

## Zapis denudacji naturalnej i antropogenicznej w odsłoniętych korzeniach świerka (*Picea abies*) (Karpaty fliszowe)

Agata Buchwał\*<sup>1</sup>, Dominika Wrońska-Wałach<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Instytut Paleogeografii i Geoekologii, ul. Dziegiełowa 27, 61-680 Poznań

<sup>2</sup>Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków

### Wprowadzenie

Współcześnie rzeźba Karpat fliszowych jest kształtowana przez zespół procesów denudacyjnych, modyfikowanych w dużym stopniu w wyniku działalności człowieka. Jednymi z podsystemów morfodynamicznych, w których działają procesy denudacyjne we względnie naturalnych warunkach, są leje źródłowe. Cechują się one zróżnicowaną dynamiką procesów. Najbardziej aktywnymi strefami są w nich różnego rodzaju rozcięcia oraz nisze źródłiskowe (Wrońska 2006). Ich rozwój jest złożony i następuje w wyniku erozji liniowej, sufozji, ługowania, erozji wykrotowej oraz w mniejszym stopniu spłyzywania. Na obszarach zalesionych rozwojowi nisz źródłiskowych towarzyszy stopniowe odsłanianie korzeni drzew rosnących w bezpośrednim ich sąsiedztwie. Jest to klasyczny przykład denudacji zachodzącej w warunkach zbliżonych do naturalnych. Jej zapis w postaci powolnych zmian anatomii komórek drewna przedstawiono na rycinie 1A.

Jedne z najbardziej dynamicznych przekształceń w systemie stokowym Karpat fliszowych zachodzą w obrębie rozcięć drogowych i ścieżek turystycznych. W modelowaniu tych form ważną rolę morfotwórczą pełnią procesy morfogenetyczne, w tym głównie erozja wodna. Trudno jednak jednoznacznie stwierdzić, jaki przebieg mają procesy modelujące te formy. Morfometria form jest bowiem odpowiedzią na sekwencję procesów morfogenetycznych, w tym wpływu działalności człowieka na rzeźbę.

Dobłą metodą służącą do określenia dynamiki przebiegu procesów w systemie denudacyjnym jest metoda dendrogeomorfologiczna. Jest ona z powo-

dzeniem stosowana w badaniach osuwisk (Krapiec, Margielewski 2000). Analizy dendrogeomorfologiczne wykonywane są również w oparciu o korzenie drzew, odsłanianych w wyniku działania zróżnicowanych procesów rzeźbotwórczych. Ich przebieg może być modyfikowany poprzez wystąpienie czynnika antropogenicznego.

Jednymi z pierwszych, którzy wykorzystali analizy dendrogeomorfologiczne korzeni do badania procesów stokowych, byli LaMarche (1963, 1968) oraz Alestalo (1971). Pierwsze badania dendrogeomorfologiczne opierały się w głównej mierze na analizie szerokości sekwencji rocznych przyrostów drewna w odsłoniętych korzeniach, głównie drzew iglastych. O wiele bardziej dokładne wyniki można uzyskać z analizy mikroskopowej komórek drewna korzeni, której podstawy wypracowali Fayle (1968) i Schweingruber (1978). W znacznym stopniu do rozwoju analizy dendrogeomorfologicznej korzeni przyczynił się w licznych publikacjach Gärtner (2003, 2006, 2007) oraz Gärtner i in. (2001). Wśród polskich badaczy na uwagę zasługują prace Malika (2005, 2008) oraz Malika i in. (2005, 2008) dotyczące dendrochronologicznego zapisu transformacji rzeźby stoków i dolin.

### Metodyka i obszar badań

Celem opracowania jest analiza zapisu procesów denudacyjnych w świetle badań dendrogeomorfologicznych. Badania były prowadzone w wybranych obszarach polskich Karpat fliszowych. Istotą postępowania badawczego było określenie przebiegu procesów morfogenetycznych prowadzących do

\* e-mail: kamzik@amu.edu.pl

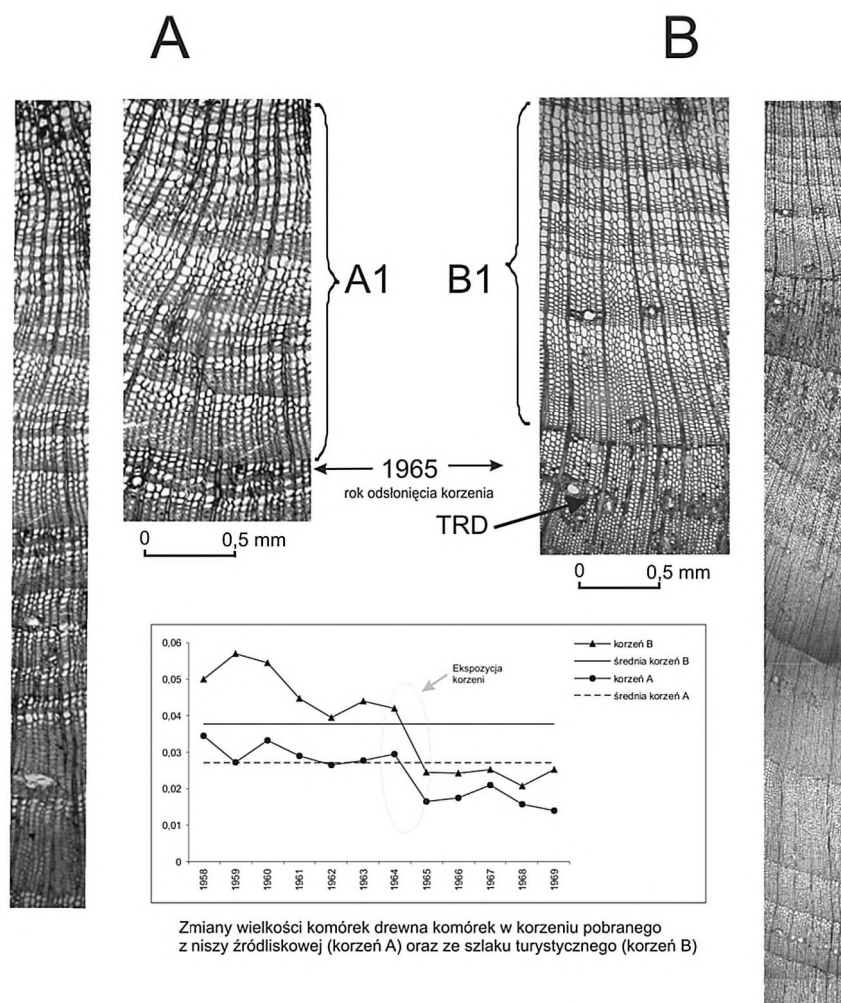


odstąpienia korzeni na stoku. Analizie zostały poddane nisze źródłkowe w obrębie lejów źródłowych potoków gorczańskich oraz ścieżki turystyczne w Masywie Babiej Góry. Próbki zostały pobrane z korzeni świerka zawieszonych w obrębie nisz źródłkowych oraz z połowy długości korzeni świerka (*Picea abies*) odstąpionych w nawierzchni ścieżek turystycznych.

Badania obejmowały prace terenowe i laboratoryjne. Pobór prób został poprzedzony szczegółowym kartowaniem geomorfologicznym badanych obszarów oraz precyzyjną dokumentacją lokalizacji korzeni odstąpionych na działanie czynników zewnętrznych. Dokumentacja obejmowała: pomiar wysokości zawieszenia korzenia nad aktualną powierzchnią terenu, określenie orientacji korzenia względem nachylenia stoku oraz pomiar średnicy korzenia. Korzenie zostały pobrane w formie dysków o długości do 10 cm, w odległości minimum 0,5 m od pnia drzewa. Taka procedura została przyjęta w celu uniknięcia błędów interpretacyjnych związanych z asymetrycznym przyrostem korzenia, wywołanym przez naprężenia mechaniczne pnia drzewa (LaMarche 1968).

Badania laboratoryjne zostały wykonane według procedury zaproponowanej przez Schweingruber (1978). Autorki opracowania zapoznały się z metodyką analiz dendroindykacyjnych w ramach 7th International Winter School „Wood Anatomy of Tree Rings”, która odbyła się w Davos-Laret w 2007 r. Pobrane próbki zostały wysuszone, a następnie wypolerowane papierem ściernym o zróżnicowanej granulometrii. Tak przygotowane próbki były analizowane pod binokulem, w celu identyfikacji stref wyraźnych zmian anatomicznych drewna w sekwencji przyrostów rocznych. Z wybranych krążków przygotowano, z użyciem mikrotomu saneczkowego GSL 1, cienkie (10–20 µm) płytki do obserwacji mikroskopowej. Preparaty zostały umieszczone na szkiełku mikroskopowym, zabarwione roztworem Szafraniny i Astra blue, zatopione w balsamie kanadyjskim oraz wysuszone w temperaturze 60°C.

Odczyt zapisu procesów denudacyjnych opierał się na prześledzeniu zmian anatomicznych komórek drewna wczesnego i późnego w rocznych przyrostach drewna korzeni odstąpionych (ryc. 1). Pod uwagę brano zmiany średniej wielkości pojedynczych ko-



**Ryc. 1.** Zmiany anatomiczne komórek drewna korzeni świerka (*Picea abies*) powolnie odstąpianych w obrębie niszy źródłkowej (A) oraz w obrębie szlaku turystycznego (B)  
A1, B1 – typowa struktura komórek drewna w korzeniu (przed ekspozycją), TRD – traumatyczne kanały żywiczne



mórek drewna wczesnego w każdym rocznym przyroście korzenia. Za moment całkowitego odsłonięcia korzenia uznano, za Gärtnerem (2001), rok, w którym redukcja wielkości komórek drewna wczesnego względem poprzedzającego rocznego przyrostu wynosi 50% i więcej. Pomiary wielkości komórek wykonano w programie graficznym ImageJ.

## Wyniki analiz dendrogeomorfologicznych korzeni świerka (*Picea abies*)

Odsłanianie korzeni, zarówno w obrębie lejów źródłowych, jak i ścieżek turystycznych jest powszechne. Poddany analizie korzeń świerka (*Picea abies*) został pobrany z peryferyjnej części niszy źródłkowej (korzeń A, ryc. 1). Do 1960 r. widoczna jest w nim struktura komórek drewna typowa dla korzeni rosnących w znacznym oddaleniu od aktualnej powierzchni terenu. Komórki drewna wczesnego są duże i występują w jednym lub dwóch rzędach. Drewno późne jest w znacznym stopniu zredukowane (ryc. 1A). W kolejnych latach, aż do 1964 r. włącznie, widać stopniowy wzrost ilości komórek drewna późnego bez wyraźnych zmian wielkości komórek drewna wczesnego. Taka struktura komórek drewna jest typowa dla korzenia znajdującego się blisko powierzchni terenu. W 1965 r. widoczna jest (około 50%) redukcja wielkości komórek drewna wczesnego. Wyraźna zmiana wielkości komórek jest efektem ostatecznego odsłonięcia korzenia na działanie czynników zewnętrznych.

Korzeń B został pobrany z nawierzchni ścieżki turystycznej. Głównym procesem prowadzącym do odsłaniania korzeni w obrębie ścieżek jest wydeptywanie, stąd też zapis anatomiczny komórek drewna w korzeniu może być w tym wypadku traktowany jako zapis denudacji antropogenicznej. W analizowanym korzeniu (ryc. 1B) w roku 1965 zaznacza się drastyczny spadek wielkości komórek drewna wczesnego, którym towarzyszy jednocześnie zwiększenie liczby komórek drewna późnego. Zmniejszenie wielkości komórek w stosunku do poprzedniego roku wynosi około 60% i jest precyzyjnym zapisem momentu odsłonięcia korzenia na ścieżce. Warto zwrócić uwagę, iż odsłonięciu korzenia towarzyszy wykształcenie licznych kanałów żywicznych, które są dowodem na to, iż odsłonięty korzeń był poddany postępującej presji mechanicznej. Liczba zagęszczonych przewodów żywicznych wykształconych kolejno po sobie świadczy, iż korzeń był poddany stresowi mechanicznemu kilka razy lub w sposób ciągły podczas całego sezonu wegetacyjnego.

## Dyskusja i podsumowanie

Zastosowanie metody dendrogeomorfologicznej pozwala na precyzyjne, z dokładnością do jednego roku, określenie dynamiki funkcjonowania systemu fluwialno-denudacyjnego i jest zapisem przebiegu procesów erozyjno-denudacyjnych. Porównanie anatomii drewna korzeni odsłoniętych przez procesy naturalne, a także przy znacznym udziale procesów antropogenicznych, pozwala na wyodrębnienie pewnych cech anatomii drewna typowych dla korzeni poddanych stresom mechanicznym, rozumianych jako składowa antropopresji. W obu przypadkach analizowanych korzeni następuje zmiana wielkości komórek drewna i wyraźny jest stopniowy przyrost komórek drewna późnego, co stanowi dokładny zapis denudacji i powolnego odsłaniania. Jednak w przypadku korzenia B, odsłoniętego przy znacznym udziale antropopresji, zmiany w wielkości komórek drewna wczesnego są zdecydowanie większe niż w przypadku korzenia A, odsłoniętego na skutek denudacji naturalnej. Ponadto w korzeniach poddanych presji antropogenicznej wyraźnie zapisują się sygnały dużego stresu mechanicznego, jakim jest poddawany korzeń zagrzebany płytka w pokrywie glebowej oraz korzeń już odsłonięty.

Szczególną uwagę podczas analizy korzenia B zwrócono na zagęszczenie i wystąpienie zwiększonej liczby kanałów żywicznych, zaszeregowanych w rzędach i występujących nawet częściej niż raz w obrębie jednego przyrostu rocznego. Są to tzw. traumatyczne kanały żywiczne (TRD, ang. *traumatic resin ducts*), a ich wystąpienie należy wiązać z reakcją korzenia na bardzo silny impuls erozyjny (Schweingruber 1978), który w przypadku korzeni pobranych ze ścieżek może być powiązany z reakcją korzenia na nadmierne deptanie. Analizie poddany został korzeń z odcinka szlaku z naturalną nawierzchnią, nie podlegającej wcześniejszym remontom. Traumatyczne kanały żywiczne są widoczne w korzeniu już odsłoniętym. Jest to więc dowód na to, iż reakcją korzenia związana jest ściśle z mechanicznym na niego oddziaływaniem, a więc ze składową denudacji antropogenicznej, i nie zależy w tym wypadku od reakcji korzenia na dostępność światła czy zmianę warunków wilgotności.

Wykorzystanie metody dendrogeomorfologicznej dla określenia przebiegu procesów morfogenetycznych modelujących stoki ma swoje istotne zalety. Metoda ta daje bowiem możliwość rekonstrukcji tempa procesów, dla określonego okresu wegetacyjnego, zapisanego w sekwencji rocznych przyrostów drewna w korzeniu. Uzyskanie tego typu danych w tak dokładnej skali jest niemożliwe z zastosowaniem jedynie kartowania geomorfologicznego. Przy korzystnej sytuacji terenowej, a więc przy dużej dostępności materiału do badań, odsłonięte korzenie w obrębie danej formy stają się doskonałym źródłem danych ilościowych. Stąd też metoda dendrogeomor-



fologiczna, bazująca na analizie korzeni drzew, znajduje coraz szersze zastosowanie.

Uszczegółowienia wymaga jedynie określenie metodyki poboru próbek korzeni, a więc liczby oraz sposobu poboru drewna do analiz z części odsłoniętych korzeni. Z tego względu pożądane są prace metodyczne, których dobrym przykładem jest praca zespołowa Vandekerckhove i in. (2001) oraz Malika (2008).

W przypadku wykorzystania metody dendrogeomorfologicznej do rekonstrukcji procesów morfogenetycznych dopracowania wymaga również interpretacja zapisów w anatomii drewna. Stąd też wynika konieczność przeprowadzenia eksperymentów terenowych.

## Literatura

- Alestalo J. 1971. Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. *Fennia*, 105: 1–140.
- Fayle D.F.C. 1968. Radial Growth in Tree Roots – Distribution, Timing, Anatomy. Faculty of Forestry, University of Toronto, Technical report No. 9, Toronto.
- 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.
- 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. [W:] G. Schleser i in. (red.), TRACE – Tree Rings in Archeology. *Climatology and Ecology*, 1: 120–124.
- Gärtner H. 2007. Tree roots – Methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes. *Geomorphology*, 86: 243–251.
- Krapiec M., Margielewski W. 2000. Analiza dendrogeomorfologiczna ruchów masowych na obszarze polskich Karpat Fliszowych. *Kwartalnik AGH, Geologia*, 26, 2: 141–171.
- LaMarche Jr. V.C. 1963. Origin and geologic significance of buttress roots of bristlecone pines, White Mountains, California. U.S. Geological Survey Professional Paper 475C, C149–C150.
- LaMarche Jr. V.C. 1968. Rates of slope degradation as determined from botanical evidence, White Mountains, California. U.S. Geological Survey Professional Paper, 32-I: 341–377.
- Malik I. 2005. Przebieg erozji wąwozowej na podstawie datowania odsłonięcia korzeni drzew – na przykładzie badań z Wysoczyzny Proboszczowskiej (Wyżyna Śląska). *Przegląd Geograficzny*, 77, 3: 367–381.
- Malik I. 2008. Dendrochronologiczny zapis współczesnych procesów rzeźbotwórczych kształtujących stoki i doliny rzeczne wybranych stref krajobrazowych Europy Środkowej. *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego* 2566: 1–156.
- 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.
- Malik I., Owczarek P. 2005. Wykorzystanie odsłoniętych korzeni drzew do określenia przebiegu erozji zboczy dolin i dostawy zwietrzelin do koryt rzek górskich (Sudety Wschodnie). *Czasopismo Geograficzne*, 77 (1–2): 101–116.
- Schweingruber F.H. 1978. *Mikroskopische Holz Anatomie*. Swiss Federal Institute of Forestry Research, Birmensdorf.
- Wrońska D. 2006. Wpływ działalności człowieka na funkcjonowanie lejów źródłowych w Gorcach. [W:] A. Latocha, A. Traczyk (red.), *Zapis działalności człowieka w środowisku przyrodniczym. Metody badań i studia przypadków*. Wrocław, s. 96–105.
- Vandekerckhove L., Muys B., Poesen J., De Weerd B., Coppe N. 2001. A method for dendrochronological assessment of mediumterm gully erosion rates. *Catena*, 45: 123–161.