

# Problemy metodyczne analizy dendrochronologicznej procesów erozyjnych w zlewniach górskich

*Dominika Wrońska-Wałach, Elżbieta Gorczyca, Agata Buchwał, Joanna Korpak, Mateusz Sobucki, Piotr Wałdykowski*

**Abstrakt.** Górne, zalesione części zlewni górskich cechują się dużą retencyjnością, odpływem podziemnym oraz niezorganizowanym i epizodycznym spływem powierzchniowym, a ich rozwój jest związany głównie ze zdarzeniami ekstremalnymi. Jednym z głównych celów analiz było określenie kierunku odsłaniania korzeni, które pozwala na odróżnienie procesów erozji powierzchniowej od procesów sufozyjnych związanych z działalnością spływu śródpokrywowego. Podczas wykonywania analiz dendrogeomorfologicznych z zastosowaniem korzeni świerków (*Picea abies* L. Karst) natrafia się na szereg problemów metodycznych. Typowy dla korzeni jest brak niektórych słoików lub występowanie przyrostów wyklinowujących się. Próbą rozwiązania tego problemu było skanowanie całych krążków oraz manualne określanie liczby i pomiary szerokości przyrostów rocznych w programie WinDENDRO i WinCell. Te same próbki korzeni zostały poddane obróbce zgodnie z procedurą opracowaną przez F. H. Schweingruber (1991). Rozbieżności wskazują na konieczność wykonywania preparatów mikroskopowych z całych przekrojów poprzecznych i konstruowania lokalnych krzywych chronologicznych z korzeni.

**Słowa kluczowe:** zlewnie górskie, procesy erozyjne, korzenie drzew, datowanie pomostowe, dendrogeomorfologia

**Abstract.** Upper forested parts of the mountain catchments are characterized by high retention, underground run-off and non-concentrated episodic surface run-off and they are mostly shaped during extreme events. One of the goal of the analyses is to determine the direction of the root exposure which enables to distinguish between erosive and tunneling processes coupled with the interflow. While performing the dendrogeomorphological assessments of spruce roots (*Picea abies* L. Karst) we are facing some methodical problems. Wedging rings and missing rings are typical artifacts in the root structure. To eliminate the underestimations in the tree-rings counting whole cross-sections of the roots were scanned and measured by using the WinDENDRO and WinCELL software. The same samples were then analyzed microscopic according to the procedure introduced by F. H. Schweingruber (1991). Divergences between the results of macro- and microscopic measurements indicate the need of the thin-sections of the whole cross-sections, as well as cross-dating between the root growth series and a site chronology.

**Keywords:** mountain catchments, erosion, tree roots, cross-dating, dendrogeomorphology

## Wstęp

Współcześnie analizy zmian w strukturze słoików przyrostów rocznych w pniach i korzeniach drzew w kontekście zróżnicowanych procesów morfotwórczych, uznawane są za jedno z przydat-

nych narzędzi w geomorfologii (Gärtner et al. 2001; Gärtner 2003, 2006, 2007; Malik, Matyja 2008; Stoffel, Bollschweiler 2008). Analiza zmian anatomicznych w drewnie korzeni odsłoniętych na działanie czynników zewnętrznych pozwala na odtworzenie intensywności procesów morfogenetycznych działających w przeszłości (Malik 2006, 2008). Metoda ta znalazła swoje zastosowanie w analizach sływów gruzowych, osuwania, obrywów skalnych, lawin śnieżnych, lawin skalnych czy procesów erozyjnych. Większość analiz opiera się na datowaniach sływów przyrostów rocznych w pniach drzew (Alestalo 1971; Carrara, Carroll 1979; Strunk 1997; Stoffel 2006, 2010; Bollschweiler et al. 2007; Pelfini, Santilli 2008; Stoffel, Bollschweiler 2008; Zielonka et al. 2008).

Dopiero od kilkunastu lat zmiany w anatomii komórek drewna korzeni spowodowane polową bądź jednorazową ekspozycją na działanie zmiennych warunków termicznych i wilgotnościowych uznawane są za jedno z przydatnych narzędzi w geomorfologii (Schweingruber 1996; Gärtner et al. 2001; Gärtner 2003, 2006). Pelfini i Santilli (2006) próbowali, wykorzystując metodę dendrogeomorfologiczną datować erozję na ścieżkach turystycznych. Zauważyli problem rozbieżności wykształcenia krzywych przyrostów rocznych w korzeniach i pniach. Podjęli oni próbę datowania pomostowego sekwencji przyrostów rocznych wykształconych przez korzenie i pnie drzew.

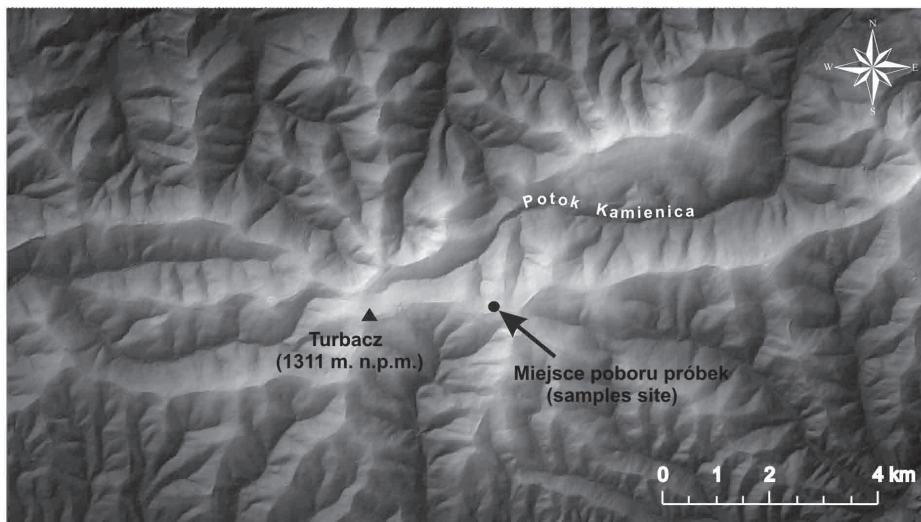
Górne części zlewni karpackich są trudno dostępne i niemal niezamieszkałe, dlatego też skutki ekstremalnych zdarzeń opadowych w ich obrębie nie budziły dużego zainteresowania. Tymczasem jest to zagadnienie bardzo ważne, ponieważ system zlewni stanowi całość i nie można rozpatrywać jego funkcjonowania bez uwzględnienia wszystkich jego części. Inaczej na impuls opadowy reagują zalesiona i wylesiona część zlewni. Górne, zwykle zalesione części zlewni, cechują się większą retencyjnością, odpływem podziemnym i jedynie epizodycznym sływem powierzchniowym. Części te przekształcane są głównie podczas intensywnych opadów i gwałtownych roztopów. W efekcie tych zdarzeń zachodzi sufozja oraz erozja powierzchniowa i liniowa. W wyniku ich działania rozwijają się rozcięcia erozyjne, w których odsłaniane są korzenie drzew.

Określenie roku ekspozycji korzeni na działanie czynników zewnętrznych jest utrudnione ze względu na występujące bardzo licznie w korzeniach sływe wyklinowujące się oraz przyrosty brakujące. Rezultatem ich występowania jest różna liczba sływów przyrostów rocznych w różnych częściach korzenia. Brak pełnej sekwencji przyrostów rocznych może powodować błędy interpretacyjne w datowaniu procesów geomorfologicznych.

Celem opracowania jest przedstawienie metody bardziej precyzyjnego datowania procesów kształtujących górne części zlewni. Zaproponowano datowanie pomostowe wewnątrz korzenia. Porównano i wykonano datowanie pomostowe krzywych przyrostów rocznych korzenia z krzywą przyrostów rocznych pnia drzewa, z którego badano korzeń, i z chronologią stanowiska.

## Material i metody

Obszar badań położony jest w zlewni potoku Kaminicy w Gorcach (Karpaty fliszowe). Stanowisko z którego pobrano próbki do badań położone jest w górnej, zalesionej części zlewni, w piętrze regla górnego. W Gorcach regiel ten obejmuje jednogatunkowe bory świerkowe (*Piceetum exelse Carpaticum*), wykształcone w wysokości od 1000-1150 m n.p.m. (Medwecka-Kornaś 1955; Chwiśtek 2003). W drzewostanie dominuje świerk (*Picea abies* L. Karst), a w runie gatunki siedlisk kwaśnych. Obszar ten cechuje się odpływem podziemnym i epizodycznym sływem powierzchniowym, kształtowany jest głównie podczas wysokich opadów i gwałtownych roztopów. Charakterystycznym elementem tej części zlewni są kanały sufozyjne powstałe w wyniku śródpokrywowego wymywania drobnego materiału. Są to zarówno systemy podziemnych kanałów, które na powierzchni zaznaczają się tylko niewielkimi otworami, jak i rozcięcia, do powstania których przyczyniły się zarówno procesy sufozyjne, jak i erozji liniowej (Ryc. 2).



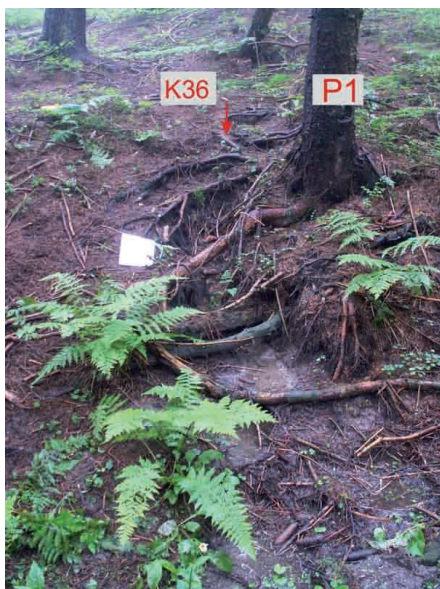
**Ryc. 1.** Obszar badań

*Fig. 1.* Study area

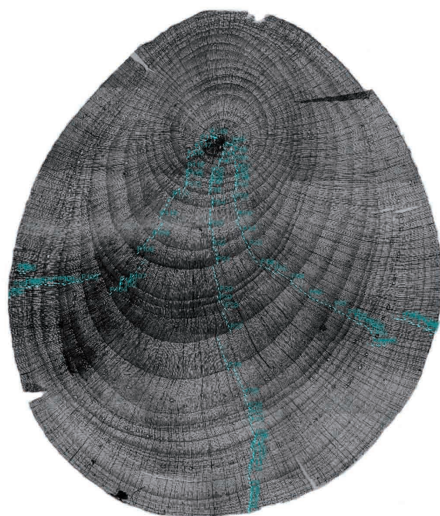
W 2008 roku w wybranym rozcięciu erozyjnym pobrano dwanaście 10-20 cm fragmentów odsłoniętych korzeni świerka (*Picea abies* L. Karst). W celu wyznaczenia roku odsłonięcia, korzenie poddano szczegółowej analizie mikroskopowej. Dla każdego korzenia wykonano przekrój poprzeczny, w którym przeprowadzono analizę szerokości przyrostów rocznych oraz zmian wykształcenia drewna wczesnego i późnego. W pierwszym etapie wykonano datowanie odsłonięcia wszystkich pobranych korzeni. Okres w którym doszło do odsłonięcia korzeni określono na lata 1981-2003. W trakcie analizy struktury przyrostów rocznych korzeni pojawiły się problemy interpretacyjne związane z występowaniem przyrostów wyklinowujących się. Obecność takich przyrostów może wskazywać na brak części przyrostów rocznych. W związku z tym podjęto próbę rozwiązania problemu poprzez szczegółową analizę jednego z pobranych korzeni oraz datowanie pomostowe korzenia z pniem i chronologią stanowiska. W celu skonstruowania chronologii stanowiskowej w 2011 roku pobrano odwierty z 10 pni świerków (*Picea abies* L. Karst), w tym także z drzewa, z którego pochodziły wcześniej pobrane korzenie (zwanego później P1). Ze względu na zarysowane wcześniej problemy interpretacyjne jeden korzeń (K36) wybrano do szczegółowej analizy. Wyboru korzenia dokonano z uwagi na jego położenie w centralnej części analizowanego rozcięcia erozyjnego (Ryc. 2). Z korzenia pobrano próby w dwucentymetrowych interwałach. Łącznie z korzenia pobrano 8 przekrojów poprzecznych, które poddano wnikliwej analizie mikroskopowej.

Po wysuszeniu oraz wypolerowaniu powierzchni przekrojów poprzecznych pobranych fragmentów z korzenia dokonywano ich wstępnej analizy oraz dokumentacji fotograficznej. Szczególną uwagę zwracano na dekoncentryczność przyrostów oraz wykształcenie blizn, które utrudniają makroskopowe wydatowanie korzeni. Następnie przy użyciu mikrotomu saneczkowego GSL-1 wykonywano preparaty mikroskopowe. Z całej powierzchni przekroju poprzecznego korzenia uzyskiwano slajd o grubości ok. 15-20  $\mu\text{m}$ . W celu uwydatnienia struktury drewna próbkę barwiono mieszkanką safraniny i barwnika Astra Blue, zatapiano w balsamic kanadyjskim i pozostawiano do wysuszenia w suszarce (60°C) na min. 12 godzin. Pełna procedura przygotowania preparatów mikroskopowych została zaadoptowana przez autorów za Schweingruberem (1991).

W obrębie każdego przekroju poprzecznego korzenia dokonano analizy wykształcenia przyrostów rocznych w 3-5 promieniach. Uwzględniano najkrótszy i najdłuższy promień oraz promienie pośrednie. W wyborze promieni unikano blizn oraz nagromadzeń traumatycznych kanałów żywicznych (Ryc. 3). W obrębie każdego promienia badana była liczba, szerokość i koncentryczność przyrostów radialnych.



**Ryc. 2.** Rozcięcie erozyjne – miejsce poboru próbek korzeni i odwiertu z pnia  
*Fig. 2. Initial gully – location of root samples and tree cores collection*



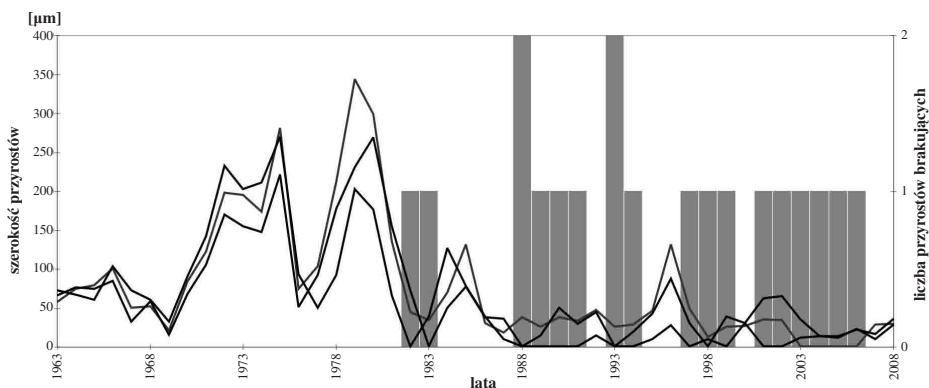
**Ryc. 3.** Przekrój poprzeczny korzenia – zaznaczone przebiegi analizowanych promieni (WinCell) (przekrój 1)  
*Fig. 3. Cross-section of a roots – marked analyzing radii (WinCell) (cross-section 1*

W pierwszej kolejności wykonano datowanie pomostowe (ang. *cross-dating*) pomiędzy cięgami szerokości przyrostów radialnych poszczególnych przekrojów poprzecznych. Pozwoliło to wyznaczyć średnie krzywe wzrostu charakteryzujące każdy przekrój poprzeczny. W następnej kolejności uzyskane średnie krzywe wzrostu z każdego przekroju poprzecznego korzenia porównywano ze sobą, w celu wykrycia przyrostów brakujących (ang. *missing rings*). Ostatnim etapem badań pomostowych było porównanie uzupełnionej o brakujące przyrosty krzywej wzrostu wszystkich przekrojów korzenia z krzywą wzrostu pnia P1 oraz z chronologią stanowiska. Manualne pomiary szerokości przyrostów rocznych w korzeniu były wykonywane na zdjęciach mikroskopowych w oprogramowaniu WinCell oraz WinDENDRO. Pomiary szerokości przyrostów rocznych w pniach wykonano w oprogramowaniu WinDENDRO na wyszlifowanych i zeskanowanych w rozdzielczości 4200 dpi odwiertach z pni drzew. Datowania pomostowe wszystkich krzywych wzrostu, zarówno z pni jak i korzeni drzew, zostały wykonane z wykorzystaniem programu COFECHA (Holmes 1983).

## Wyniki i dyskusja

Datowanie pomostowe przeprowadzone w obrębie jednego korzenia wskazało na dużą rozbieżność w liczbie oraz wielkości przyrostów rocznych w obrębie poszczególnych przekrojów

poprzecznych. Najszerszy przyrost roczny w badanych przekrojach poprzecznych miał 709  $\mu\text{m}$ , najwęższy zaś 6,36  $\mu\text{m}$ . Jednoznacznie stwierdzono, iż żaden z ośmiu wybranych do analiz przekrojów poprzecznych nie prezentował pełnej serii przyrostów rocznych. Analiza przyrostów w poszczególnych promieniach dla każdego przekroju pozwoliła na wyznaczenie okresów z dużą liczbą brakujących i wyklinowujących się przyrostów rocznych (Ryc. 4). Porównanie tych okresów pomiędzy przekrojami poszczególnych korzeni pozwoliło na wyznaczenie negatywnych lat wskaźnikowych (tj. 1972, 1981, 1997 i 2001), w których w większości przekrojów nie doszło do wykształcenia przyrostów rocznych. Uzupełnienie krzywych o brakujące przyrosty roczne pozwoliło na uzyskanie kompletnej sekwencji przyrostów radialnych dla poszczególnych przekrojów.



**Ryc. 4.** Lata brakujące na tle sekwencji przyrostów rocznych trzech analizowanych promieni (przekrój 1)

*Fig. 4. Missing rings within tree ring sequence of three analyzing radii (cross-section 1)*

Najdłuższą sekwencję przyrostów rocznych miała średnia dla przekroju 2 (datowana na 1960 r.), najkrótsza zaś była średnia przekroju 6 (datowana na 1968 r., Ryc. 5A). Po zestawieniu nieprzetworzonych (ang. *raw data*) średnich dla poszczególnych przekrojów poprzecznych stwierdzono znaczne przesunięcia w latach charakteryzujących się podobnymi szerokościami przyrostów rocznych (Ryc. 5A). Przekrój z największą liczbą przyrostów był podstawą do wykonania datowania pomostowego pomiędzy poszczególnymi fragmentami badanego korzenia. Lata z brakującymi przyrostami rocznymi grupowały się w okresach: 1985-1991, 1997-1998 oraz po 2001 roku. W części przekrojów poprzecznych lata te były wykształcone i charakteryzowały się obecnością blizn erozyjnych i traumatycznych kanałów żywicznych (TRD).

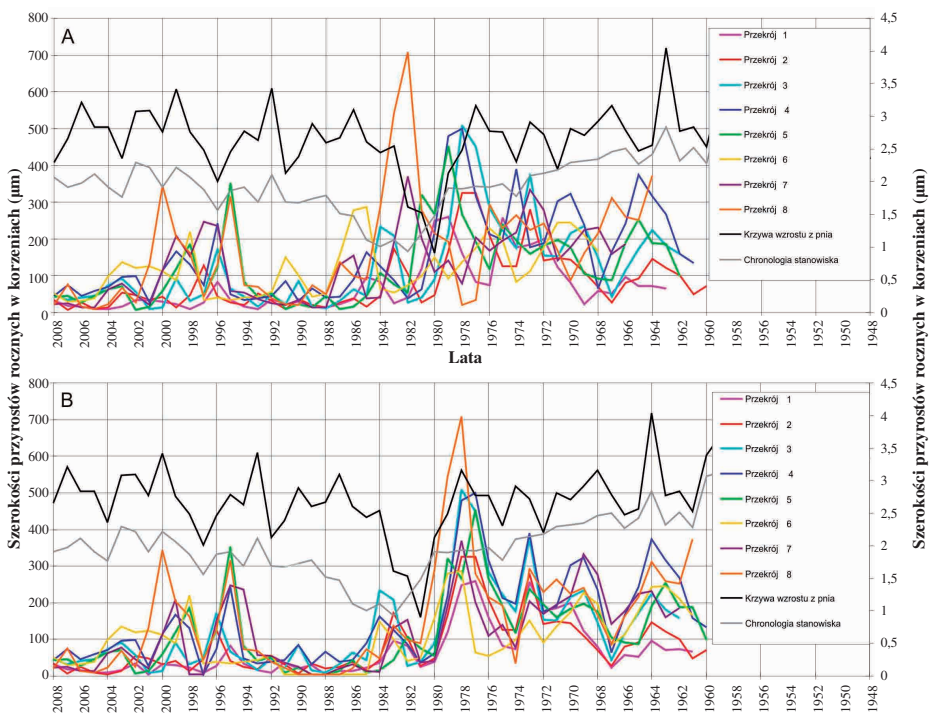
Uzupełniono brakujące przyrosty roczne w średnich wykazujących duże różnice w stosunku do średnich z przekrojów zawierających najwięcej przyrostów (Ryc. 5B). Dla danych nieprzetworzonych, średnia korelacja pomiędzy krzywą z przekroju 2 a pozostałymi krzywymi z przekrojów korzenia wynosiła 0,13. Wykonanie datowania pomostowego pozwoliło uzyskać sekwencję przyrostów rocznych o średniej korelacji 0,56 i maksymalnej 0,72.

Stosunkowo niska korelacja datowania pomostowego wynika z dużej rozbieżności szerokości przyrostów rocznych w poszczególnych przekrojach. Bierze się to zapewne z bardzo dużego zróżnicowania czynników zewnętrznych, które wpływały na rozwój korzenia oraz jego postępującej reakcji anatomicznej na stopniowe i różnokierunkowe odsłanianie.

Dokładniejsze dopasowanie sekwencji krzywych przyrostów rocznych w poszczególnych la-

tach jest utrudnione ze względu na dużą zmienność wykształcenia przyrostów radialnych korzenia w przekroju podłużnym. W korzeniu o długości kilkunastu cm, poszczególne części były odślaniane w różnym czasie zarówno od dołu (w wyniku sufozji) jak i od góry (erozja powierzchniowa). Po odsłonięciu korzeni był także pod presją różnych procesów biotycznych i abiotycznych, o czym świadczą blizny i nagromadzenie TRD w różnych jego częściach. Procesy sufozyjne i erozyjne oddziałujące na system korzeniowy mogą wpływać na pojawienie się dekoncentrycznego przyrostu rocznego. Wykształcenie takiego przyrostu rocznego często związane jest z występowaniem przyrostów wyklinowujących oraz przyrostów brakujących (Ryc. 4).

Chronologia stanowiska obejmuje okres od 1930 do 2011, a sekwencja przyrostów rocznych dla pnia P1 wyniosła 1939-2009. Korelacja pomiędzy chronologią stanowiska a pniem P1 wynosi 0,64. Zauważono wyraźne rozbieżności pomiędzy chronologią stanowiska i krzywą z pnia a sekwencją szerokości przyrostów rocznych uzyskanych z korzeni (Tab. 1). Największe rozbieżności pomiędzy szerokością przyrostów rocznych w korzeniach, a chronologią stanowiska wystąpiły w okresie od 1981 do 1994 (Ryc. 5B.). Natomiast pomiędzy krzywą wzrostu z pnia P1, a krzywymi z korzeni okres ten jest krótszy i obejmuje lata 1985-1994.



**Ryc. 5.** Porównanie sekwencji przyrostów rocznych pomiędzy korzeniem K36 (przekroje 1-8), pniem (P1) oraz chronologią stanowiska wartości nieprzetworzone (A), wartości po datowaniu pomostowym (B)

*Fig. 5. Comparison of annual growth series between the root K36 (sections 1-8), the stem (P1) and the local chronology raw data (A), data after cross-section (B)*

**Tab. 1.** Korelacje pomiędzy badanym korzeniem a pniem, z którego pobrano korzeń i chronologią stanowiska

Table 1. Correlation between root and both stem of the same tree and site chronology

	przekroje poprzeczne korzenia K36							
	1	2	3	4	5	6	7	8
pień P1	0,13	0,05	0,08	0,23	0,30	0,24	0,34	0,10
chronologia stanowiska	0,21	0,10	0,13	0,11	0,36	0,22	0,21	0,26

## Wnioski

- Do precyzyjnego rozpoznania i datowania procesów rzeźbotwórczych, jak wykazała analiza przypadku, konieczne jest datowanie pomostowe korzeni z pniem.
- W celu rozpoznania kierunku i etapów rozwoju form erozyjnych konieczne jest szczegółowe rozpoznanie anatomii przyrostów rocznych korzeni na pełnych przekrojach mikroskopowych.
- Badania makroskopowe, jak i mikroskopowe jedynie na wybranych fragmentach korzeni poddanych działaniu procesów erozyjnych mogą prowadzić do przeszacowania lub niedoszacowania rozmiarów działających procesów erozyjnych.
- Występowanie w korzeniach świerka bardzo wąskich oraz wyklinowujących się przyrostów rocznych, wskazuje na możliwość braku niektórych z przyrostów. W związku z tym autorzy zalecają rozbudowanie dotychczasowej metody badań. Istotnym elementem analiz anatomii drewna odslanianych korzeni powinno być wykonywanie datowania pomostowego pomiędzy sekwencją krzywych wzrostu w korzeniach, krzywą wzrostu z pni z których pochodzą korzenie a chronologią stanowiska lub chronologią lokalną.

## Podziękowania

Badania prowadzone w ramach projektu badawczego Narodowego Centrum Nauki *Zapis ekstremalnych zdarzeń opadowych w górnych częściach zlewni karpackich w świetle badań dendrogeomorfologicznych* N N306 264637

## Literatura

- Alestalo J. 1971. *Dendrochronological interpretation of geomorphic processes*. Fennia 105: 1-140.
- Bollschweiler M., Stoffel M., Monbaron M. 2007. *Reconstructing spatio-temporal patterns of debris flow activity using dendrogeomorphological methods*. *Geomorphology* 87: 337-351.
- Carrara P. E., Carroll T. R. 1979. *The determination of erosion rates from exposed tree roots in the Piceance basin*. *Colorado. Earth Surface Processes and Landforms* 4: 307-317.
- Chwistek K. 2003. *Historia lasów i leśnictwa w Gorcach*. Wierchy. Rok sześćdziesiąty ósmy 2002, Kraków. 135-160.
- Gärtner H. 2003. *Holzanatomische Analyse diagnostischer Merkmale einer Freilegungsreaktion in Jahrringen von Koniferenwurzeln zur Rekonstruktion geomorphologischer Prozesse*. *Dissertationes Botanicae* 378: 1-118.
- Gärtner H. 2006. *The applicability of roots in Dendrogeomorphology*. *TRACE - Tree Ring in Archaeology. Climatology and Ecology* 1: 120-124.
- Gärtner H. 2007. *Tree roots-Methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes*. *Geomorphology* 86 (3-4): 243-251.
- 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 (1): 81-91.
- Holmes R. L. 1983. *Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement*. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-77.
- Malik I. 2006. *Contribution to understanding the historical evolution of meandering rivers using dendrochronological methods: example of the Mala Panew River in southern Poland*. *Earth Surf. Process. and Landforms* 31: 1227-1245.

- Malik I. 2008. *Dating of small gully formation and establishing erosion rates in old gullies under forest by means of anatomical changes in exposed tree roots (Southern Poland)*. *Geomorphology* 93 (3-4): 421-436.
- Malik I., Matyja M. 2008. *Bank erosion history of a mountain stream determined by means of anatomical changes in exposed tree roots over the last 100 years (Bílá Opava River - Czech Republic)*. *Geomorphology* 98 (1-2): 126-142.
- Medwecka-Kornaś A. 1955. *Zespoły leśne Gorców*. *Ochr. Przyr.* 23: 1-111.
- Pelfini M., Santilli M. 2006. *Dendrogeomorphological analyses on exposed roots along two mountain hiking trails in the Central Italian Alps*. *Geografiska Annaler. Seria A. Physical Geography* 88 (3): 223-236.
- Pelfini M., Santilli M. 2008. *Frequency of debris flows and their relation with precipitation: A case study in the Central Alps, Italy*. *Geomorphology* 101: 721-730.
- Stoffel M. 2006. *A review of studies dealing with tree rings and rockfall activity: The role of dendrogeomorphology in natural hazard research*. *Natural Hazards* 39: 51-70.
- Stoffel M. 2010. *Magnitude-frequency relationships of debris flows — A case study based on field surveys and tree-ring records*. *Geomorphology* 116: 67-76.
- Stoffel M., Bollschweiler M. 2008. *Tree-ring analysis in natural hazards research — an overview*. *Natural Hazards and Earth System Science* 8: 187-202.
- Strunk H. 1997. *Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods*. *Catena* 31: 137-151.
- Schweingruber F. H. 1991. *Microscopische Holzanatomie. Anatomie microscopique du bois*. *Microscopic Wood Anatomy*, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research.
- Schweingruber F. H. 1996. *Tree Ring and Environment Dendroecology*. Paul Haupt Verlagart, Bern.
- Zielonka T., Holeksa J., Ciapała S. 2008. *A reconstruction of flood events using scarred trees in the Tatra Mountains*. *Dendrochronologia* 26: 173-183.

**Dominika Wrońska-Walach<sup>1\*</sup>, Elżbieta Gorczyca<sup>1</sup>, Agata Buchwał<sup>2</sup>, Joanna Korpak<sup>3</sup>,  
Mateusz Sobucki<sup>1</sup>, Piotr Wałdykowski<sup>4</sup>**

\*dominikia.wronska-walach@uj.edu.pl

<sup>1</sup>Institut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński

<sup>2</sup>Institut Geoekologii i Geoinformacji, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza

<sup>3</sup>Institut Inżynierii i Gospodarki Wodnej, Politechnika Krakowska

<sup>4</sup>Katedra Architektury Krajobrazu, SGGW