

Zastosowanie dekoncentryczności przyrostów rocznych świerka pospolitego (*Picea abies* Karst.) w analizie dynamiki osuwiska — przykład z masywu Hrubého Jeseníka (Sudety Wschodnie)

Małgorzata Wistuba, Ireneusz Malik, Holger Gärtner, Paweł Kojs, Marek Krąpiec

Abstrakt. Celem badań było zweryfikowanie przydatności dekoncentryczności przyrostu radialnego drzew oraz opracowanych wskaźników (indeks procentowy) w analizie ruchów osuwiskowych na przykładzie osuwiska Keprnický (Hrubý Jeseník, Sudety Wschodnie, Republika Czeska). Na badanym osuwisku próby pobrano z 42 drzew, a na pobliskim stoku referencyjnym z 12 drzew (1 km od osuwiska, podobna ekspozycja, nachylenie, wysokość n.p.m. i budowa geologiczna). Najstarszy sygnał ruchu stoku wydatowano na rok 1836. W okresie 1836-2010 w opróbowanych drzewach łącznie wydatowano 697 sygnałów osuwania, które skupiają się głównie w latach: 1918-1944 (maks.: 1934-1939) oraz 1958-2001 (maks.: 1971-1999). Wyniki dendrochronologiczne porównano z miesięcznymi sumami opadów czerwca-września w pobliskich stacjach opadowych (1959-2008). Badania potwierdziły przydatność analiz dekoncentryczności wzrostu świerków pospolitych w określaniu czasowej zmienności aktywności ruchów masowych. Potwierdzono występowanie na badanym stoku osuwania zarówno podczas długotrwałych, rozlewnych opadów (np. w latach 1997-1999), jak i na skutek gwałtownych ulew (np. 1971, 1991).

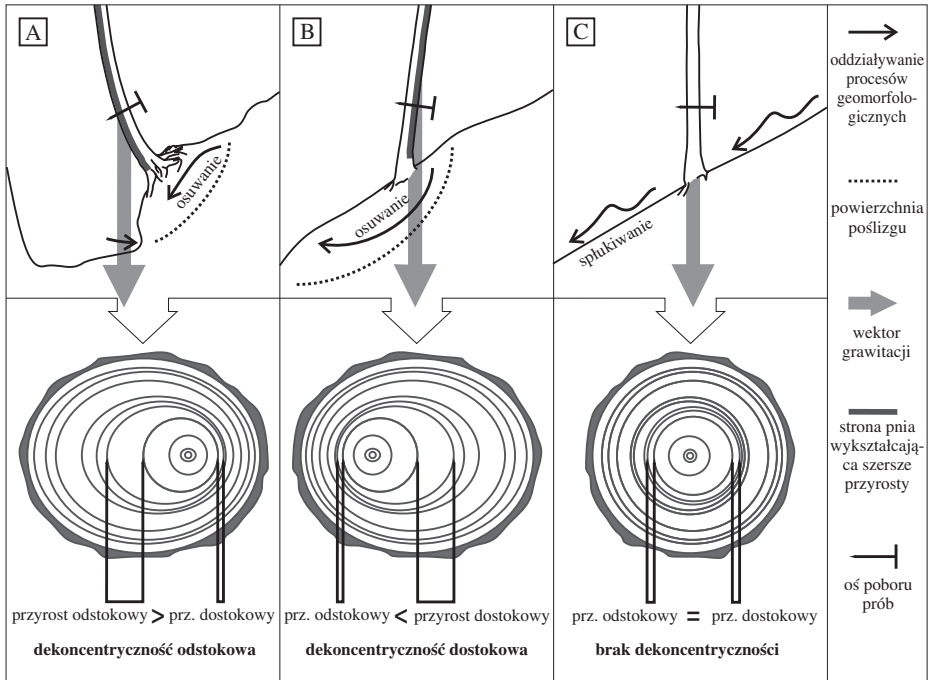
Słowa kluczowe: dekoncentryczność wzrostu, dendrogeomorfologia, osuwiska, świerk pospolity, Sudety Wschodnie

Abstract. The aim of the study was to verify the usefulness of tree-growth eccentricity and indicators prepared for its analyses of eccentricity (percent index and its intraannual variation) in studies on landslide movements, on the example of Keprnický landslide (Hrubý Jeseník, Eastern Sudetes, Czech Republic). On the studied landslide we have sampled 42 trees, and on a nearby reference slope - 12 trees (1 km away, similar aspect, slope, elevation a.s.l. and geological composition). The oldest landsliding event was dated to 1836. In the period 1836-2010 in sampled trees we have dated a total of 697 signals of landsliding, which concentrate mainly in years: 1918-1944 (max.: 1934-1939) and 1958-2001 (max.: 1971-1999). Dendrochronological results were compared with monthly precipitation totals of June-September on nearby gauging stations (1959-2008). Studies have confirmed the usefulness of eccentricity analyses of spruce growth in determining the temporal pattern of mass-movement activity. We found out that the occurrence of landsliding on studied slope both during long-term, extensive rainfalls (e.g. in 1997-1999) and as a result of abrupt, torrential downpours (e.g. 1971, 1991).

Key words: growth eccentricity, dendrogeomorphology, landslides, Norway spruce, Eastern Sudetes

Wstęp

Pnie drzew porastających osuwiska są często pochylone lub wygięte (Ryc. 1. A-B, Alestalto 1971; Shroder 1980; Braam 1978; Wistuba, Malik 2011) na skutek oddziaływania ruchów masowych. Zaburzeniom zewnętrznym odpowiadają zmiany w anatomii drewna: np. dekoncentryczność wzrostu (Shroder 1980; Butler 1987).



Ryc. 1. Deformacje zewnętrzne i zmiany anatomii drewna świerków pospolitych porastających stoki osuwiskowe: pień pochylany odstokowo (A) i dostokowo (B), oraz przykład świerka rosnącego na stoku stabilnym: pień prosty (C)

Fig. 1. External and internal deformations of wood anatomy in Norway spruce trees growing on landslide slopes: stem tilted downslope (A) and upslope (B), an example of spruce growing on stable slope - straight vertical stem (C)

Każdy przyrost roczny wykazujący dekoncentryczność, a także towarzyszące mu drewno reakcyjne, dostarcza informacji o stresie środowiskowym wpływającym na wzrost drzewa w odpowiednim roku. Przebieg osuwania w terenach zalesionych jest zapisywany rok po roku, przez cały okres życia drzew. Jest to zaletą metody dendrogeomorfologicznej w porównaniu z innymi sposobami analizy dynamiki osuwisk, co potwierdzają przykłady dotychczasowych badań (Shroder 1978; Braam et al. 1987; Schweingruber 1996; Corominas, Moya 2010; Fantucci, Sorriso-Valvo 1999; Krapić, Margielewski 2000; Gers et al. 2001).

Dekoncentryczność wzrostu to tendencja drzewa do wykształcania szerszych przyrostów rocznych po jednej stronie pnia (Ryc. 1). Występuje gdy intensywność wzrostu w obwodzie pnia jest nierównomierna. Za przyczynę wykształcania dekoncentryczności uznaje się oddziaływanie niewielkiego stresu mechanicznego w pochylonym pniu, gdzie oddziaływanie grawitacji ziemskiej

powoduje wzmóŜony wzrost jego Źcisckanej, dolnej częœci u drzew iglastych (np. Źwierka pospolitego — Ryc. 1), a rozciąganej, górnej częœci u drzew liœciastych (Timell 1986; Schweingruber 2007). Dekoncentrycznoœć moŹe byæ powodowana oddziaływaniem róŹnych czynników (np. wiatru, geomorfologicznych ruchów masowych, pełzania Źniegu, kształtu systemu korzeniowego, kształtu korony (Schweingruber 1996; Krzysik 1974; Wade, Wendel-Hewson 1979)).

MoŹliwoœć zastosowania dekoncentrycznoœci w badaniach geomorfologicznych odnotowali Malik i Ciszewski (2008) dla erozji fluwialnej, Hupp (1986) i Vanderkerckhove et al. (2001) dla erozji wáwozowej oraz Koprowski et al. (2010) dla migracji wydm nadmorskich. Zjawisko pochylenia drzew na aktywnych geomorfologicznie stokach i ich wyginania pod wpływem grawitacyjnych ruchów masowych, takich jak pełzanie, osuwanie, zaobserwowali m.in. Braam et al. (1987), Schweingruber (1996), Corominas i Moya (2010), Fantucci i Sorriso-Valvo (1999) oraz Krápiec i Margielewski (2000). Braam et al. (1987) zaproponowali takŹe sposób obliczania wskaŹników dekoncentrycznoœci. Próbę usystematyzowania zastosowania dekoncentrycznoœci podjęli Casteller et al. (2008) w badaniach lawin ŹnieŹnych, opierajá siê na indeksie opracowanym przez Schweingruber (1996) do badañ pełzania pokrywy ŹnieŹnej. Inná metodê obliczeniowá zastosował Burkhalter do studiów adaptacji drzew do wpłwu wiatru (*vide* Schweingruber 1996).

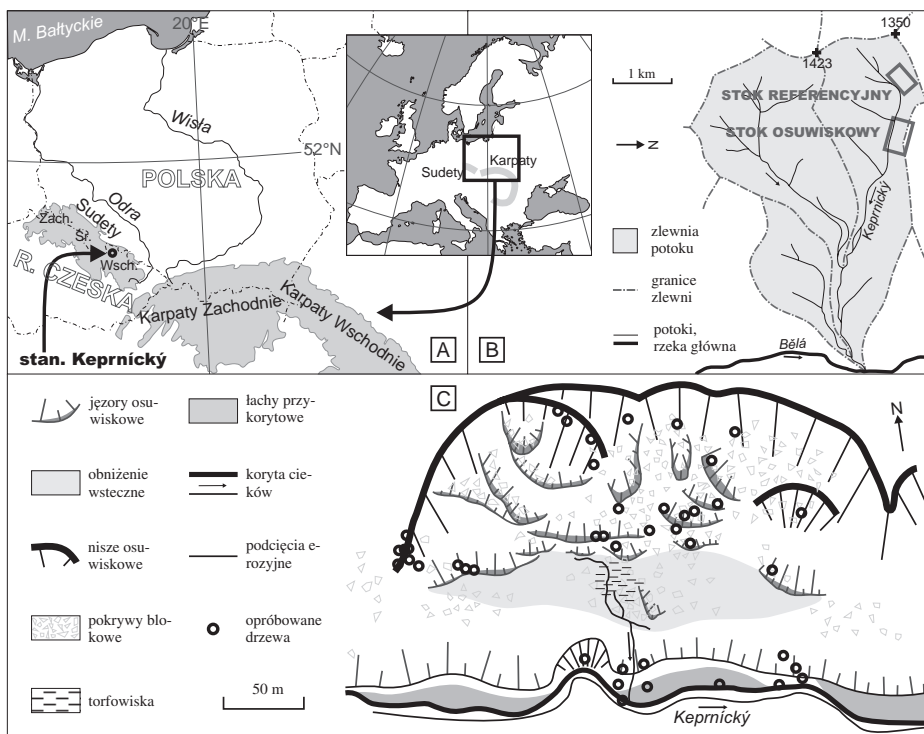
Źadna z wymienionych matematycznych metod analizy dekoncentrycznoœci nie znajduje zastosowania w dendrogeomorfologicznych badaniach osuwisk, gdyŹ: (1) nie pozwalajá one rozróŹniaæ kierunku pochylenia i wykształcania dekoncentrycznoœci (do- lub odstokowego) lub porównywaæ skali dekoncentrycznoœci do- i odstokowej, (2) zawierajá skomplikowane procedury statystyczne - niedostosowane do potrzeb geomorfologii, (3) nie uwzględniajá porównania wyników z osuwisk ze stabilnymi stokami referencyjnymi.

W celu skuteczneŹo zastosowania dekoncentrycznoœci w datowaniu osuwisk opracowano metodê analizy dekoncentrycznoœci przyrostów rocznych (Wistuba, Malik 2011). Celem przedstawionych w artykule badañ była ocena aktywnoœci osuwiska Keprnický na podstawie analizy dekoncentrycznoœci przyrostów porastajácych je drzew - Źwierków pospolitych oraz opracowanych dla dekoncentrycznoœci wskaŹników (procentowy indeks i jego zmiennoœć roczna) w analizie ruchów osuwiskowych na przykłádzie osuwiska Keprnický. Artykuł ma na celu zaprezentowanie moŹliwoœci szerszeŹo zastosowania dekoncentrycznoœci przyrostów w dendrogeomorfologii.

Material i metody

Badania prowadzono w Źredniogórskim masywie HrubéŹo Jesenika, w Sudetach Wschodnich (Republika Czeska, Ryc. 2. A). Badane stoki znajdujá siê w masywie Keprnická-Źeraka (1423-1351 m n.p.m.), w dolinie potoku Keprnický, gdzie w podłoŹu występujá skały metamorficzne (łupki i gnejsy). W najwyŹszych partiach masywu HrubéŹo Jesenika, gdzie prowadzono badania, Źrednia roczna suma opadów przekracza lokalnie 1500 mm, a połowa opadów występuje latem. Intensywnoœć opadów moŹe siêgaæ 220 mm na dobę, a lokalnie nawet 260-300 mm na 5-12 godzin (Źtekl et al. 2001). W ostatnich 500 latach ekstremalne epizody opadowe spowodowały wystápienie wezbrañ o skali lokalnej i regionalnej (15 wezbrañ tylko w XX wieku; Polách, Gába 1998).

W analizie porównawczej wyników dendrochronologicznych z danymi opadowymi wykorzystano miesiêczne sumy opadów ze stacji opadowych Heřmanovice i Rejvíz, połoŹonych w pobliŹu badanego osuwiska (oddalonych odpowiednio o 17 i 15 km). Źrednia roczna suma opadów na tych stacjach, dla okresu 1961-2000 wynosi odpowiednio 921 mm i 1025 mm (dane: Czeski Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny). Badane stoki naleŹá do piętra regła dolnego, gdzie naturalnym zbiorowiskiem leŹnym sá lasy bukowe z bukiem zwyczajnym (*Fagus sylvatica* L.) i jodłá pospolitá (*Abies alba* Mill., Seneta, Dolatowski 2008), jednak współcześnie stanowisko porastajá monokultury Źwierka pospoliteŹo (*Picea abies* Karst.).



Ryc. 2. Lokalizacja stanowiska Keprnický w Sudetach Wschodnich (A), w zlewni potoku Keprnický (B). Rzeźba badanego osuwiska wraz z lokalizacją opróbowanych drzew (C)

Fig. 2. Location of Keprnický site in Eastern Sudetes (A), in the catchment of Keprnický stream (B). Relief of studied landslide with the location of sampled trees (C)

Stok osuwiskowy i referencyjny

Stanowisko jest częścią stoku osuwiskowego położonego w środkowym biegu doliny. Badane osuwisko (długości 200 m, szerokości 300 m) ciągnie się od grzbietu (~910 m n.p.m.) do dna doliny i koryta potoku (~850 m n.p.m., Ryc. 2. C). W rzeźbie osuwiska widoczna jest pojedyncza, rozległa i stroma niska osuwiskowa (nachylenie niemal 75 %) oraz stosunkowo płaska powierzchnia jeźora osuwiskowego (<10 % w obrębie spłaszczeń, >40 % w obrębie progów). Niszę pokrywają luźne głazy (do 2 m średnicy), a mikro-rzeźba wskazuje na ich wyciskanie ze stoku. Morfologia stoku sugeruje występowanie współcześnie i w przeszłości aktywnych ruchów masowych. Prawdopodobnie w obrębie starszego, głęboko osadzonego osuwiska zachodzi współcześnie potomne osuwanie.

W odległości 1 km od osuwiska (Ryc. 2. B), w górnej części doliny potoku Keprnický zlokalizowano stanowisko referencyjne. Znajduje się on na stoku o podobnej ekspozycji, nachyleniu, wysokości nad poziomem morza i budowie geologicznej co stok osuwiskowy. Stok referencyjny ma gładką powierzchnię o rzeźbie pozbawionej oznak występowania ruchów masowych, a w szczególności osuwania.

Analizy dendrochronologiczne

Na stoku osuwiskowym opróbowano 42, a na stoku referencyjnym - 12 świerków. Z każdego drzewa pobierano po dwa wywierty przy pomocy standardowego świdra przyrostowego (średnicy 4 mm). Pary wywiertów pobierano na wysokości pierśnicy, w jednej osi, zgodnej z nachyleniem stoku. Zastosowana procedura poboru prób pozwoliła na uzyskanie danych o szerokości przyrostów rocznych po do- i odstokowych stronach pni drzew. Wszystkie próby pobrano ze świerków pospolitych (*Picea abies* Karst.). Opróbowano jedynie drzewa wcześniej wizualnie ocenione jako zdrowe. Skoncentrowano się na drzewach o pniach najbardziej zdeformowanych i pochylonych. Próby pobierano na całej powierzchni osuwiska, ze zróżnicowanych geomorfologicznie lokalizacji (z niszy jęzorów, strefy przykorytowej; Ryc. 2. C).

Szerokości przyrostów rocznych pomierzone dla do- i odstokowych stron pni poszczególnych drzew zostały porównane i przekształcone w indeks dekoncentryczności przyrostów rocznych przy użyciu następujących wzorów (Wistuba, Malik 2011):

$$\begin{array}{ll} \text{Ex [mm]} = U_x - D_x; & [1]; \\ \text{gdy Ex [mm]} > 0: \text{dekoncentryczność dostokowa;} & \text{Eix [\%]} = (\text{Ex} / D_x) \times 100\% > 0; [2a]; \\ \text{gdy Ex [mm]} = 0: \text{brak dekoncentryczności;} & \text{Eix [\%]} = \text{Ex [mm]} = 0; [2b]; \\ \text{gdy Ex [mm]} < 0: \text{dekoncentryczność odstokowa;} & \text{Eix [\%]} = (\text{Ex} / U_x) \times 100\% < 0; [2c]; \end{array}$$

gdzie: U — szerokość przyrostu rocznego po dostokowej stronie pnia [mm]; D — szerokość przyrostu rocznego po odstokowej stronie pnia [mm]; E — dekoncentryczność przyrostu rocznego [mm]; Ei — indeks dekoncentryczności przyrostu rocznego [%]; x — rok (przyrost roczny).

Datowanie momentów osuwania stoku wykonano w oparciu o wskaźnik rocznej zmienności indeksu (vEix [%]), obliczany jako różnica wartości indeksu w wybranym roku i roku poprzednim:

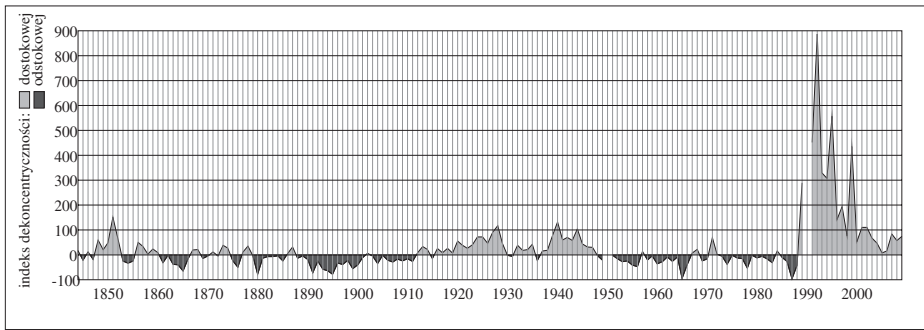
$$vEix [\%] = Eix - Eix-1; [3];$$

gdzie: Ei — indeks dekoncentryczności przyrostu rocznego [%]; vEi — zmienność roczna indeksu [%]; x — rok (przyrost roczny).

Do datowania zastosowano wartości progowe zmienności indeksu obliczone dla stanowiska referencyjnego, które dla stoku w dolinie potoku Keprnický wynoszą -59,54 % dla epizodów odstokowych i 56,38 % dla epizodów dostokowych. Procedurę datowania osuwania w oparciu o wskaźniki dekoncentryczności wzrostu i progi referencyjne szczegółowo omówiono w publikacji Wistuby i Malika 2011. Uzyskany dendrochronologiczny zapis osuwania podłoża na stanowisku Keprnický porównano z danymi opadowymi (Ryc. 4). W analizie wykorzystano dane dla czerwca, lipca, sierpnia i września - miesięcy z największymi sumami opadów, prawdopodobnie odpowiedzialnymi za uruchamianie badanego osuwiska Keprnický.

Wyniki i dyskusja

Przebieg krzywych indeksu dekoncentryczności w próbach ze stoku referencyjnego i osuwiskowego znacząco się różni. Wartości indeksu dla drzew rosnących na podłożu stabilnym oscylują około 0%, rzadko przekraczając $\pm 100\%$ w trakcie całego okresu życia drzew (np. przed rokiem 1989; Ryc. 3). Pojedyncze lata i kilkuletnie okresy dekoncentryczności od- i dostokowej występują naprzemiennie, co zinterpretowano jako zapis ciągłego balansowania drzewa, które utrzymuje pionową pozycję i równowagę na stoku. Balansowanie jest efektem ciągłej konieczności zwalczania wpływu zaburzających czynników, takich jak: wiatr, nacisk pokrywy śnieżnej, wzrost masy drzewa w czasie wraz z jego wzrostem.



Ryc. 3. Przykład przebiegu indeksu dekoncentryczności dla świerka rosnącego na osuwisku Keprnický

Fig. 3. Example of eccentricity index in the spruce growing on the Keprnický landslide

Część drzew rosnących na osuwisku Keprnický wykazuje w początkowym okresie życia przebieg dekoncentryczności podobny do drzew na stoku referencyjnym. Później obserwujemy mniej lub bardziej gwałtowną zmianę (wzrost lub spadek, np.: Ryc. 3: stabilny wzrost przed 1989 i późniejszy skok wartości indeksu). Część drzew nie wykazuje początkowego okresu stabilnego wzrostu - wartości indeksu są wysokie od pierwszych lat życia drzew, co dowodzi, że od początku rosną one na niestabilnym podłożu.

Na osuwisku Keprnický wartości indeksu dekoncentryczności sięgają (dla pojedynczych przyrostów rocznych) 3450,00% — w przypadku dekoncentryczności dostokowej i -1011,43% — w przypadku dekoncentryczności odstokowej.

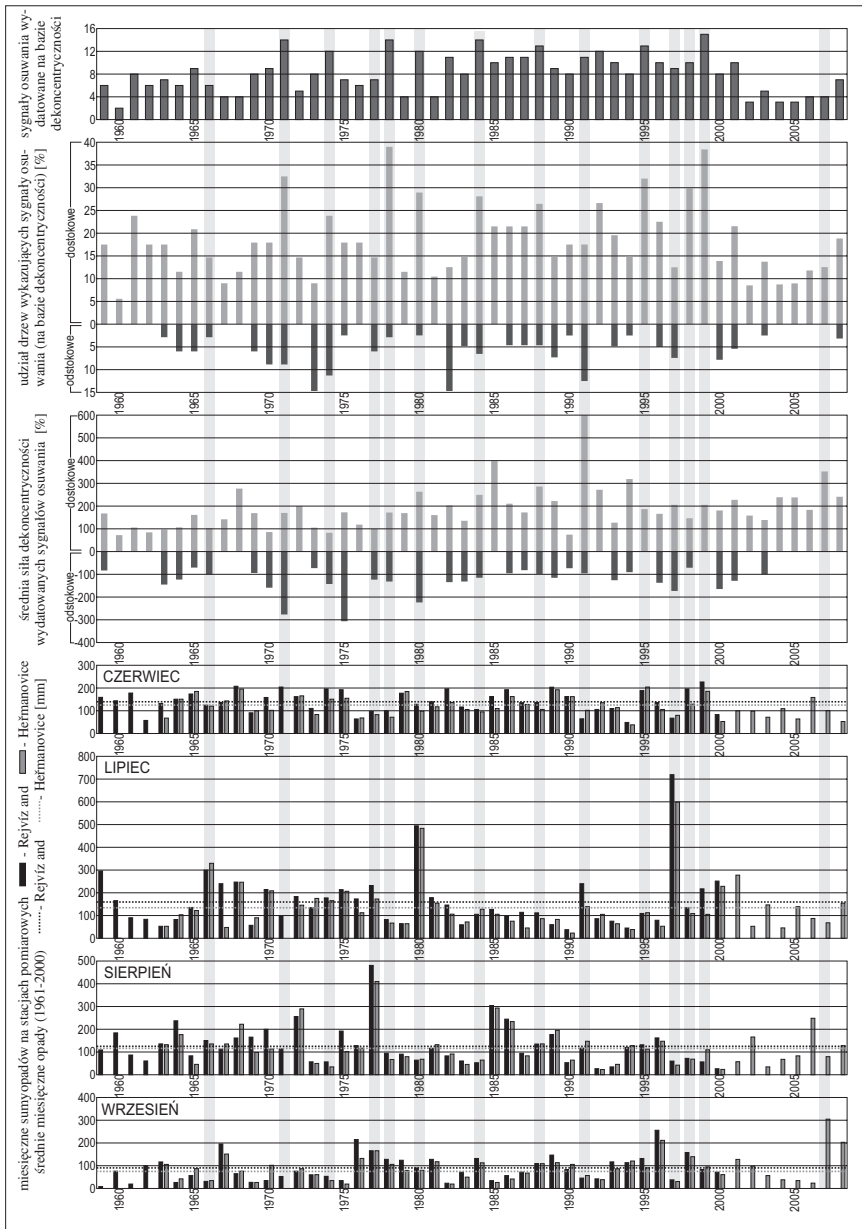
Długość serii danych dendrochronologicznych, zależna od wieku drzew, w przypadku osuwiska Keprnický sięga pierwszej połowy XIX wieku. Spośród 42 serii indeksu dekoncentryczności 31 sięga co najmniej do roku 1900.

Najstarszy sygnał ruchu stoku wydатовano (przy użyciu dekoncentryczności wzrostu) na 1836. W ciągu 174 lat (1836-2010) w opróbowanych 42 drzewach łącznie wydатовano 697 sygnałów osuwania. 574 z nich (82,35%) to sygnały dostokowe. Sygnały grupują się nierównomiernie w czasie: w latach 1918-1944 (do 7 sygnałów/reagujących na osuwanie drzew w roku), z maksimum w okresie 1934-1939 oraz w latach 1958-2001 (do 15 sygnałów/reagujących na osuwanie drzew w roku), z maksimum w latach 1971-1999 (Ryc. 4).

Ze względu na dostępność danych meteorologicznych dla lat 1959-2008, okres ten wybrano do szczegółowej analizy relacji między przebiegiem dekoncentryczności/aktywności osuwiska a warunkami opadowymi.

Przeanalizowano zmienność liczby wydатовanych sygnałów osuwania w latach 1959-2008 (Ryc. 4). Określono także procentowy udział drzew wykazujących do- i odstokowe sygnały osuwania podłoża. Obliczono średnią siłę [%] do- i odstokowych sygnałów dekoncentryczności wydатовanych dla poszczególnych lat (Ryc. 4).

Największą liczbę sygnałów aktywności osuwiska Keprnický wydатовano dla roku 1999 (15 sygnałów, >35% opróbowanych drzew), gdy suma opadów lipca przekroczyła wartość średnią (Ryc. 4). Także dwa poprzednie lata (1997 i 1998) są powszechnie rozpoznawane jako lata katastrofalnych opadów i powodzi letnich. Pomimo to bezwzględna ilość sygnałów i ich procentowy udział w populacji opróbowanych drzew najwyższe są dopiero w roku 1999. Jest prawdopodobne, że w latach 1997-1998 miały miejsce przygotowawcze, inicjalne ruchy masowe, które zwiększyły niestabilność podłoża, przez co stok stał się bardziej podatny na osunięcie w roku 1999.



Ryc. 4. Porównanie dendrochronologicznego zapisu osuwania uzyskanego na bazie dekoncentryczności wzrostu z przebiegiem miesięcznych sum opadów czerwca-września

Fig. 4. Comparison of dendrochronological record of landsliding obtained with the use of growth eccentricity with monthly precipitation of June-September

Czytelnym przykładem wydatowanych sygnałów osuwania spowodowanego przez obfite opady jest rok 1980 (12 sygnałów: zareagowało 12 spośród 39 drzew żyjących w 1980 roku, t.j. >30%, pozostałe 3 drzewa są młodsze) o wysokiej sumie opadów w lipcu (Ryc. 4). Jednak lata z dużą ilością sygnałów osuwania wydatowanych dzięki dekoncentryczności nie zawsze charakteryzują się jednocześnie wysokimi sumami miesięcznymi opadów. Przykładem takiej sytuacji są lata: 1971 (14 sygnałów, ~40% opróbowanych drzew), 1974 (12), 1978 (14, > 40%), 1984 (14, ~35%), 1988 (13), 1992 (12) i 1995 (13). Jest to prawdopodobnie efekt dużego lokalnego zróżnicowania opadów, szczególnie letnich nawalnych. Jest to także dowód na to, że osuwanie może być prawdopodobnie powodowane pojedynczymi ulewnymi opadami, które nie zaznaczają się w miesięcznych sumach opadów (tylko nieznacznie przekraczających wartości średnie: Ryc. 4).

Znaczenie lokalnych ulew potwierdza także porównanie siły sygnałów i danych opadowych. Epizody osuwania o ekstremalnej sile nie pokrywają się z latami o największych sumach miesięcznych opadów. Lata o ekstremalnej sile sygnałów to (Ryc. 4): 1968 (sygnały dostokowe >200%), 1971, 1975 (odstokowe <-200%), 1984-5, 1988, 1991-2, 1994, 1999, 2001, 2004-5, 2007 (dostokowe >200%). Wyjaśnieniem jest prawdopodobnie występowanie nagłych, katastroficznych, lecz lokalnych ulew, takich jak w:

- kwietniu 1971 - gdy, według Štekla et al. (2001), opady były katastrofalne w rejonie doliny potoku Keprnický, ale nie zostały zarejestrowane na stacjach pomiarowych odległych o 15-17 km (Ryc. 4),
- lipcu 1991 - gdy suma miesięczna opadów ledwie osiągnęła średnią (Ryc. 4), a zaobserwowano katastrofalne opady, które spowodowały aktywację ruchów masowych na stokach - spływów gruzowych (Gába 1992).

Uzyskane wyniki wskazują na odmienne niż opisywane dla osuwisk w Karpatach fliszowych (Gorzycza 2004; Starkel 1996) warunki uruchamiania osuwania. Dotychczas nie opisywano jednak przypadków występowania głębokich ruchów masowych w Hrubým Jeseníku, a poznanie mechanizmów i warunków meteorologicznych uaktywniania osuwisk w krystalicznym podłożu Sudetów Wschodnich wymaga dalszych badań.

Na podstawie uzyskanych danych stwierdzono także, że sygnały osuwania o dużej sile (Ryc. 4) korelują generalnie dużą wilgotnością okresu letniego (miesięczne sumy opadów czerwca-sierpnia powyżej średniej), n.p.: 1968, 1972, 1975, 1989, 1999.

Lata 1980 (silne sygnały do- i odstokowe), 1985, 1997 (dostokowe) są wyjątkami z dużymi sumami opadów i odpowiednio dużą siłą sygnałów. Jednakże lata z najwyższymi sumami opadów (1997) i największą liczbą wydatowanych sygnałów (1999) nie cechują się dużą ich siłą. W niektórych przypadkach duża ilość sygnałów osuwania jest zapisana rok/dwa lata po epizodach opadowych, przykładami (Ryc. 4) są wyżej wymieniony rok 1999 po powodziach letnich z lat 1997-1998, rok 1988 po mokrym sierpniu 1987, 1992 po katastrofalnej ulewie z lipca 1991. Przyczynami takiego dendrochronologicznego zapisu osuwania mogą być:

- wzrost niestabilności na stoku po inicjalnych ruchach masowych podczas katastrofalnych opadów, w kolejnych latach osuwanie może zostać wywołane przez słabsze opady (1997-9),
- przedłużona, silna reakcja drzew spowodowana szczególnie katastrofalnym osuwaniem w roku poprzednim (prawdopodobnie w latach: 1991-2),
- osuwanie w końcu sezonu wegetacyjnego - reakcja drzew jest opóźniona do początku kolejnej wiosny (prawdopodobnie rok 1988 po opadach i osuwaniu w sierpniu 1987).

Wnioski

- Przeprowadzone badania wskazują, że dekoncentryczność przyrostów rocznych świerka pospolitego może być stosowana jako wskaźnik aktywności osuwania podłoża. Indeks dekoncentryczności pozwala porównywać intensywność reakcji drzew rosnących w różnych pod wzglę-

dem rzeźby położeniach, a tym samym porównywać intensywność ruchu podłoża. Świerki porastające stok osuwiskowy wykazują znacznie silniejszą dekoncentryczność niż drzewa ze stoku stabilnego, referencyjnego.

- Analiza dekoncentryczności wzrostu świerków na osuwisku Keprnický pozwoliła określić czasową zmienność aktywności ruchów masowych i porównać ją z danymi opadowymi. W przyszłości zastosowanie metody indeksu dekoncentryczności pozwoli być może określać warunki progowe uruchomienia ruchów masowych, określać stopień zagrożenia osuwaniem dla wybranych stoków oraz stosować uzyskane wyniki w praktyce — min. uwzględnić w planach zagospodarowania przestrzennego.

Podziękowania

Artykuł przedstawia wyniki badań finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego / Narodowe Centrum Nauki. Badania przeprowadzono w roku 2010 w ramach projektu badawczego „Funkcjonowanie systemu geomorfologicznego stok-koryto w wybranych małych zlewniach masywu Hrubé Jeseníka (Sudety Wschodnie)” N N306 718240.

Literatura

- Alestalo J. 1971. *Dendrochronological interpretation of geomorphic processes*. Fennia 105: 1-140.
- Braam R. R., Weiss E. E. J., Burrough P. A. 1987. *Dendrogeomorphological analysis of mass movement a technical note on the research method*. Catena Supplement 9: 585-589.
- Butler D. R. 1987. *Teaching general principles and applications of dendrogeomorphology*. J. Geol. Educ. 35: 64-70.
- Casteller A., Christen M., Villalba R., Martinez H., Stöckli V., Leiva J. C., Bartelt P. 2008. *Validating numerical simulations of snow avalanches using dendrochronology: the Cerro Ventana event in North Patagonia, Argentina*. Nat. Hazards Earth Sys. Sci. 8: 433-443.
- Corominas J., Moya J. 2010. *Contribution of dendrochronology to the determination of magnitude-frequency relationships for landslides*. Geomorphology 124: 137-149.
- Fantucci R., Sorriso-Valvo M., 1999. *Dendrogeomorphological analysis of a slope near Lago Calabria (Italy)*. Geomorphology 30: 165-174.
- Gába Z. 1992. *Mury pod Keprníkem v červenci 1991*. Severní Morava 64: 5-30.
- Gers E., Florin N., Gärtner H., Glade T., Dikau R., Schweingruber F. H. 2001. *Application of shrubs for dendrogeomorphological analysis to reconstruct spatial and temporal landslide movement patterns*. A preliminary study. W: Dikau R. Schmidt K. H. (red.). *Mass Movements in South, West and Central Germany*. Z. Geomorphol. Suppl. 125: 163-175.
- Gorczyca E. 2004. *Przekształcanie stoków fliszowych przez procesy masowe podczas katastrofalnych opadów (dorzecze Łososiny)*. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Hupp C. R. 1986. *The headward extend of fluvial landforms and associated vegetation on Massanutten Mountain, Virginia*. Earth Surf. Proc. Landf. 11: 545-555.
- Koprowski M., Winchester V., Zielski A. 2010. *Tree reactions and dune movements: Slowinski National Park, Poland*. Catena 81: 55-65.
- Krapiec M., Margielewski W. 2000. *Analiza dendrogeomorfologiczna ruchów masowych na obszarze polskich Karpat fliszowych*. Geologia Kwart. AGH 26, 2: 141-171.
- Krzysik F. 1974. *Nauka o drewnie*. PWN, Warszawa.
- Malik I., Ciszewski D. 2008. *Meandering river bank erosion and channel lateral migration recorded in black alder (Alnus glutinosa) tree rings*. Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology 7: 133-139.
- Polách D., Gába Z. 1998. *Historie povodní na šumperském a jeseníckém okrese*. Severní Morava 75: 3-30.
- Schweingruber F. H. 1996. *Tree rings and Environment. Dendroecology*. Swiss Federal Institute for Forests, Snow and Landscape Research, WSL/FNP Birmensdorf, Paul Haupt Publishers Berne, Stuttgart, Vienna.
- Schweingruber F. H. 2007. *Wood Structure and Environment*. Springer-Verlag, Berlin.
- Seneta W., Dolatowski J. 2008. *Dendrologia*. PWN, Warszawa.

- Shroder J. F. 1978. *Dendrogeomorphological analysis of mass movement on table cliffs plateau*, Utah. Quaternary Res. 9: 168-185.
- Shroder J. F. 1980. *Dendrogeomorphology: review and new techniques of tree-ring dating*. Prog. Phys. Geog. 4: 161-188.
- Starkel L. 1996. *Geomorphologic role of extreme rainfalls in the Polish Carpathians*. Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica 30: 21-38.
- Štekl J., Brázdil R., Kakos V., Jež J., Tolasz R., Sokol Z. 2001. *Extrémní denní srážkové úhrny na území ČR v období 1879-2000 a jejich synoptické příčiny*. Národní klimatický program České republiky 31, Praha.
- Timell T. E. 1986. *Compression wood in gymnosperms*. Springer-Verlag, New York.
- Vanderkerckhove L., Muys B., Poesen J., Weerd de B., Coppé N. 2001. *A method for dendrochronological assessment of medium-term gully erosion rates*. Catena 45: 123-161.
- Wade J. E., Wendel-Hewson E. 1979. *Trees as a local climatic wind indicator*. J. Clim. Appl. Meteorol. 18: 1182-1187.
- Wistuba M., Malik I. 2011. *Indeks dekoncentryczności przyrostów rocznych drzew — narzędzie do identyfikacji współczesnych ruchów osuwiskowych*. Czasopismo Geograficzne 82(4):401-421.

Małgorzata Wistuba^{1*}, Ireneusz Malik¹, Holger Gärtner², Paweł Kojs³, Marek Krapiec⁴
*malgorzatawistuba@gazeta.pl

¹Katedra Paleografii i Paleoekologii Czwartorzędu, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski

²WSL Birmensdorf

³Ogród Botaniczny Centrum Zachowania Różnorodności Biologicznej, Polska Akademia Nauk

⁴Wydział Geologii, Górnictwa i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków