landslide was active during the landslide catastrophe in 2010, buildings endangered by landsliding are located on the slope*

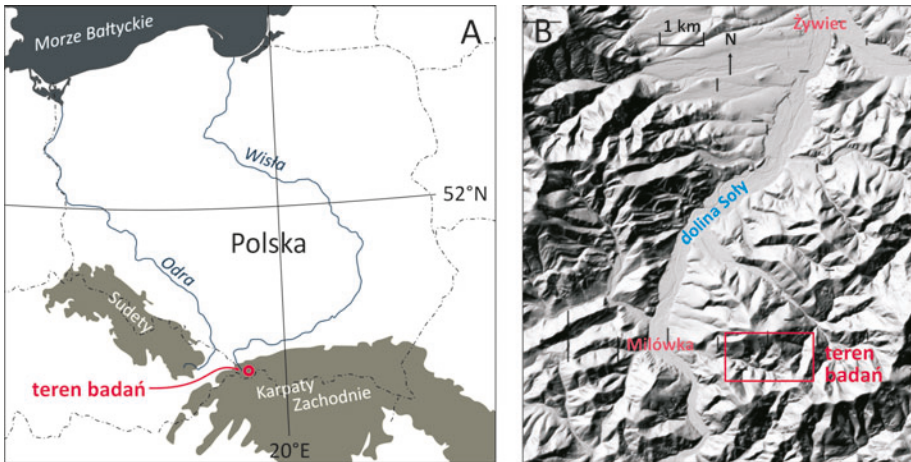
Jednocześnie, w badaniach podstawowych nad osuwaniem coraz bardziej powszechne stają się metody dendrochronologiczne (np. Stefanini 2004, Corominas i Moya 2010, Migoń i in. 2014, Wistuba i in. 2015). Zastosowanie przyrostów rocznych drzew do analizy osuwania pozwala analizować przemieszczenia koluwiów z rozdzielczością roczną oraz prowadzić rekonstrukcje sięgające wstecz nawet setek lat (Fritts i Swetman 1986, Schweingruber 1996). Każde pojedyncze drzewo może służyć jako sensor aktywności ruchów masowych podłoża, na którym rośnie. Wyniki analiz dendrochronologicznych mogą zatem stanowić uzupełnienie informacji pozyskiwanych metodami monitoring bezpośredniego osuwania, jednak potencjał dendrochronologii w tym zakresie nie jest jak dotąd w pełni wykorzystywany.

Celem badań było opracowanie metodyki wykonania mapy zagrożenia osuwiskowego w oparciu o dane dendrochronologiczne, przetestowanie jej dla wybranego obszaru górskiego, gdzie na stokach powszechne są osuwiska oraz ocena praktycznego potencjału przeprowadzonych prac.

## Obszar badań

Obszar badań o powierzchni 2 km<sup>2</sup> znajduje się w południowo-wschodniej części masywu Prusowa (1010,2 m n.p.m.), w Beskidzie Żywieckim (Ryc. 2). Podłoże budują tu podatne na osuwanie kompleksy skał fiszowych: glaukonitowych piaskowców i łupków osadowych płaszczowiny magurskiej (Stupnicka 1997). Powszechnym elementem rzeźby stoków badanego obszaru są osuwiska różnego typu, w tym: osuwiska spływowe, płytkie osuwiska zwietrzelinowe, płytkie osuwiska translacyjne oraz rozległe, skalne osuwiska typu rotacyjnego i złożonego. Część stoków osuwiskowych w badanym obszarze była aktywna podczas ostatniej katastrofy osuwiskowej w 2010 roku. Szczególnie duże straty spowodowała wówczas aktywność osuwiska w przysiółku Siedloki (Ryc. 1, Ryc. 3: kwadraty A2-A3).

Średnia roczna suma opadów na pobliskiej stacji pomiarowej (Żabnica, 550 m n.p.m., 4,5 km na N od badanego obszaru) wynosi 1136 mm. Naturalnym zbiorowiskiem roślinnym badanego obszaru są mieszane lasy regla dolnego z bukiem zwyczajnym (*Fagus sylvatica*) oraz jodłą pospolitą (*Abies alba*) (Seneta i Dolatowski 2008). Współcześnie jednak badany obszar porastają głównie nasadzone przez człowieka, na ogół młode, monokultury świerka pospolitego (*Picea abies*), rzadziej młodniki jodłowe. Występują także niewielkie fragmenty buczyny karpackiej oraz rzadko stare osobniki jodeł lub świerków rosnące samotnie lub w grupach. Znaczną część badanego obszaru stanowią tereny niezalesione; zręby, łąki, pastwiska, rzadziej pola uprawne i tereny zabudowane (Ryc. 3).



**Ryc. 2.** Położenie obszaru badań w Karpatach Zachodnich (A) oraz w Beskidzie Żywieckim (B) (mapa cieniowana na podstawie numerycznego modelu terenu z danych LiDAR; źródło danych: Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej)

*Fig. 2. The location of the studied area in the Western Carpathians (A) and in the Beskid Żywiecki Mts (B) (shaded relief map based on digital terrain model from LiDAR data; data source: Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej)*

## Material i metody

W dendrochronologicznych rekonstrukcjach przebiegu osuwania najczęściej wykorzystywanymi cechami anatomii drewna są dekoncentryczność przyrostów rocznych oraz występowanie drewna reakcyjnego. Obie te cechy wykształcane są w pniach drzew, które zostaną odchyłone od pionu na skutek niestabilności podłoża (Ryc. 1). W badaniach prezentowanych w tym artykule wykorzystano analizę dekoncentryczności przyrostu. W porównaniu z drewnem reakcyjnym, którego występowanie jest oceniane wizualnie, nasilenie dekoncentryczności może być określane obiektywnie (np. Wistuba i in. 2013). Ponadto dekoncentryczność jest wykształcana pod wpływem naprężeń mniejszych niż w przypadku drewna reakcyjnego, przez co pozwala na wykrywanie słabszych przemieszczeń gruntu niż w przypadku analizy drewna reakcyjnego (Šilhán i Stoffel 2015).

### *Pobór prób dendrochronologicznych w celu opracowani mapy zagrożenia osuwiskowego*

Podczas przygotowania mapy zagrożenia osuwiskowego konieczne było uwzględnienie następujących problemów metodycznych, typowych nie tylko dla obszaru badań, ale dla innych obszarów górskich, w tym całej polskiej części Karpat:

- stanowiska poboru prób do analizy dendrochronologicznej powinny być równomiernie rozproszone na całej badanej powierzchni,

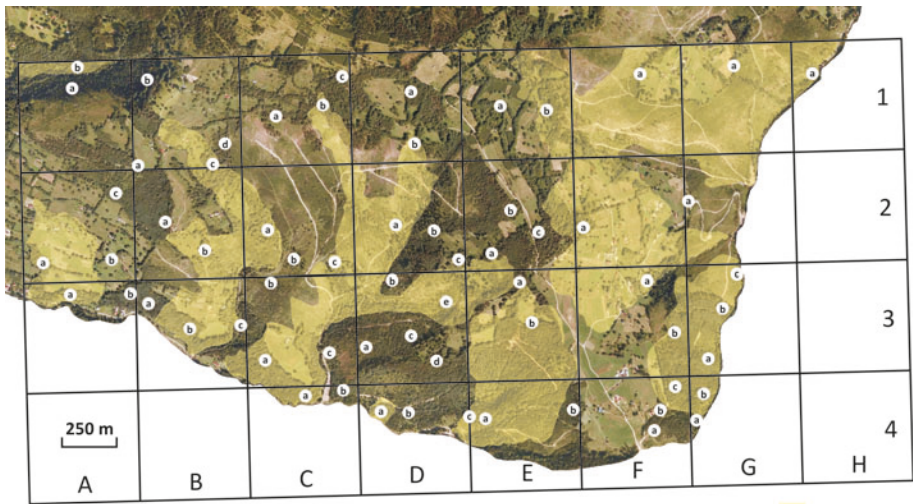
a jednocześnie:

- ich lokalizacja powinna być dopasowana do zróżnicowania rzeźby terenu badań, tak aby w miarę możliwości każdy stok był reprezentowany przez co najmniej jedno stanowisko badawcze, z uwzględnieniem podziału na osuwiska i stoki pozbawione rzeźby osuwiskowej,
- lokalizacja stanowisk poboru prób powinna także uwzględniać zróżnicowany charakter pokrycia terenu, a przede wszystkim dostępność odpowiednich do opróbowania drzew (iglastych, możliwie jak najstarszych).

Aby zapewnić równomierne rozproszenie stanowisk badany obszar podzielono na 32 kwadraty o boku 500 m (Ryc. 3). Założono, że w każdym kwadracie musi znajdować się co najmniej 1 stanowisko poboru prób. Szczegółową lokalizację miejsc opróbowania ustalano w oparciu o:

- rzeźbę terenu, w tym zasięg stoków osuwiskowych wyznaczony na podstawie numerycznego modelu terenu z danych LiDAR (Ryc. 5-6) oraz
- występowanie lasów iglastych wyznaczone na podstawie ortofotomapy (Ryc. 3).

W sumie na całej badanej powierzchni wyznaczono 64 stanowiska poboru prób. W każdym z kwadratów oznaczono je małymi literami „a”, „b”, „c”, itd. W każdym ze stanowisk, używając świdra Presslera, pobrano próby z trzech drzew (świerków pospolitych lub jodeł pospolitych). Z każdego drzewa pobrano po dwa wywierty na wysokości pierśnicy, w osi zgodnej z nachyleniem terenu (po stronie od- i dostokowej pnia). Do opróbowania wybierano drzewa wizualnie ocenione jako zdrowe (bez uszkodzeń mechanicznych i defoliacji) oraz możliwie najstarsze spośród rosnących w wyznaczonej lokalizacji. Łącznie próby pobrano z 192 drzew.



a punkty poboru prób      osuwiska

**Ryc. 3.** Rozmieszczenie stanowisk poboru prób na tle pokrycia terenu (ortofotomapa: [geoportal.gov.pl](http://geoportal.gov.pl)) oraz zasięgu stoków osuwiskowych w badanym fragmencie masywu góry Prusów (wyznaczonego na podstawie danych LiDAR)

*Fig. 3. The location of sampling points compared to vegetation cover (orthophoto: [geoportal.gov.pl](http://geoportal.gov.pl)) and the extent of landslide slopes in the studied part of the Mt Prusów massif (determined based on LiDAR data)*

### ***Datowanie epizodów osuwania oraz wyznaczenie zagrożenia osuwiskowego w oparciu o dekoncentryczność przyrostów rocznych drzew***

Próby pobrane w poszczególnych stanowiskach poddano standardowej obróbce dendrochronologicznej i pomierzono szerokości przyrostów rocznych. Szerokości przyrostów po stronach od- i dostokowej poszczególnych pni porównano ze sobą analizując dekoncentryczność przyrostu metodą indeksu procentowego i datując epizody osuwania zgodnie z metodą Wistuby i in. (2013) (Ryc. 4), według wzorów:

$$E_x [\text{mm}] = U_x - D_x;$$

gdy  $E_x [\text{mm}] > 0$ : dekoncentryczność dostokowa;  $E_{ix} [\%] = (E_x / D_x \times 100\% > 0$ ;

gdy  $E_x [\text{mm}] = 0$ : brak dekoncentryczności;  $E_{ix} [\%] = E_x [\text{mm}] = 0$ ;

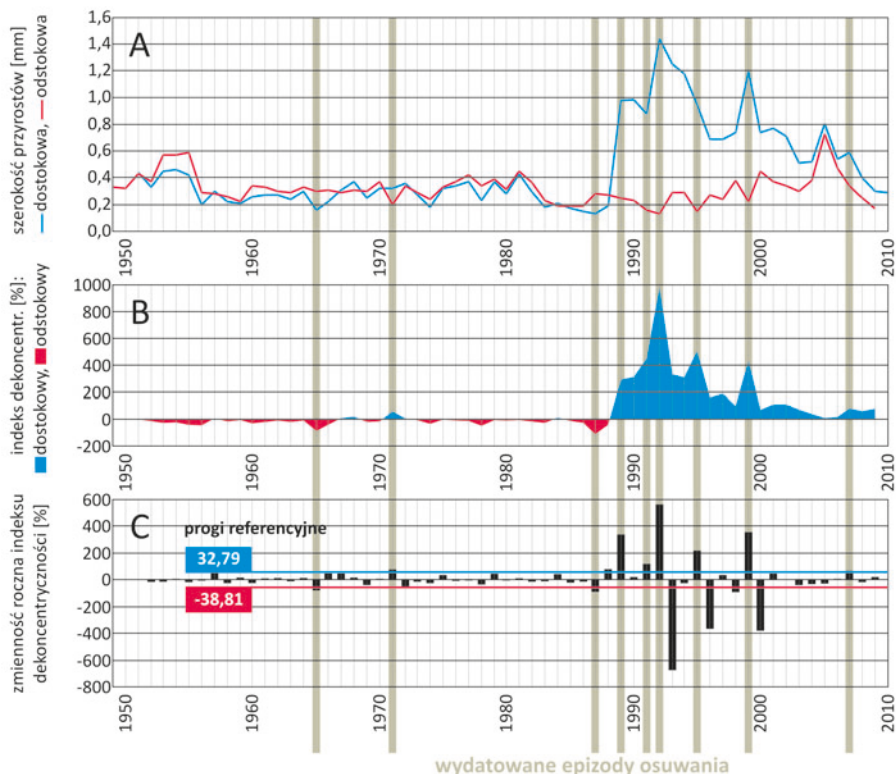
gdy  $E_x [\text{mm}] < 0$ : dekoncentryczność odstokowa;  $E_{ix} [\%] = (E_x / U_x) \times 100\% < 0$ ;

$$vE_{ix} [\%] = E_{ix} - E_{ix-1};$$

gdzie:  $U$  – szerokość przyrostu rocznego po dostokowej stronie pnia [mm];  $D$  – szerokość przyrostu rocznego po odstokowej stronie pnia [mm];  $E$  – dekoncentryczność przyrostu rocznego [mm];  $E_i$  – indeks dekoncentryczności przyrostu rocznego [%];  $vE_i$  – zmienność roczna indeksu [%];  $x$  – rok/przyrost roczny.

Datowanie epizodów osuwania wykonano na podstawie zmienności rocznej indeksu dekoncentryczności oraz przy użyciu progów referencyjnych (przeciętnych wartości dekoncentryczności typowych dla stoku stabilnego położonego w obrębie badanego obszaru – Ryc. 3.: kwadrat D4, stanowisko b). Za epizodu osuwania uznano lata o zmienności rocznej indeksu wykraczającej poza przedział progów referencyjnych dla dekoncentryczności od- i dostokowej (Ryc. 4C).

Dla każdego ze stanowisk poboru prób zebrano epizody wydатовane dla wszystkich trzech drzew i na ich podstawie obliczono średnią częstość epizodów osuwania, którą następnie poddano interpolacji do mapy zagrożenia osuwiskowego. Wyznaczono strefy o dużym, średnim i małym zagrożeniu osuwaniem.



**Ryc. 4.** Przykład datowania epizodów osuwania dla pojedynczego opróbowanego drzewa: szerokości przyrostów rocznych (A), wartości indeksu dekoncentryczności (B), jego zmienności rocznej oraz wyniki datowania w oparciu o progi referencyjne (C)

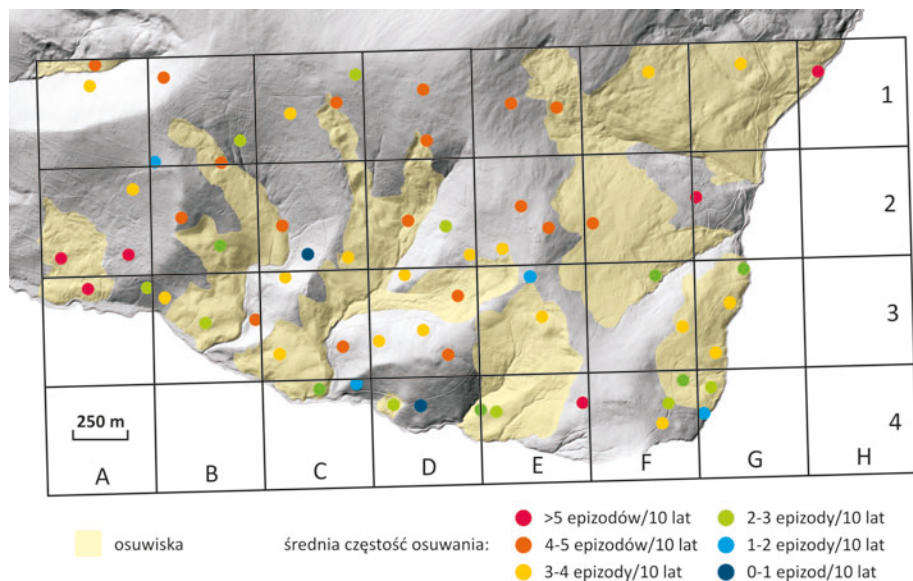
*Fig. 4.* An example of dating landslide activity events for a single sampled tree: tree-ring widths (A), values of eccentricity index (B), its yearly variation and results of dating conducted based on reference thresholds (C)

## Wyniki i dyskusja

Średnia częstość epizodów osuwania wydатовanych w badanych stanowiskach waha się od 0 epizodów/10 lat (stanowisko b w kwadracie D4) (Ryc. 3, 5) do 5,2 epizodu/10 lat w obrębie osuwiska Siedłoki (kwadraty A2-A3) (Ryc. 5). Aktywność ruchów masowych w obszarze badań jest więc silnie zróżnicowana. Najmniej aktywne osuwiskowo stoki cechuje pełna sta-

bilność, a stoki najbardziej aktywne przemieszczają się nawet średnio raz na 2 lata. W obrębie badanej części masywu góry Prusów wyraźnie przeważają jednak stanowiska opróbowania i stoki o dość wysokiej częstotliwości 4-5 epizodów/10 lat. Oprócz stoków o rzeźbie osuwiskowej dużą frekwencją epizodów osuwania cechują się także stoki pozbawione form rzeźby charakterystycznych dla osuwisk (Ryc. 5). Podobnie spotykane są sytuacje, w których niską frekwencją epizodów ruchów masowych cechują się stoki o rzeźbie osuwiskowej (Ryc. 5). Podobne prawidłowości widoczne są na mapie uzyskanej z interpolacji omówionych wyżej wyników – mapie zagrożenia osuwiskowego (Ryc. 6) w badanym obszarze uzyskanej na drodze interpolacji wartości średniej częstotliwości osuwania (Ryc. 5).

Zasięg stref o dużej i średniej aktywności osuwiskowej bardzo często pokrywa się z zasięgiem rzeźby osuwiskowej wyznaczonej w oparciu o numeryczny model terenu z danych LiDAR (Ryc. 6), jednak w przypadku części osuwisk, szczególnie tych o słabo zarysowanej rzeźbie, stwierdzono także przypadki niskiej aktywności osuwiskowej i małego zagrożenia osuwaniem. Przeprowadzone badania pozwoliły zatem odróżnić osuwiska współcześnie aktywne od osuwisk reliktowych, aktywnych w przeszłości, a obecnie stosunkowo stabilnych.



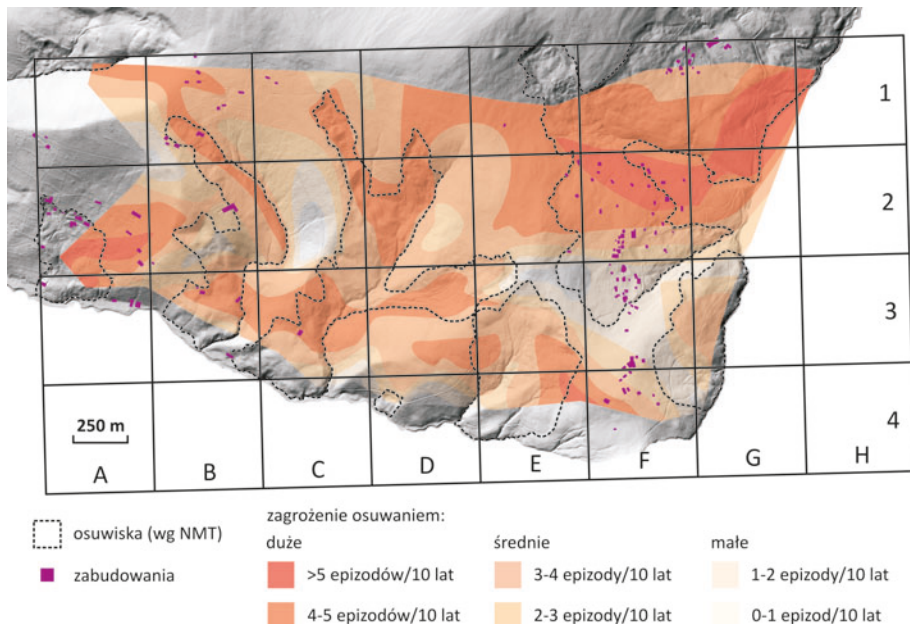
**Ryc. 5.** Średnia frekwencja epizodów osuwania wydatowanych w poszczególnych stanowiskach poboru prób (mapa cieniowana na podstawie numerycznego modelu terenu z danych LiDAR; źródło danych: Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej)

*Fig. 5. Average frequency of landsliding events dated in particular sampling points (shaded relief map based on digital terrain model from LiDAR data; data source: Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej)*

Także w przypadku stoków pozbawionych rzeźby osuwiskowej możliwe było dokonanie podziału na powierzchnie stabilne, o niskiej częstotliwości osuwania i o małym zagrożeniu osuwaniem, oraz powierzchnie, które pomimo braku wykształconej dotąd rzeźby osuwisko-

wej cechuje zwiększona frekwencja udokumentowanych dendrochronologicznie epizodów osuwania, co może sugerować, że podlegają one inicjalnemu osuwaniu. Podobne obserwacje z obszaru Sudetów opisywali Remisz i in. (2014).

Dodatkowo dla badanego obszaru porównano przestrzenne zróżnicowanie aktywności i zagrożenia osuwiskowego z rozmieszczeniem zabudowy. W ten sposób wyznaczono potencjalnie bezpieczne dla istniejącej i przyszłej zabudowy stoki stabilne oraz stoki aktywne – obszary potencjalnie narażone na zniszczenia infrastruktury, gdzie mogą wystąpić zniszczenia i straty materialne. Na takich terenach należałoby wykluczyć dalszy rozwój zabudowy.



**Ryc. 6.** Poziom zagrożenia osuwaniem w badanej części masywu góry Prusów wyznaczony w oparciu o wyniki analizy dekoncentryczności przyrostów rocznych drzew (mapa cieniowana na podstawie numerycznego modelu terenu z danych LiDAR; źródło danych: Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej)

*Fig. 6. The level of landslide hazard in the studied part of Mt Prusów massif determined based on the results of the analysis of tree-ring eccentricity (shaded relief map based on digital terrain model from LiDAR data; data source: Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej)*

Można stwierdzić, że metody dendrochronologiczne pozwalają w precyzyjny sposób określać stopień aktywności osuwiskowej stoków, a nie tylko wykrywać obecność lub brak rzeźby osuwiskowej tak jak istniejące dotąd źródła informacji o przestrzennym zróżnicowaniu osuwania. Analiza numerycznego modelu terenu z danych LiDAR oraz kartowanie terenowe osuwisk w ramach Systemu Osłony Przeciwośuwiskowej ([geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO](http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO)) nie dostarczają informacji o stopniu aktywności stoków, przez co identycznie klasyfikowane mogą być osuwiska aktywne, stwarzające zagrożenie oraz formy nieaktywne, reliktowe. W szczególności pominięte mogą zostać strefy osuwania inicjalnego, gdzie nie doszło



jeszcze do wykształcenia charakterystycznej rzeźby, a występuje już zagrożenia ruchami masowymi. Dalszy rozwój dendrochronologicznych metod detekcji osuwania może uzupełnić tę lukę w metodach oceny stabilności stoków. Przeprowadzone badania wskazują ponadto, że zaproponowana metoda może być skuteczna także w obszarach o znacznym stopniu wylesienia stoków.

Zastosowana metoda wykrywania i datowania epizodów osuwania na podstawie dekoncentryczności przyrostów rocznych opiera się na porównaniu zapisu dendrochronologicznego osuwania w pojedynczych drzewach z przeciętnym poziomem dekoncentryczności przyrostu na stoku referencyjnym – stoku stabilnym położonym możliwie jak najbliżej badanych osuwisk i posiadającym podobne parametry: wysokość bezwzględna, nachylenie, ekspozycję, budowę geologiczną (Wistuba i in. 2013). Pozwala to na wykluczenie z analizy pozageomorfologicznych czynników powodujących wykształcanie przyrostów dekoncentrycznych, takich jak na przykład nacisk pokrywy śnieżnej na pnie młodych drzew czy oddziaływanie wiatru (Robertson 1991, Schweingruber 1996, Duncker i Spiecker 2005, Zielonka i in. 2009, Tomczak i in. 2012, Wistuba i in. 2014). W dalszym ciągu jednak istnieje potrzeba rozwiązania problemu odróżniania zapisu dendrochronologicznego osuwania oraz innych ruchów masowych, w szczególności śpłyzywania. Jak dotąd brak badań dotyczących zapisu powolnego pełzania gruntu w dekoncentryczności przyrostach rocznych. Proces ten nie prowadzi na ogół do wykształcania diagnostycznych cech rzeźby terenu, przez co może niezauważony oddziaływać na wzrost drzew zarówno na stokach osuwiskowych, jak i pozbawionych takich form rzeźby terenu. Uzyskane dotąd dla masywu góry Prusów wyniki (Ryc. 5, Ryc. 6) wskazują na duże podobieństwo przestrzennego rozkładu średniej częstotliwości dendrochronologicznych sygnałów niestabilności stoku z występowaniem rzeźby osuwiskowej (Ryc. 6). Sugeruje to, że zastosowanie indeksu procentowego dekoncentryczności przyrostu pozwala nie tylko na oddzielenie osuwania od czynników pozageomorfologicznych, ale także od śpłyzywania. Jednak aby stosować zaproponowaną metodykę do celów aplikacyjnych, na przykład uwzględniać uzyskane wyniki w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego, konieczne jest dalsze testowanie metody oraz, być może, zagęszczenie sieci stanowisk poboru prób, tak aby uzyskiwać większą rozdzielczość przestrzenną wyników.

## Wnioski

- Analizując dekoncentryczność przyrostów 192 świerków pospolitych i jodeł pospolitych porastających obszar badań w masywie góry Prusów stwierdzono, że zróżnicowanie przestrzenne aktywności osuwiskowej jest tam znaczne: od stoków stabilnych, gdzie nie wydatowano żadnych epizodów osuwania do stoków, które są uruchamiane średnio co dwa lata.
- Wykonanie map częstotliwości osuwania i zagrożenia osuwiskowego w oparciu o przeprowadzone analizy dendrochronologiczne oraz ich zestawienie z numerycznym modelem rzeźby terenu badanego obszaru pozwoliło na wykrycie aktywnych stoków osuwiskowych, stosunkowo stabilnych, reliktowych osuwisk, stoków stabilnych pozbawionych rzeźby osuwiskowej oraz stref, gdzie występują inicjalne ruchy masowe, ale nie wykształciły się jeszcze typowe dla osuwisk formy rzeźby.
- Przeprowadzone badania wykazały znaczny potencjał aplikacyjny analizy dekoncentryczności przyrostów rocznych drzew w wykrywaniu stoków aktywnych osuwiskowo.

Zaproponowana metoda może stanowić istotne uzupełnienie dotychczas stosowanego monitoringu osuwisk oraz przyczynić się do bardziej efektywnego wyznaczania stoków względnie bezpiecznych i stoków aktywnych, które należy wyłączyć z zabudowy lub objąć szczególnym nadzorem.

## Podziękowania

Badania zrealizowano w ramach projektu PRELUDIUM 2011/03/N/ST10/05576 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki. Podczas przygotowywania publikacji do druku autorka artykułu, Małgorzata Wistuba, była stypendystką wspartą finansowaniem Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej (FNP) w ramach stypendium START na lata 2015-2016.

## Literatura

- Baroň I., Řehánek T., Vošmik J., Musel V., Kondrová L. 2011. Report on a recent deep-seated landslide at Gírová Mt., Czech Republic, triggered by a heavy rainfall: The Gírová Mt., Outer West Carpathians; Czech Republic. *Landslides* 8: 355-361.
- Corominas J., Moya J. 2010. Contribution of dendrochronology to the determination of magnitude–frequency relationships for landslides. *Geomorphology* 124: 137-149.
- Duncker P., Spiecker H. 2005. Compression wood formation and pith eccentricity in *Picea abies* L. depending on selected site-related factors: Detection of compression wood by its spectral properties in reflected light. *TRACE* 3: 150-158.
- Fritts H.C., Swetnam T.W. 1986. *Dendroecology: A tool for evaluating variations on past and present forest environments*. Hunton and Williams Printers, Washington.
- Klimeš J., Vilímek V. 2011. A catastrophic landslide near Rampac Grande in the Cordillera Negra, northern Peru. *Landslides* 8: 309-320.
- Migoń P., Kacprzak A., Malik I., Kasprzak M., Owczarek P., Wistuba M., Pánek T. 2014. Geomorphological, pedological and dendrochronological signatures of a relict landslide terrain, Mt Garbatka (Kamienne Mts), SW Poland. *Geomorphology* 219: 213-231.
- Nescieruk P., Perski Z., Wojciechowski T., Wójcik A. 2013. Osuwisko w Łaskach nad zbiornikiem w Porąbce jako przykład zagrożenia dla sztucznych zbiorników wodnych w Karpatach. *Geotechnika. Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjno - materiałowo - technologiczne. XXVIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji*, Wisła, 5-8 marca 2013, tom II: 1-10.
- Remisz J., Bijak S., Parzóch K., Witek M. 2014. Czy dało się przewidzieć? – osuwisko na Średniaku w świetle informacji z przyrządów rocznych. *Studia i Materiały CEPL* 40: 122-129.
- Robertson A. 1991. Centroid of wood density, bole eccentricity, and tree-ring width in relation to vector winds in wave forests. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 73-82.
- Schweingruber F.H. 1996. *Tree Rings and Environment. Dendroecology*. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research and Paul Haupt Verlag, Berne, Switzerland.
- Seneta W., Dolatowski J. 2008. *Dendrologia*. PWN, Warszawa.
- Stefanini M.C., 2004. Spatio-temporal analysis of a complex landslide in the Northern Apennines (Italy) by means of dendrochronology. *Geomorphology* 63: 191-202.
- Stupnicka E. 1997. *Geologia regionalna Polski. Wydawnictwa Geologiczne*: Warszawa.
- Šilhán K., Stoffel M. 2015. Impacts of age-dependent tree sensitivity and dating approaches on dendrogeomorphic time series of landslides. *Geomorphology* 236: 34-43.
- Tomczak A., Jelonek T., Pazdrowski W. 2012. Ekscentryczność pni sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z drzewostanów silnie eksponowanych na wiatr. *Prace komisji nauk rolniczych i komisji nauk leśnych* 103: 41-46.
- Wistuba M., Malik I., Gärtner H., Kojs P., Owczarek P. 2013. Application of eccentric growth of trees as a tool for landslide analyses: The example of *Picea abies* Karst. in the Carpathian and Sudeten

Mountains (Central Europe). *Catena* 111: 41-55.

- Wistuba M., Malik I., Wójcicki K., Michałowicz P. 2015. Coupling between landslides and eroding stream channels reconstructed from spruce tree rings (examples from the Carpathians and Sudetes – Central Europe). *Earth Surface Processes and Landforms* 40: 293-312.
- Wistuba M., Papciak T., Malik I., Barnaś A., Polowy M., Pilorz W. 2014. Wzrost dekoncentryczny świerka pospolitego świadectwem oddziaływania dominującego kierunku wiatru (przykład z Hrubého Jeseníka, Sudety Wschodnie). *Studia i Materiały CEPL* 40: 63-73.
- Zielonka T., Malcher P. 2009. The dynamics of a mountain mixed forest under wind disturbances in the Tatra Mountains, central Europe – a dendroecological reconstruction. *Canadian Journal of Forest Research* 39: 2215-2223.

**Małgorzata Wistuba\*, Ireneusz Malik**

Uniwersytet Śląski w Katowicach, Katedra Rekonstrukcji Środowiska Geograficznego  
\*malgorzatawistuba@gazeta.pl