

# Dendrochronologiczna analiza czynników spustowych osuwania na stoku góry Skalka (Beskid Śląsko-Morawski)

*Katarzyna Łuszczynska, Małgorzata Wistuba, Ireneusz Malik*

**Abstrakt.** Celem badań było określenie czynników uruchamiających osuwanie na stoku góry Skalka (południowo-wschodnia część Beskidu Śląsko-Morawskiego). Dla 60 świerków pospolitych analizowano dekoncentryczność przyrostów rocznych. Zbadano kształty pni oraz szerokości przyrostów rocznych drzew. W celu dendrochronologicznego datowania czasu osuwania wykorzystano procentowy indeks dekoncentryczności przyrostów rocznych oraz jego zmienność roczną. Największą dynamikę osuwania stwierdzono w latach: 1968-1969, 1975, 1985, 1993 oraz 1995. Szczególnie aktywna jest górna część osuwiska, w strefie skarpy głównej. Liczba zaburzeń wzrostu świadczących o osuwaniu w poszczególnych latach dobrze odpowiada przebiegowi sum opadów półrocza letniego (np. w latach: 1968, 1972, 1975, 1977, 1985 i 2010) oraz w mniejszym stopniu zimowego. Prawdopodobnie pewną rolę w uruchamianiu osuwania na badanym stoku odgrywają trzęsienia ziemi o epicentrach w Karpatach Zachodnich i w Czechach. Wydaje się natomiast, że erozja rzeczna u podstawy osuwiska nie odgrywa w badanym przypadku roli czynnika spustowego osuwania.

**Słowa kluczowe:** czynniki spustowe, osuwanie, dekoncentryczność wzrostu, świerk pospolity

**Abstract.** *Dendrochronological analysis of triggering factors of landslide activity on the slope of Skalka Mt. (the Moravian-Silesian Beskids).* The aim of the study was to determine the triggering factors of landsliding on the slope of Skalka Mt. (the south-eastern part of the Moravian-Silesian Beskids). Dendrochronological methods have been applied: tree-ring eccentricity was analysed for 60 Norway spruce trees. We examined the shapes of stems and tree-rings widths. In order to dendrochronological dating time we used the eccentricity index of tree ring in percentages and its yearly variation. The highest landslide activity occurred in: 1968-1969, 1975, 1985, 1993 and 1995. The highest part of the landslide, area of the main scarp, is the most active. The number of growth disturbances recording landsliding in particular years matches well with precipitation totals for summer half years (e.g. in: 1968, 1972, 1975, 1977, 1985 and 2010) and to the smaller degree with precipitation totals for winter half years. Results indicate the possible role of earthquakes with epicentres located in Western Carpathians and in Czech Republic in triggering landslide activity on the slope under study. However, it seems that fluvial erosion does not act as a trigger for landsliding in the studied case.

**Key words:** triggering factors, landsliding, growth eccentricity, Norway spruce

## Wstęp

Osuwanie jest procesem geomorfologicznym powszechnym w obszarach górskich, w tym Karpatach zewnętrznych, odgrywającym znaczącą rolę w kształtowaniu ich rzeźby (Šilhán 2012, Wistuba i in. 2013a). Osuwiska powstają i są odnawiane przede wszystkim pod wpływem opadów (Gorzycza 2004, Rączkowski 2004). Często poruszonym problemem jest określenie progowych wielkości opadów i poziomu wód gruntowych niezbędnych do zainicjowania osuwania. Jest to jednak trudne, ze względu na rolę takich czynników jak rzeźba konkretnego stoku, jego pokrycie roślinnością, rodzaj gleby oraz jej wilgotność bezpośrednio przed wystąpieniem zdarzenia (Margielewski i in. 2008). Interpretację dodatkowo komplikuje fakt, że stoki osuwiskowe często mają złożoną rzeźbę i budowę wewnętrzną, a poszczególne części jednego stoku mogą być uruchamiane podczas różnych zdarzeń opadowych (Migoń i in. 2014, Malik i in. 2016 w druku). Czynniki wyzwalającymi osuwania mogą być także na przykład erozja podcinająca podstawę stoku czy trzęsienia ziemi. Jednak według van Ascha i in. (1999) opady są bardziej efektywnym czynnikiem spustowym osuwania niż wstrząsy sejsmiczne.

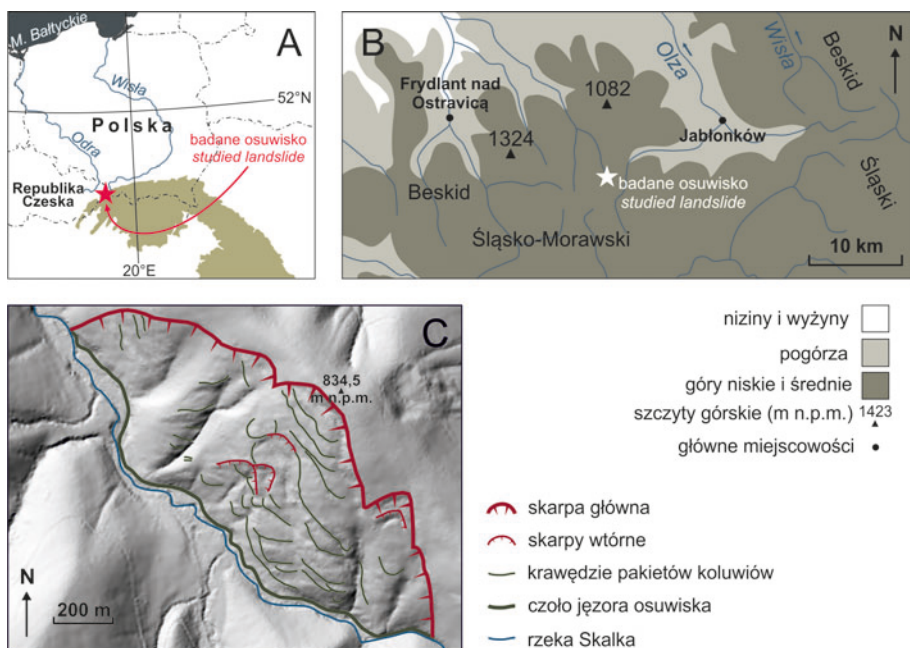
Warunkiem prawidłowej interpretacji częstotliwości, zróżnicowania czasowego i przestrzennego osuwania jest zrozumienie mechanizmów wyzwalających jego aktywność na stokach (Corominas i Moya 2008). Zależność występowania osuwania od różnego typu czynników spustowych pozwalają analizować między innymi metody dendrochronologiczne, stosowane także w badaniach nad osuwiskami w Karpatach (Krąpiec i in. 2008, Wistuba i in. 2013a, 2013b, Šilhán i Pánek 2014). W przyrostach rocznych drzew aktywność osuwisk zapisuje się jako dekoncentryczność wzrostu czy drewno reakcyjne (Šilhán i in. 2012, Wistuba i in. 2013a).

Celem badań było określenie metodą dendrochronologiczną znaczenia różnych czynników spustowych (opadów, trzęsien ziemi, erozji rzecznej u podnóża stoku) w aktywności osuwiska na stoku góry Skalka w Beskidzie Śląsko-Morawskim.

## Obszar badań

Badane osuwisko leży w Karpatach Zachodnich, w południowo-wschodniej części Beskidu Śląsko-Morawskiego, Republika Czeska (Ryc. 1A, B), na stoku góry Skalka (834,5 m n.p.m.) (Ryc. 1C). W podłożu obszaru badań występują warstwy godulskie: cienko- i średnioławicowe warstwy łupków i piaskowców, miejscami silnie mułowcowe (Demek i Macovčín 1987, Interactive... 2003). Badane osuwisko (1250 m szerokości, 545 m długości) leży na wysokości 650-828 m n.p.m. W jego rzeźbie widocznych jest 5 skarpy osuwiskowych, w tym 4 skarpy wtórne, o częściowo zatartej rzeźbie. Poniżej skarpy głównej znajduje się jęzor osuwiskowy, którego powierzchnia rozczłonkowana jest przez liczne rozcięcia erozyjne (Ryc. 1C) oraz poprzeczne i podłużne wały koluwalne. W dolnej części osuwisko podcinane jest przez erozję boczną koryta potoku Skalka (Ryc. 1C).

Badane osuwisko położone jest w piętrze umiarkowanie chłodnym (Hess 1965). Obszar badań cechuje częste występowanie ekstremalnych dobowych sum opadów atmosferycznych ( $\geq 150$  mm na dobę) (Štekl i in. 2001), a średnia roczna suma opadów sięga 1423,8 mm (stacja meteorologiczna Łysa Góra 1324 m n.p.m.). Badane osuwisko jest w całości zalesione, leży w piętrze regla dolnego, gdzie naturalnym zbiorowiskiem roślinnym jest buczyna karpacka z bukiem zwyczajnym (*Fagus sylvatica* L.) i jodłą pospolitą (*Abies alba* Mill.) (Seneta i Dolatowski 2008). Obszar badanego osuwiska współcześnie porasta jednak monokultura świerka pospolitego (*Picea abies* Karst.) nasadzonego przez człowieka.



**Ryc. 1.** Położenie badanego osuwiska w Karpatach (A), w Beskidzie Śląsko-Morawskim (B), na zboczu doliny potoku Skalka (C) (mapa cieniowana rzeźby na podstawie danych LiDAR: cyfrowego modelu terenu Republiki Czeskiej czwartej generacji (4G DMR), Český úřad zeměměřický a katastrální)  
*Fig. 1.* Location of the studied landslide in the Carpathian Mis (A), in the Moravian-Silesian Beskids (B), on a slope of the Skalka Stream valley (C) (shaded relief map based on LiDAR data: digital terrain model of the Czech Republic 4th generation (4G DMR), Český úřad zeměměřický a katastrální)

## Material i metody

Przy użyciu świda Presslera pobrano próby z 60 świerków pospolitych, w tym z 8 nad skarpią główną osuwiska. Z każdego drzewa na wysokości pierśnicy pobrano po dwa rdzenie w kierunku zgodnym z kierunkiem nachylenia stoku, po jednym po stronie od- i dostokowej pni. Do badań wybierano drzewa wizualnie ocenione jako pozbawione uszkodzeń mechanicznych i bez ubytków aparatu asymilacyjnego. Następnie rdzenie zamocowano w podstawki i zeszlifowano papierem ściernym w celu dokładnego uwidocznienia struktury drewna i pomierzono szerokość przyrostów rocznych (dokładność 0,01 mm).

Datowanie czasu wystąpienia osuwania wykonano stosując procentowy indeks dekoncentryczności przyrostów rocznych. Na podstawie pomiarów szerokości przyrostów po przeciwnych stronach pni obliczono dekoncentryczność przyrostów, indeks dekoncentryczności oraz jego zmienność roczną (Ryc. 2) (za Wistuba i in. 2013a).

Datowanie epizodów osuwania wykonano przy użyciu progów referencyjnych (przeciętnych wartości dekoncentryczności dla stoku stabilnego położonego 500 m na SE od badanego

osuwiska): +53,37% dla dekoncentryczności dostokowej oraz -56,05% dla dekoncentryczności odstokowej (Wistuba i in. 2013b).

Uzyskane wyniki datowań aktywności badanego osuwiska porównano z występowaniem następujących zjawisk – potencjalnych czynników spustowych ruchów masowych na badanym stoku:

- opadami półroczna letniego i zimowego na stacji Łysa Góra w latach 1949-2013 (11 km na zachód od badanego osuwiska, źródło danych: Český hydrometeorologický ústav, Ostrava),
- trzęsieniami ziemi o epicentrach na Podhalu, w Beskidzie Sądeckim i w Pieninach (wg Guterch 2009) oraz na obszarze Czech (Incorporated Research Institutions for Seismology)
- erozją w korycie potoku Skalka, u podnóża badanego osuwiska, zrekonstruowaną poprzez dendrochronologiczne datowanie odsłaniania i ranienia korzeni drzew.

Szczegółowej analizie poddano przestrzenną zmienność reakcji drzew na osuwanie podczas trzech wybranych epizodów związanych prawdopodobnie z różnymi czynnikami spustowymi. Przeanalizowano kolejno:

- 1975 rok (reakcja 12 opróbowanych drzew na osuwanie) z sumą opadów półroczna letniego równą 1036,1 mm, bez sygnałów erozji i wstrząsów sejsmicznych,
- 1985 rok (reakcja 9 opróbowanych drzew na osuwanie) z 2 sygnałami erozji w korycie potoku Skalka, bez trzęsienia ziemi z sumą opadów półroczna letniego równą 1069,6 mm,
- 1993 (reakcja 10 opróbowanych drzew na osuwanie) z trzęsieniami ziemi o magnitudzie do 4,5, z bardzo niskimi sumami opadów półroczna letniego (578,9 mm) i 2 sygnałami erozji.

Datowanie występowania erozji wykonano analizując cechy anatomiczne drewna korzeni takie jak: pojawienie się drewna późnego, zmniejszenie średnicy komórek drewna, zabliźnione zranienia. Opróbowano 15 korzeni świerków pospolitych odsłoniętych nisko w brzegach potoku u podnóża osuwiska. Piłą ręczną pobrano fragmenty korzeni o długości 5-10 cm. Datowanie epizodów erozyjnych wykonano zgodnie z procedurą opisywaną przez Gärtnera i in. (2001).

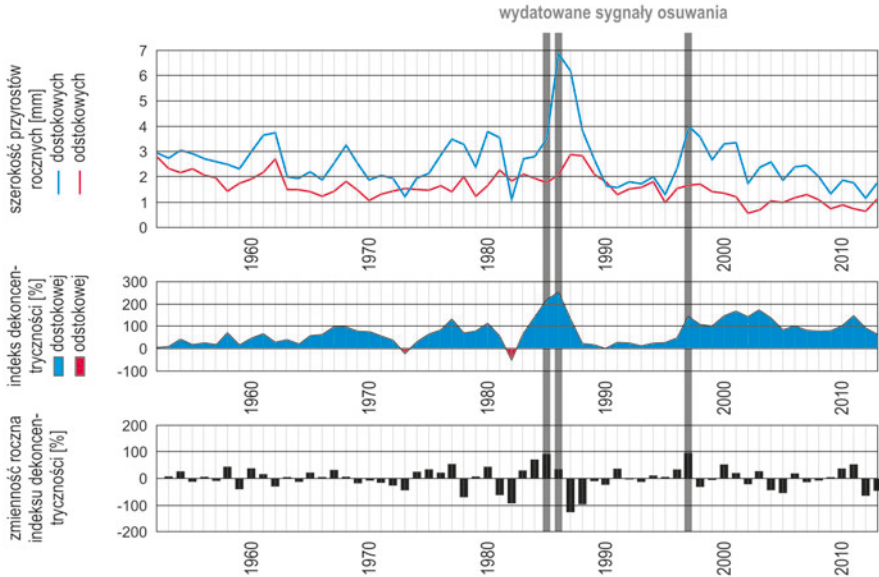
## Wyniki i dyskusja

### *Przebieg osuwania na badanym stoku*

Przyrosty roczne drzew opróbowanych na badanym stoku osuwiskowym góry Skalka obejmują lata 1940-2013. W ciągu 73 lat w opróbowanych 60 drzewach łącznie wydatowano 259 sygnałów osuwania (Ryc. 3). Sygnały dekoncentryczności występują nierównomiernie w czasie. Największą liczbę drzew reagujących na osuwanie wydatowano w latach 1968-1972, 1975, 1985, 1993-1997, 2004-2008 oraz 2010. Najsilniejsze epizody osuwiskowe odnotowano w 1975 (zareagowało 12 drzew, 20%), 1993 (10 drzew, 16,67%) i 1985 roku (9 drzew, 15%) (Ryc. 3). Aktywność osuwisk karpaccich metodami dendrochronologicznymi w podobnych latach (1971, 1975, 1985, 1997) wydatowali także Krąpiec i in. (2008).

U opróbowanych drzew stwierdzono przewagę przyrostów o niewielkiej dekoncentryczności, dla których wartość indeksu dekoncentryczności waha się od -100% do +100%. Skrajne wartości indeksu dekoncentryczności dla pojedynczych przyrostów badanych drzew wynoszą

zaledwie 449,3 % w przypadku dekoncentryczności dostkowej i 552,4% w przypadku dekoncentryczności odstokowej. Sugeruje to, że badane drzewa pod wpływem niestabilności podłoża poddawane są jedynie nieznacznym odkształceniom pni, a aktywność osuwiskowa badanego stoku jest niewielka. W ciągu ostatnich 75 lat analizowane osuwisko było niemalże stale aktywne, jednak ruchy osuwiskowe wykazywały małą intensywność przemieszczania.

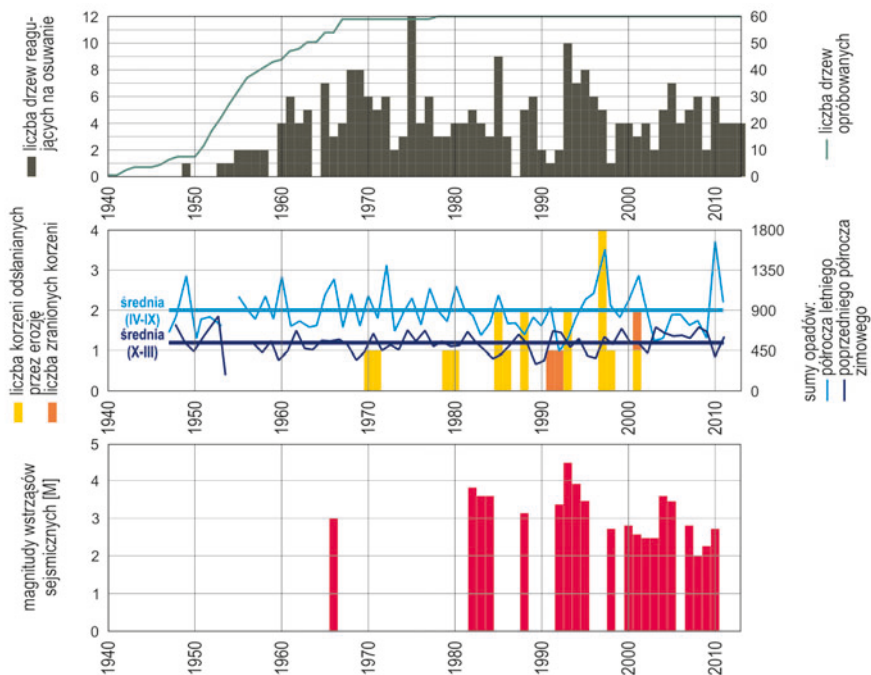


**Ryc. 2.** Szerokość przyrostów rocznych, indeks dekoncentryczności i jego zmienność roczna oraz wydatowane sygnały osuwania zarejestrowane dla pojedynczego świerka pospolitego rosnącego na badanym stoku

*Fig. 2. Tree-ring width, eccentricity index and its yearly variation with dated events of landsliding recorded in stem of a single Norway spruce growing on the studied slope*

### **Rola opadów, trzęsień ziemi i erozji u podstawy stoku jako czynników spustowych osuwania**

Szczegółową analizę relacji między przebiegiem aktywności osuwiska a potencjalnymi czynnikami spustowymi przeprowadzono dla lat 1949-2013, dla których dostępne są dane o opadach (Ryc. 3). Czytelny przykładami wydatowanych dendrochronologicznie sygnałów osuwania, które wystąpiły w latach o obfitych opadach półrocza letniego (IV-IX) są: 1965, 1968, 1970, 1972, 1975, 1977, 1985, 1995-1997 i 2010 rok (Ryc. 3). Podobnie Pánek i in. (2011) oraz Šilhán i in. (2012) stwierdzili dobrą korelację aktywności osuwania z przebiegiem opadów, w tym w szczególności z opadami o sumach >100 mm i 20/100 mm na dobę oraz sumami opadów półrocza letniego. W przeciwieństwie do opadów lata, nie stwierdzono związku wydatowanego osuwania z sumami opadów poprzedzającego półrocza zimowego (X-III), za wyjątkiem lat 1961 oraz 2008 (Ryc. 3).



**Ryc. 3.** Dendrochronologiczne datowanie aktywności osuwiska na stoku góry Skalka na tle potencjalnych czynników spustowych

*Fig. 3. Dendrochronological dating of landslide activity on the Skalka Mt slope against a background of potential triggering factors*

Porównanie czasu występowania osuwania na badanym stoku oraz erozji potoku u jego podnóża (oba procesy datowano dendrochronologicznie) wskazuje, że czynnikiem spustowym ruchów masowych na stoku Skalki może być także erozyjne zaburzenie ich równowagi. Osuwanie wystąpiło równocześnie z erozją w latach: 1985, 1989 i 1994 (po 2 sygnały erozji, po 6-9 sygnałów osuwania) (Ryc. 3). Na istotną rolę erozji fluwialnej jako czynnika naruszającego stabilność stoków osuwiskowych wskazują Mrozek i in. (2000) oraz Gorczyca (2004). Przypisywali oni erozji bocznej (obok ulewnych opadów i przeciążenia mas skalnych) rolę czynnika odmładzającego osuwiska i wywołującego wtórne ruchy podłoża w rejonie czoła osuwiska. W badanym przypadku stwierdzono jednak, że najsilniejszemu epizodowi erozji w korycie (1998 rok, 4 odsłonięte korzenie) nie towarzyszą niemal żadne oznaki osuwania (zaledwie 1 sygnał dekoncentryczności). Najsilniejsza erozja mogła być spowodowana intensywnymi opadami poprzedzającego półrocza letniego (1586,1 mm) lub okresem kilku lat przed epizodem erozji, charakteryzującym się intensywnym osuwaniem.

Analiza dendrochronologicznego zapisu osuwania na badanym stoku wskazuje, że rolę czynnika spustowego odgrywać mogą trzęsienia ziemi. Reakcję drzew na osuwanie stwierdzono w latach wstrząsów sejsmicznych oraz w latach kolejnych, na przykład: 1982 i 1988

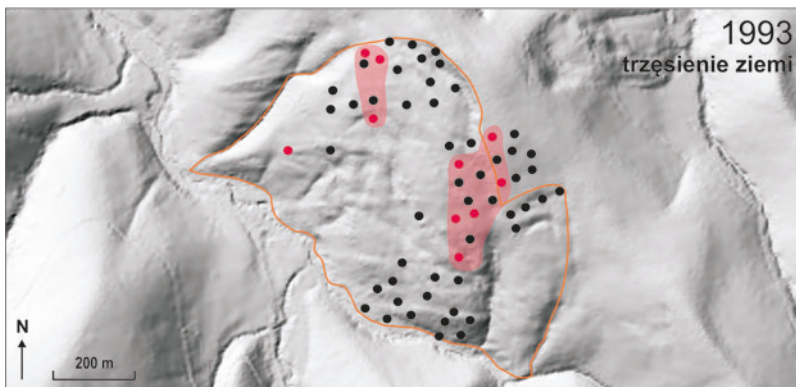
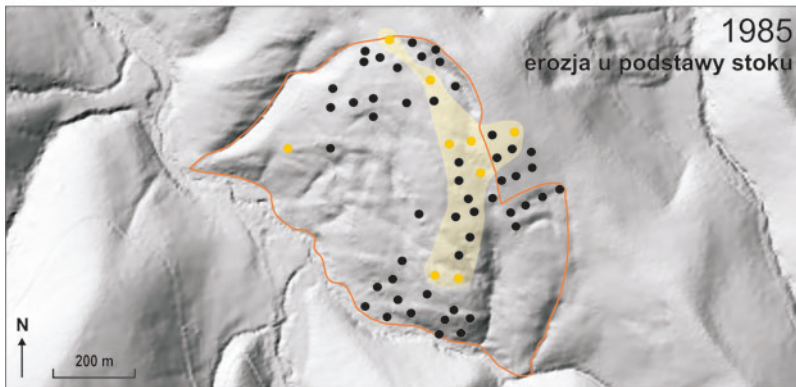
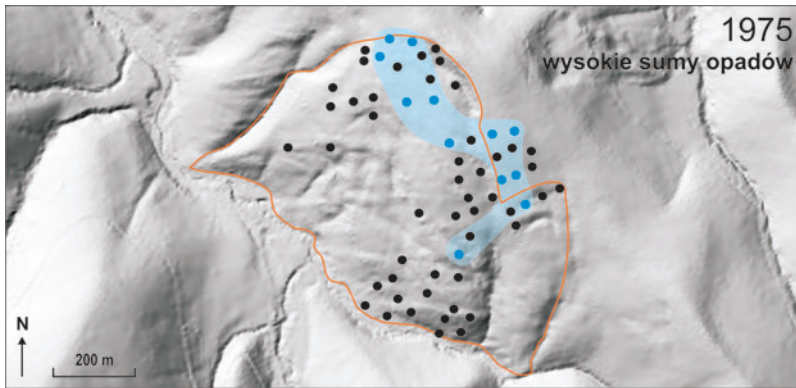
(po 5 sygnałów osuwania), 1992-1996 (6 do 12 sygnałów), 2004–2005 (5-7 sygnałów), 2007-2008 i 2010 (5-6 sygnałów osuwania) (Ryc. 3). Dodatkowo wydaje się, iż trzęsienia ziemi mogą powodować osuwanie nawet w latach odznaczających się szczególnie niskimi opadami (m.in. lata 1988 i 1992) (Ryc. 3). Również według Michałowicz i in. (2014) silne epizody osuwiskowe na obszarze polskich Karpat mogły być powodowane przez trzęsienia ziemi z lat 1995 i 2004.

### ***Przestrzenna zmienność reakcji drzew na badanym stoku podczas najsilniejszych epizodów osuwania***

W czasie wszystkich trzech epizodów najbardziej aktywna była górna część badanego osuwiska, zwłaszcza, w obrębie skarpy głównej (Ryc. 4). Strefa ta była szczególnie aktywna w związku z opadami półroczna letniego 1975 roku (znajduje się tam 9 z 12 drzew reagujących na osuwanie) (Ryc. 4). Wpływ trzęsienia ziemi z 1993 roku zaznaczył się w górnej i środkowej części osuwiska. Podobną zmienność przestrzenną reakcji drzew na osuwanie stwierdzono w przypadku roku 1985 z erozją rzeczną (Ryc. 4), pomimo że oddziaływania erozji na stabilność stoku należałoby spodziewać się przede wszystkim w jego dolnej części. Zaobserwowana sytuacja może świadczyć o tym, że na badanym stanowisku erozja w mniejszym stopniu jest czynnikiem spustowym osuwania, a stanowi raczej skutek dostawy koluwiów do koryta. Wskazuje na to dodatkowo fakt, że szczególnie silną erozję wydatowano w 1998 roku. Rok ten nie cechował się wysokimi sumami opadów (Ryc. 4), ale poprzedzony był szeregiem lat o intensywnym osuwaniu, na skutek którego zmniejszyła się szerokość koryta u podnóża osuwiska i nasilił podcinanie jego brzegów. Podobne obserwacje zależności pomiędzy występowaniem osuwania i wzbudzaną przez osuwanie erozją opisywali: Korup (2004), Lévy i in. (2012) oraz Wistuba i in. (2013b).

## **Wnioski**

- Badane osuwisko cechuje niski poziom aktywności. Ruchy masowe są najbardziej intensywne w górnych partiach stoku góry Skalka, w obrębie skarpy głównej osuwiska.
- Wyniki analizy dekoncentryczności wzrostu świerków pospolitych wskazują, że głównym czynnikiem spustowym wyzwalającym osuwanie na badanym stoku są wysokie sumy opadów półroczna letniego (kwiecień-wrzesień), jak na przykład w latach 1975, 1985 i 1997. Podobnej roli nie odgrywają opady półroczna zimowego. Dodatkowym czynnikiem spustowym na badanym stoku są trzęsienia ziemi, na przykład z lat: 1992-1993, 1982 i 2004). Wstrząsy sejsmiczne mogą wywoływać osuwanie nawet w latach o szczególnie niskich opadach, jak rok 1988 i 1992.
- Wydaje się, że w badanym przypadku erozja fluwialna u podstawy stoku nie jest czynnikiem spustowym osuwania, a jego konsekwencją związaną z dostawą koluwiów do koryta potoku.



**Ryc. 4.** Rozkład przestrzenny reakcji drzew na osuwanie podczas trzech wybranych epizodów związanych z występowaniem obfitych opadów półrocza letniego, erozji rzecznej i wstrząsów sejsmicznych  
*Fig. 4.* Spatial distribution of tree reaction to landsliding during three selected events connected to the occurrence of high precipitation totals of the summer half year, river erosion and earthquake



## Podziękowania

Badania zrealizowano w ramach projektu OPUS 2011/01/B/ST10/07096 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki. Podczas przygotowywania publikacji do druku Małgorzata Wistuba była stypendystką wspartą finansowaniem Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej (FNP) w ramach stypendium START na lata 2015-2016.

## Literatura

- Corominas J., Moya J. 2008. A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes. *Engineering Geology* 102: 193-213.
- Demek, J., Macovčín P. (red.). 1987. Hory a nížiny: zeměpisný lexikon ČSR. Academia, Praha.
- Gärtner H., Schweingruber F.H., Dikau R. 2001. Determination of erosion rates by analyzing structural changes in the growth pattern of exposed roots. *Dendrochronologia* 19: 81-91.
- Gorczyca E. 2004. Przekształcanie stoków fliszowych przez procesy masowe podczas katastrofalnych opadów (dorzecze Łososiny). Wyd. UJ.
- Guterch B. 2009. Sejsmiczność Polski w świetle danych historycznych. *Przegląd Geologiczny* 57: 513-520.
- Hess M. 1965. Piętra klimatyczne w Polskich Karpatach Zachodnich. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego. Prace Geograficzne 11.
- Incorporated Research Institutions for Seismology: [www.iris.edu/hq/](http://www.iris.edu/hq/)
- Interactive Geological Maps of the Czech Republic, 1:25 000, DVD-ROM. Czech Geological Survey, Prague.
- Korup O. 2004. Landslide-induced river channel avulsions in mountain catchments of southwest New Zealand. *Geomorphology* 63: 57-80.
- Krąpiec M., Rączkowski W., Danek M., Kłusek M., Gil E., Zabuski L. 2008. Monitoring dendrogeomorfologiczny osuwisk w Beskidzie Niskim. *Prace Komisji Paleogeografii i Czwartorzędu PAU* 6: 173-184.
- Lévy S., Jaboyedoff M., Locat J., Demers D. 2012. Erosion and channel change as factors of landslide and valley formation in Champlain Sea Clays: The Chacoura River, Quebec, Canada. *Geomorphology* 145-146: 12-18.
- Malik I., Wistuba M., Migoń P., Fajer M. 2016. Activity of slow-moving landslides recorded in eccentric tree rings of Norway spruce trees (*Picea abies* Karst.) - an example from the Kamienne Mts. (Sudetes Mts., Central Europe). *Geochronometria* 43: 24-37.
- Margielewski M., Święchowicz J., Stakrel L., Łajczak A., Pietrzak M. 2008. Współczesna ewolucja rzeźby Karpat fliszowych. W: Starkel L. (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków: 57-133.
- Michałowicz P., Malik I., Wistuba M. 2014. Dendrochronologiczny zapis niewielkich trzęsień ziemi występujących na Podhalu. *Studia i Materiały CEPL* 40: 203-210.
- 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.
- Mrozek T., Rączkowski W., Limanówka D. 2000. Recent landslides and triggering climatic conditions in Laskowa and Pleśna Regions, Polish Carpathians. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 34: 89-112.
- Pánek T., Šilhán K., Tábořík P., Hradecký J., Smolková V., Lenart J., Brázdil R., Kašíčková L., Pazduri A. 2011. Catastrophic slope failure and its origins: Case of the May 2010 Girová Mountain long-runout rockslide (Czech Republic). *Geomorphology* 130: 352-364.
- Rączkowski W., 2004. Landslide Hazard in the Carpathians during the recent 10 years. *Global Change* 10: 67-76.
- Seneta W., Dolatowski J. 2008. *Dendrologia*. PWN, Warszawa.
- Šilhán K. 2012. Dendrogeomorphological analysis of the evolution of slope processes on the flysch rocks

(Vsetínské Vrchy MTS.; Czech Republic).

- Šilhán K., Pánek T. 2014. Registrace pohybu skalných bloku dendrogeomorfologickými metodami: nový metodický příkladu lokalit v Moravskoslezských Beskydech. *Geografie* 119: 1, 50-66.
- Šilhán K., Pánek T., Hradecký J. 2012. Tree-ring analysis in the reconstruction of slope instabilities associated with earthquakes and precipitation (the Crimean Mountains, Ukraine). *Geomorphology* 173-174: 174-184.
- Štekl I., Brázdil R., Kakos V., Jež J., Tolasz R., Sokol Z. 2001. Extrémní denní stážkové úhrny na území ČR v období 1879-2000 a jejich synoptické příčiny, Národní klimatický program České republiky 31, Praha.
- Wistuba M., Malik I., Gärtner H., Kojs P., Owczarek P. 2013a. 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., Fajer M., Papciak T. 2013b. Dendrochronological record of coupling between landslides and eroding stream channel (Western Outer Carpathians, Czech Republic). *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 47.
- van Asch Th. W. J., Buma J., van Beek L. P. H. 1999. A view on some hydrological triggering systems in landslide. *Geomorphology* 30: 25-32.

**Katarzyna Łuszczynska\*, Małgorzata Wistuba, Ireneusz Malik**

Uniwersytet Śląski w Katowicach, Katedra Rekonstrukcji Środowiska Geograficznego

\*katarzyna\_luszczynska@o2.pl