

Zastosowanie dekoncentryczności przyrostów rocznych w badaniach stoku o wysokim zagrożeniu osuwiskowym (Milówka, Beskid Żywiecki)

Małgorzata Wistuba, Ireneusz Malik, Marta Polowy, Patrycja Michałowicz

Abstrakt. Przeanalizowano dekoncentryczność przyrostów świerków pospolitych rosnących na osuwisku uruchomionym we wrześniu 2010 roku. W 2012 roku na tym obszarze pobrano 44 rdzenie z 22 świerków (2 z każdego drzewa: odstokowy i dostokowy). W opróbowanych drzewach zapisało się nie tylko katastrofalne osuwanie z 2010 roku, ale także: (1) oznaki epizodów osuwania w ciągu ostatnich 70 lat, (2) wysoka średnia częstość osuwania w latach 1945–2010 (3/20 lat w przypadku epizodów obejmujących >30% opróbowanych drzew), (3) oznaki niestabilności stoku w ciągu kilku lat poprzedzających katastrofę, nasilające się szczególnie od 2002 roku (ruchy przygotowawcze). Zatem badania dekoncentryczności wydają się obiecującą metodą wykrywania stoków o wysokim zagrożeniu osuwiskowym oraz potencjalnie zagrożonych katastrofalnymi ruchami masowymi.

Słowa kluczowe: katastrofalne osuwanie, dekoncentryczność przyrostów rocznych, świerk pospolity, Karpaty Zachodnie

Abstract. Application of tree-ring eccentricity in studies of a slope with high landslide hazard (Milówka village, Beskid Żywiecki Mts). We have studied tree-ring eccentricity among Norway spruce growing on a landslide activated in September 2010. In 2012 we have taken 44 cores from 22 spruce trees in the area (2 from each tree: upslope and downslope). In sampled trees not only the heavy landsliding in 2010 was recorded, but also: (1) symptoms of landslide events during the last 70 years, (2) high average frequency of landslide events in 1945–2010 (3/20 years in case of events affecting >30% of sampled trees), (3) symptoms of slope instability during several years before catastrophe, increasing especially since 2002 (preparatory processes). Thus eccentricity analysis may be promising approach for detecting slopes with high landslide hazard and potentially threatened by catastrophic mass movements.

Key words: landslide catastrophe, eccentricity of tree rings, Norway spruce, Western Carpathians

Wprowadzenie

W ciągu ostatnich 20 lat w Zachodnich Karpatach Zewnętrznych ekstremalne zdarzenia osuwiskowe zagrażające ludziom i infrastrukturze miały miejsce kilkakrotnie, w latach: 1997, 1998, 2000, 2001, 2006, 2010 (Bajgier-Kowalska 2004–2005). W czasie najbardziej

katastrofalnego zdarzenia osuwiskowego z roku 1997 na skutek ekstremalnych letnich opadów i powodzi w Karpatach Polskich doszło do przekroczenia opadowych wartości progowych i uruchomione zostało ponad 20 tys. osuwisk. Także opady deszczu w lipcu 2001 roku sprawiły, że wiele osuwisk uaktywniło się. Zaledwie jedno spośród nich: osuwisko w Lachowicach (Beskid Makowski), które objęło powierzchnię 15 ha, zniszczyło wówczas drogę dojazdową do osiedla (Bajgier-Kowalska 2004–2005) i 12 budynków, a 38 kolejnych znalazło się w strefie dużego zagrożenia (Kaczmarczyk i in. 2012). Aktywacja ruchów osuwiskowych nastąpiła również na wiosnę 2002 roku, w związku z gwałtownym topnieniem śniegu oraz w lecie tego roku w związku z katastrofalnymi opadami w południowej części Beskidu Sądeckiego i Średniego (Kaczmarczyk i in. 2012).



Ryc. 1. Badany stok góry Prusów z osuwiskiem uruchomionym w 2010 roku: widoczne zabudowania zagrożone przez osuwanie oraz drzewa pochylone przez ruch stoku. W pniach pochylonych dostokowo wykształcana jest dekoncentryczność dostokowa, a w pniach pochylanych odstokowo – dekoncentryczność odstokowa

Fig. 1. Studied slope of the Prusów Mt with landslide activated in 2010: with buildings threatened by landsliding and trees tilted due to slope movement. In stems tilted upslope – upslope eccentricity develop, and in stems tilted downslope – downslope eccentricity develop

Ostatnia katastrofa osuwiskowa była spowodowana długotrwałymi opadami maja–czerwca i września 2010 roku. Opady objęły rozległy obszar Karpat w Polsce, Czechach i Słowacji (Pánek i in. 2011). Skala osuwania była znaczna: łącznie w 2010 roku, na niewielkim obszarze czeskiej części Karpat aktywnych było 189 osuwisk, a we wschodniej części Słowacji

551 (Baroń i in. 2011). Przykład jednego z uruchomionych wówczas osuwisk został opisany w Czechach, na stokach Girovéj, gdzie 19 maja 2010 roku w wyniku ulewnych opadów grunt przemieścił się o 75–253 m w ciągu kilku godzin (Baroń i in. 2011). Największe zniszczenia wystąpiły jednak w polskiej części Karpat, gdzie aktywnych było 1 345 osuwisk, uszkodzonych zostało 1 709 budynków (w tym 560 zupełnie zniszczonych; dane wg oceny Głównego Urzędu Nadzoru Budowlanego, stan na 17 czerwca 2010 r.). W sumie straty wyniosły około 2,9 mld euro w budynkach i infrastrukturze (dane MSWiA za maj–czerwiec 2010 r.; Forowicz 2010).

Przytoczone dane dowodzą, że osuwiska stanowią znaczący problem ekonomiczny i społeczny o zasięgu ponadregionalnym, wykraczającym w przypadku Karpat także poza granice Polski. Objęte osuwaniem stoki górskie są często zalesione całkowicie, częściowo lub występują na nich przynajmniej pojedyncze drzewa (w przypadku stoków zabudowanych, gdzie generowane są największe straty materialne). Przebieg osuwania zapisuje się rok po roku w ich przyrostach rocznych (np.: Braam i in. 1987; Lang i in. 1999), między innymi poprzez dekoncentryczność wzrostu (np. Krąpiec i Margielewski 2000; ryc. 1).

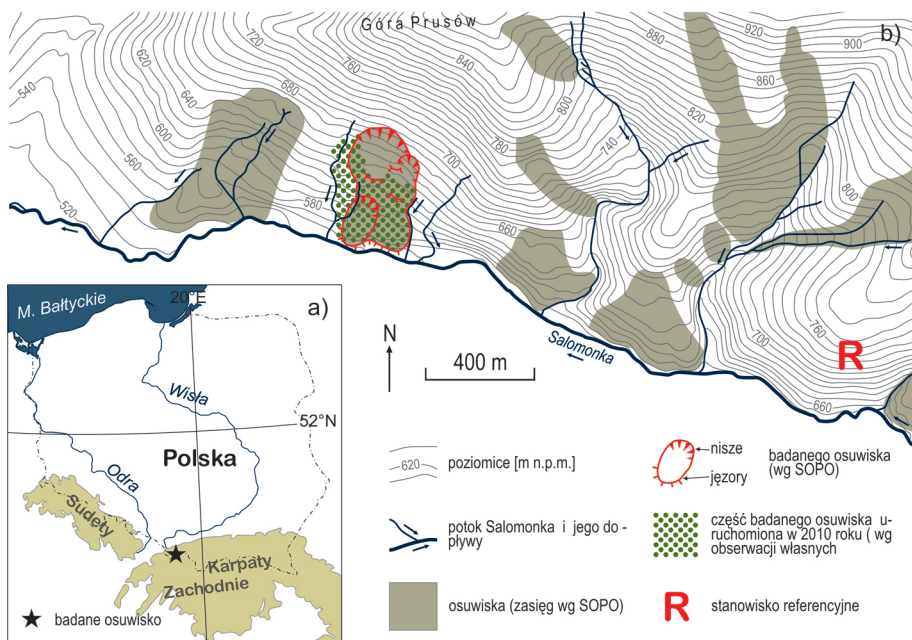
W związku z powyższym podjęto badania nad zapisem dendrochronologicznym aktywności osuwiska na górze Prusów w Milówce (Beskid Żywiecki) uruchomionego w 2010 roku. Celem prac było: (a) określenie przebiegu dekoncentryczności przyrostów na stoku objętym katastrofą osuwiskową zarówno przed, jak i po epizodzie oraz (b) sprawdzenie aplikacyjnego potencjału analizy dekoncentryczności przyrostów rocznych drzew w wykrywaniu stoków o wysokiej aktywności osuwiskowej stwarzających potencjalnie zagrożenie dla ludzi i infrastruktury. Badane stanowisko to jeden z najbardziej spektakularnych przykładów osuwisk uruchomionych w 2010 roku.

Stanowisko badawcze

Badania prowadzono w obrębie osuwiska na południowym stoku góry Prusów (1010,2 m n.p.m.) w Beskidzie Żywieckim (Karpaty Zachodnie; ryc. 2a). Osuwisko znajduje się na prawym zboczu doliny potoku Salomonka (dopływ Soły, dorzecze Wisły) na wysokości 560–690 m n.p.m. i schodzi do koryta potoku (ryc. 2b). Podłoże obszaru badań buduje flisz karpacki – twory płaszczowiny magurskiej (Stupnicka 1989). Roczna suma opadów w pobliskiej stacji opadowej w Żabnicy (550 m n.p.m., około 4,5 km na północ od badanego osuwiska) wynosi 1136 mm. Niemal połowa (48,5%) opadów rocznych przypada na miesiące od maja do sierpnia. Wysokie sumy opadów występujące szczególnie latem oraz budowa geologiczna (skały fliszowe w podłożu, często pod pokrywą miąższych osadów stokowych i zwietrzelin) są głównymi czynnikami warunkującymi występowanie osuwisk w analizowanym obszarze (Krąpiec i Margielewski 2000).

Badane stanowisko leży w obrębie piętra regla dolnego, gdzie naturalnym zbiorowiskiem leśnym są lasy dolnoreglowe z bukiem zwyczajnym (*Fagus sylvatica* L.) i jodłą pospolitą (*Abies alba* Mill., Seneta i Dolatowski 2008), jednak współcześnie stanowisko jest w dolnej części wylesione i częściowo zabudowane. Występują tam pojedyncze świerki pospolite (*Picea abies* Karst.; ryc. 1). Górną część stanowiska porastają lasy liściaste i młode monokultury świerkowe.

Badane osuwisko jest formą niewielką, o długości 480 m i szerokości 300 m (ryc. 2b). Posiada wyraźną skarpe główną, w jej obrębie mniejszą skarpe wtórną oraz skarpe wtórną w środkowej części jezora (zasięg osuwiska wg bazy SOPO: osuwiska.pgi.gov.pl). Badane osuwisko zostało uruchomione we wrześniu 2010 r. w wyniku ulewnych opadów o sumach dobowych sięgających 200 mm, trwających kilka dni.



Ryc. 2. Położenie badanego osuwiska: a) w Karpatach Zachodnich, w Polsce południowej, b) w dolinie potoku Salomonka na jej prawym, północnym zboczu
Fig. 2. Location of the studied landslide a) in Western Carpathians, southern Poland, b) in the valley of Salomonka stream, on its right, northern side

Przemieszczenia gruntu objęły wówczas powierzchnię 12 ha, a średnia prędkość ruchu podłoża wynosiła 2 cm/1 godz. W wyniku osuwania pod koluwiami pogrzebana została droga, dolina potoku Salomonka została zatamowana, a koryto zmieniło bieg. Zniszczonych zostało 9 budynków, konieczna była odbudowa drogi (odcinek długości 0,5 km), 2 mostów oraz sieci elektrycznej. Prace związane z samym zabezpieczeniem obszaru bezpośrednio po katastrofie kosztowały 3,2 mln złotych (za: Dziennik Zachodni, 14. 04. 2011).

Metody badawcze – analiza aktywności osuwiska z zastosowaniem dekoncentryczności przyrostów rocznych

W 2012 roku opróbowano 22 drzewa rosnące na stoku osuwiskowym uruchomionym w 2010 roku (ryc. 5). Z każdego pobrano dwa rdzenie (od- i dostokowy) przy pomocy świda Presslera (średnica 4 mm). Pary rdzeni pobierano na wysokości pierśnicy, w jednej osi zgodnej z lokalnym 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 (ryc. 1). Wszystkie próby pobrano ze świerków pospolitych (*Picea abies* Karst.). Próby pobierano na całej powierzchni osuwiska w obrębie wtórnych jeziorów i skarp osuwiskowych oraz wzdłuż bocznych krawędzi osuwiska (ryc. 5). Opróbowano wszystkie

drzewa dostępne na powierzchni osuwiska, pomijając jedynie osobniki bardzo młode oraz posiadające rany i deformacje pni oraz ubytki aparatu asymilacyjnego.

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 (Wistuba i in. 2013; ryc. 3):

$$Ex = Ux - Dx; \quad [1]$$

gdym $Ex > 0$: dekoncentryczność dostokowa;

gdym $Ex = 0$: brak dekoncentryczności;

gdym $Ex < 0$: dekoncentryczność odstokowa;

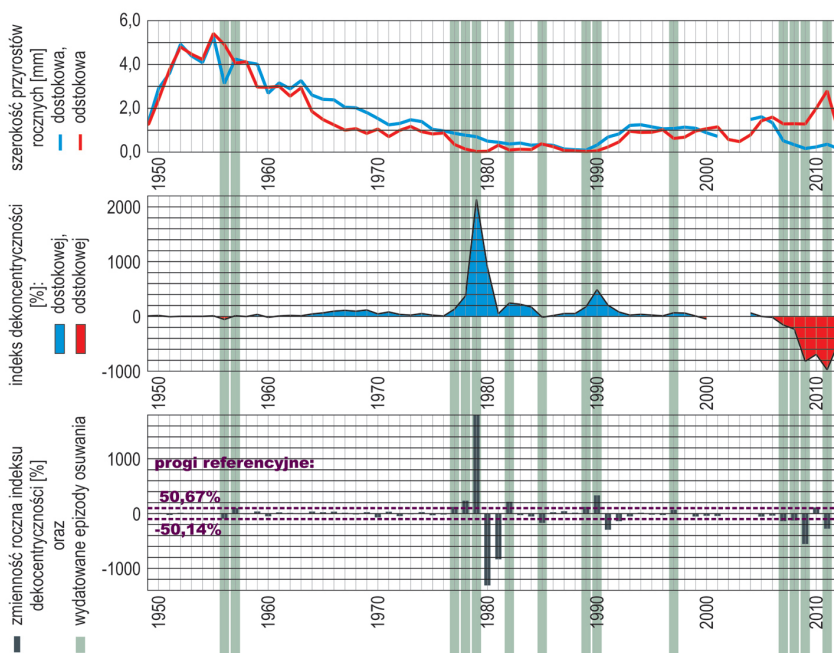
$$Eix = (Ex / Dx) \times 100\% > 0; \quad [2a]$$

$$Eix = Ex \text{ [mm]} = 0; \quad [2b]$$

$$Eix = (Ex / Ux) \times 100\% < 0; \quad [2c]$$

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

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).



Ryc. 3. 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

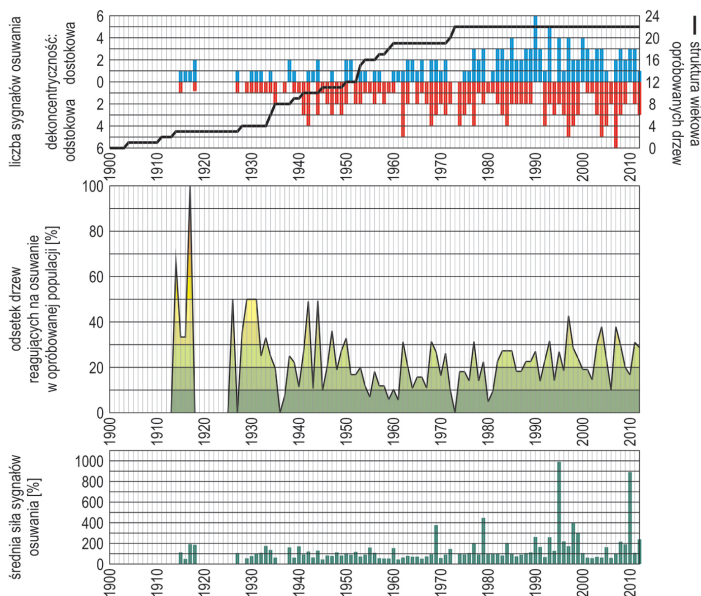
Fig. 3. Dating of landsliding recorded in stem of a single Norway spruce from the studied slope: tree ring widths [mm] transformed into eccentricity index [%], its yearly variation [%] and dating performed using reference thresholds

Datowanie epizodów osuwania stoku wykonano w oparciu o wskaźnik rocznej zmienności indeksu oraz wartości progowe zmienności obliczone dla stanowiska referencyjnego. Stanowisko referencyjne zlokalizowano, opierając się na obserwacjach własnych (brak rzeźby osuwiskowej, brak deformacji pni drzew diagnostycznych dla ruchu podłoża) oraz danych systemu SOPO (brak wyznaczonego osuwiska). Na ich podstawie stok uznano za potencjalnie stabilny. Jest on położony możliwie jak najbliższe badanego osuwiska (w Milówce: około 2 km na południowy wschód; ryc. 2b), o podobnej wysokości bezwzględnej, ekspozycji, nachyleniu i budowie geologicznej. 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 Wistuby i in. (2013).

Wyniki i dyskusja

Czasowa i przestrzenna zmienność aktywności osuwiska w latach 1945–2012

Przyrosty roczne opróbowanych drzew rosnących na stoku góry Prusów obejmowały lata 1903–2012 (czas życia opróbowanych drzew; ryc. 4). W analizie pod uwagę wzięto okres 1945–2012, dla którego dostępne są dane z co najmniej połowy opróbowanych drzew (12 i więcej

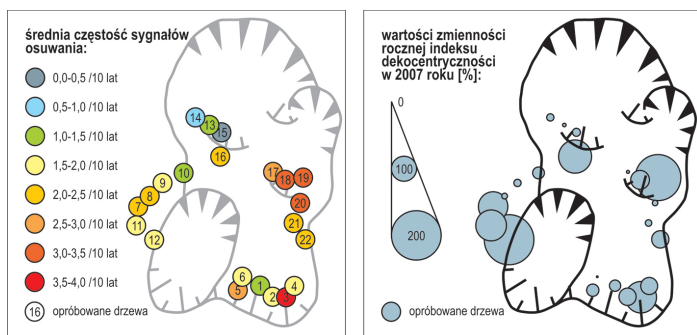


Ryc. 4. Wyniki datowań dendrochronologicznych aktywności osuwiska na górze Prusów zarejestrowanej poprzez dekoncentryczność przyrostów świerków pospolitych

Fig. 4. Results of dendrochronological dating of landslide activity on Mt Prusów recorded in tree-ring eccentricity among Norway spruce

osobników), w tym 65-letni okres poprzedzający katastrofę osuwiskową z 2010 roku. Wykryto silne epizody aktywności stoku w latach: 1947, 1950, 1962, 1968, 1977, 1993, 1997, 2004, 2007, 2008, gdy ponad 30% opróbowanych drzew zarejestrowało sygnały aktywności osuwiskowej (ryc. 4). Podobnie Krąpiec i Margielewski (2000) oraz Krąpiec i in. (2008) w innych częściach Karpat udokumentowali dendrochronologicznie aktywność osuwisk w latach: 1977, 1993, 1997. W badanym okresie silne epizody osuwania występowały średnio 3 razy na 20 lat. Z podobną częstością występowały epizody słabsze obejmujące 25–30% drzew opróbowanych na badanym stoku. Najbardziej znaczący epizod aktywności badanego osuwiska, zarejestrowany przez 42,9% drzew, miał miejsce w 1997 roku w związku z katastrofalnymi opadami letnimi. Wyraźne sygnały aktywności osuwiskowej sprzed 2010 roku widoczne są też w sekwencjach szerokości przyrostów i indeksu dekoncentryczności pojedynczych drzew (np. ryc. 3). Przebieg krzywych wskazuje, że w minionych dekadach niektóre z opróbowanych drzew były poddawane osuwaniu nawet silniejszym niż w czasie zdarzenia ekstremalnego z 2010 roku (np. wartość indeksu ponad 2000% w 1979 roku, ryc. 3).

Przeanalizowano także przestrzenną zmienność częstotliwości sygnałów osuwania, biorąc pod uwagę zmienność indeksu dekoncentryczności w poszczególnych opróbowanych drzewach (ryc. 5). Wyniki wskazują, że najbardziej aktywna w ostatnich 70 latach była wschodnia część osuwiska, szczególnie niewielki pakiet osuwiskowy w obrębie głównego jezora. Wysoką aktywność podłoża zarejestrowały także pojedyncze drzewa w dolnej części głównego jezora osuwiska, a umiarkowaną aktywność osuwiskową zarejestrowały drzewa wzdłuż zachodniej krawędzi jezora oraz tuż poza nią. Najmniejszą średnią aktywność wykazał obszar, który nie został także uruchomiony w 2010 roku (niewielki wtórny pakiet osuwiskowy poniżej skarpy głównej – porównaj ryc. 2 i 5).



Ryc. 5. Rozkład przestrzenny wskaźników aktywności osuwiskowej badanego stanowiska w całym analizowanym okresie oraz wybranym roku 2007 (3 lata przed katastrofą)

Fig. 5. Spatial distribution of the landslide activity indicators on the study site during whole studied period and in selected year 2007 (3 years before the catastrophe)

Zapis dendrochronologiczny katastrofalnego osuwania z września 2010 roku oraz wcześniejszych ruchów przygotowawczych

Procent drzew zapisujących osuwanie w 2010 roku jest stosunkowo nieduży (16,7%: ryc. 4). Przyczyną jest uruchomienie osuwiska we wrześniu, pod koniec sezonu wegetacyjnego. W związku z tym reakcja wzrostowa drzew została opóźniona do wiosny roku następnego

(podobne sytuacje zaobserwowali: Krąpiec i in. 2008 w Beskidzie Niskim). W 2011 roku sygnał osuwania zarejestrowało 31,3% opróbowanych drzew (ryc. 4). Dość wysoki odsetek drzew rejestrujących ruch podłoża utrzymywał się także 2 lata po katastrofie (2012: ryc. 4).

Przeanalizowano także zapis dendrochronologiczny w latach poprzedzających katastrofę z roku 2010 w celu wykrycia ewentualnych sygnałów o ruchach przygotowawczych na stoku. Analizowano średnią siłę wydatowanych sygnałów osuwania (średnią wartość zmienności indeksu w sygnałach z poszczególnych lat – ryc. 4), która w analizowanym okresie wzrastała od wartości około 100% w latach 40–60 XX wieku, by osiągać nawet 900–1000% w latach 1995, 2010 (epizod drugi pod względem siły sygnałów) czy 300–400% w latach 1969, 1979, 1990, 1993, 1998 i 1999. Może to sugerować, że w ciągu 65 lat poprzedzających katastrofę w 2010 roku dynamika ruchu osuwiska wzrastała i rosło zagrożenie osuwaniem.

Na wykresach wartości indeksu dekoncentryczności dla pojedynczych drzew stwierdzono, że dekoncentryczność gwałtownie nasila się już kilka lat przed katastrofą z roku 2010. Na przykładzie z ryciny 3 wzrost ten jest widoczny z trzyletnim wyprzedzeniem. W przypadku innych drzew zdecydowane nasilenie dekoncentryczności rozpoczęło się nawet 8 lat przed katastrofą.

Podobnie jak w przypadku frekwencji sygnałów osuwania w poszczególnych opróbowanych drzewach, także rozkład przestrzenny siły reakcji pojedynczych drzew na ruch podłoża 3 lata przed ekstremalnym osunięciem (w 2007 roku, ryc. 5 – porównaj z ryc. 2) wykazuje zbieżność z zasięgiem osuwania w 2010 roku, co może oddawać zasięg ruchów przygotowawczych przed katastrofą.

Wnioski

- Badania dendrochronologiczne dowodzą wysokiego poziomu aktywności osuwiska na górze Prusów, a pośrednio wysokiego poziomu zagrożenia osuwiskowego.
- Uzyskane dane dla całej populacji opróbowanych drzew wskazują, że w ostatnich dziesięcioleciach aktywność osuwiska stopniowo narastała. W przyrostach pojedynczych drzew wyraźne są sygnały o niestabilności badanego stoku nasilającej się kilka lat przed katastrofą z 2010 roku.
- Poziom zagrożenia osuwaniem jest przestrzennie zróżnicowany nawet w obrębie pojedynczego stoku, a analizy dendrochronologiczne pozwoliły wykryć obszary najbardziej aktywne i najbardziej narażone na katastrofalne osuwanie.
- Metody dendrochronologiczne pozwalają nie tylko na rekonstrukcję przebiegu osuwania w przeszłości, mogą też znaleźć zastosowanie praktyczne w wykrywaniu i analizie stoków szczególnie narażonych na uaktywnienie osuwania na skalę katastrofalną.
- Przeprowadzone z wyprzedzeniem analizy dendrochronologiczne pozwoliłyby na uwzględnienie powyższych informacji w planach zagospodarowania przestrzennego i strategii rozwoju gminy Milówka.

Podziękowania

Badania sfinansowano ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach projektu badawczego PRELUDIUM nr 2011/03/N/ST10/05576.

Literatura

- Bajgier-Kowalska M. 2004–2005. Rola gospodarczej działalności człowieka w powstawaniu i odmlądzeniu osuwisk w Karpatach fliszowych. *Folia Geographica, Series Geographica-Physica*, 35–36: 11–30.
- 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 (3): 355–361.
- Braam R.R., Weiss E.E.J., Burrough, P.A. 1987. Spatial and temporal analysis of mass movement using dendrochronology. *Catena*, 9: 573–584.
- Forowicz K. 2010. Osuwiska – żywioł którego nic nie zatrzyma. *Środowisko*, 423–424: 18–20.
- Kaczmarczyk R., Tchórzewska S., Woźniak H. 2012. Charakterystyka wybranych osuwisk z terenu Polski południowej uaktywnionych po okresie intensywnych opadów w 2010 r. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 43: 74–77.
- Krąpiec M., Danek M., Gil E., Kłusek M., Rączkowski W., Zabuski L. 2008. Monitoring dendrogeomorfologiczny osuwisk w Beskidzie Niskim. *Prace Komisji Paleogeografii Czwartorzędu PAU*, 6: 173–184.
- Krąpiec M., Margielewski W. 2000. Analiza dendrogeomorfologiczna ruchów masowych na obszarze polskich Karpat fliszowych. *Kwartalnik AGH, Geologia*, 26, 2: 141–171.
- Lang A., Moya J., Corominas J., Schrott L., Dikau R. 1999. Classic and new dating methods for assessing the temporal occurrence of mass movements. *Geomorphology*, 30: 33–52.
- Pánek T., Brázdil R., Klimeš J., Smolková V., Hradecký J., Zahradníček P. 2011. Rainfall-induced landslide event of May 2010 in the eastern part of the Czech Republic. *Landslides*, 8 (4): 507–516.
- Seneta W., Dolatowski J. 2008. *Dendrologia*. PWN, Warszawa.
- Stupnicka E. 1989. *Geologia regionalna Polski*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- 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.

Malgorzata Wistuba, Ireneusz Malik, Marta Polowy, Patrycja Michalowicz

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi

malgorzatawistuba@gazeta.pl

irekgeo@wp.pl

mpolowy@us.edu.pl

michalowicz.patrycja@gmail.com