

# Rzeźbotwórcza rola wezbrań o różnej wielkości zapisana w anatomii drewna drzew, przykład z Hrubego Jesenika (Sudety Wschodnie)

*Ireneusz Malik, Małgorzata Wistuba, Robert Stopka, Karolina Trąbka*

**Abstrakt.** Datowano epizody odsłaniania korzeni dokumentujących erozję brzegów w trzech potokach (Hrubý Jeseník, Sudety Wschodnie). Odsłanianie zachodziło zarówno podczas dużych, jak i niewielkich wezbrań. Stwierdzono, że erozja boczna występuje w korytach badanych potoków praktycznie corocznie. Kartowania geomorfologiczne wykonane przed i po niewielkim wezbraniu z września 2007 roku udokumentowały duże zmiany morfologii den dolin górskich potoków i rzeki głównej. Stwierdzono, że najczęściej podczas niewielkich wezbrań zachodzą przepływy poza korytami głównymi, co powoduje erozję i sedymentację poza strefą przepływów średnich. Podczas dużych wezbrań liczne są przypadki przerzucania koryt i porzucania starych biegów. W korytach często powstają nowe zatory grubego rumoszu drzewnego, a stare są niszczone. Powstają także nowe odsypy korytowe, a stare są nadbudowywane lub rozcinane.

**Słowa kluczowe:** niewielkie wezbrania, odsłonięte korzenie, powtarzalne kartowania geomorfologiczne, Sudety Wschodnie

**Abstract.** We have dated events of root exposure, which record bank erosion in three streams (Hrubý Jeseník, Eastern Sudetes). Exposure occurred both during large and smaller floods. We have found out that lateral erosion in channels of studied streams occur almost every year. Geomorphic mapping conducted before and after flood in September 2007 has recorded significant changes in morphology of valley floors of mountain streams and main river. We have found that during big floods the most common changes are overbank flows, which cause erosion and deposition outside the zone of normal, average flows. Cases of channel avulsion and abandonment are numerous. As a result of small floods new dams of coarse woody debris are created in channels, the old ones are destroyed. New alluvial bars are deposited, the old ones are refreshed or dissected.

**Keywords:** small floods, exposed roots, repeated geomorphic mapping, Eastern Sudetes

## Wstęp

Podczas dużych powodzi dochodzi do znacznych zmian w rzeźbie dolin potoków górskich. Ekstremalne powodzie niejednokrotnie powodują śmierć wielu ludzi, niszczenie budynków mieszkalnych oraz poważne uszkodzenia infrastruktury. Z tego powodu często finansowane są badania mające na celu wyjaśnienie uwarunkowań dużych powodzi, ich przebiegu oraz skutków, w tym geomorfologicznych. Do najbardziej istotnych skutków geomorfologicznych dużych wezbrań rzek i potoków górskich należy między innymi niszczenie zapór przeciwrumowiskowych, co związane jest z transportem znacznej ilości rumoszu w dół biegu (Gutiérrez et al. 1998). Podczas dużych wezbrań zachodzi także erozja boczna i denna koryt oraz pozakorytowa depozycja materiału

w obniżeniach dolinnych (Klimek 1989; Hauer et al. 2009). W wyniku wzmożonej erozji i akumulacji koryta są poszerzane, powstają nowe łachy śródkorytowe, natomiast stare bywają nadbudowywane lub rozmywane (Bryant et al. 1999).

Do tradycyjnych metod badań skutków geomorfologicznych wezbrań należą obserwacje terenowe, powtarzalne kartowania geomorfologiczne oraz analizy zdjęć lotniczych (Sloan et al. 2001; Arnaud-Fassetta et al. 2005; Fuller 2008). Nowoczesną metodą stosowaną w tego typu badaniach, jest automatyczny system monitoringu erozji i depozycji materiału (Bryant et al. 1999; Lawler 2005). W badaniach nad zapisem wezbrań w rzeźbie terenu stosowana jest także metoda dendrochronologiczna. Analizy zmian anatomicznych drewna drzew, np. drewno reakcyjne, dekoncentryczny przyrost, rany czy nagromadzenia kanałów żywicznych, pozwalają rekonstruować wpływ poszczególnych powodzi na zmiany rzeźby terenu (Alestalo 1971; Shroder et al. 1987; Hupp et al. 1996). Odsłonięte korzenie drzew porastających strefę przykorytową, dokumentują dawną erozję brzegu (Vandekerckhove et al. 2001). Po epizodzie erozyjnym, który odsłonił korzeń, wykształcane są przyrosty roczne z mniejszymi i bardziej licznymi cewkami, co pozwala wydatować moment wezbrania (Malik 2006; Gärtner 2007; Malik et al. 2008).

Badania prowadzono w Hrubým Jeseníku (Sudety Wschodnie), z którego obszaru znane są katastrofalne skutki największych powodzi w latach 1903, 1921 i 1997. Zniszczonych zostało wówczas wiele budynków oraz zginęło kilkanaście osób (Polách et al. 1998). Odnotowano również znaczne zmiany w morfologii stoków i koryt rzecznych (Klimek et al. 2003, Malik et al. 2009). Nadal brakuje natomiast informacji o przebiegu niewielkich wezbrań i ich roli morfogenetycznej. Dotychczas prowadzone badania przypisują rolę rzeźbotwórczą głównie dużym wezbraniom, wydaje się natomiast, że znacznie częściej występujące niewielkie wezbrania, również istotnie wpływają na zmiany w morfologii dolin rzecznych.

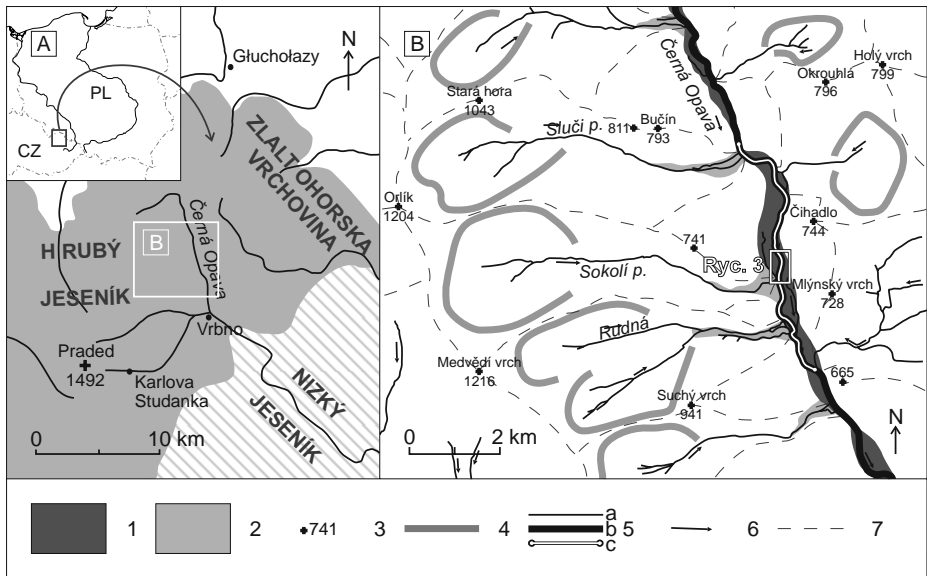
Celem prezentowanych badań było określenie, czy doliny rzeki Černéj Opavy i wybranych trzech jej dopływów były przekształcane podczas niewielkich wezbrań. W tym celu wydatowano dendrochronologicznie sygnały erozji korytowej, porównano je z przebiegiem sum opadów oraz maksymalnymi miesięcznymi przepływami Opavy. Drugim celem było wykazanie, na podstawie powtarzalnych kartowań geomorfologicznych, zmian w rzeźbie dolin potoków powstałych na skutek niewielkich wezbrań.

## **Materiał i metody**

Badania dendrogeomorfologiczne przeprowadzone zostały w dolinach trzech dopływów Černéj Opavy (Sluči, Sokoli, Rudná), odwadniających wschodnie stoki masywu Orlíka (Hrubý Jeseník, Sudety Wschodnie, Republika Czeska; Ryc. 1). Najwyższe szczyty masywu to Medvědí Vrch (1216 m n.p.m.) i Orlík (1203 m n.p.m.). Zlewnie potoków położone są w zalesionym obszarze średniogórskim.

Pod względem geologicznym zlewnie potoków należą do jednostek Orlíka i Vrbna, stanowiących część metamorfiku wschodniosudeckiego (Stupnicka 1989). W podłożu zlewni występują: blastomylonity, meta-granity, kwarcyty i fiyllity (Geologická... 1992, 1997). W dolnym biegu potoki rozcinają niewielkie i strome, plejstocenyjskie stożki aluwialne o powierzchni 0,093-0,133 km<sup>2</sup> oraz nachyleniu >100‰.

Obszar badań należy do strefy klimatu umiarkowanego z rocznymi sumami opadów sięgającymi 1500 mm. Typowe dla Hrubého Jeseníka, są intensywne opady o sumach rzędu 220 mm na dobę, a nawet 260-300 mm w ciągu 5-12 godzin. Przypadki takie obserwowano podczas ekstremalnych wezbrań (Gába et al. 1997; Štekl et al. 2001). W analizowanych zlewniach brak monitoringu meteorologicznego i hydrologicznego, dlatego analizowano dane opadowe z posterunków ułożonych w Heřmanovicach (miejscowość położona 4 km na północny-wschód) oraz w Rejvízie (5 km na północ). Stacje znajdują się na podobnej wysokości, co stanowiska badawcze. Dane hydrologiczne (maksymalne miesięczne przepływy Opavy) pochodzą z posterunku pomiarowego w Karlovicach (10-15 km w dół biegu od ujść badanych potoków i odcinka rzeki głównej).



**Ryc. 1.** Położenie obszaru badań na tle terytorium Polski, Czech i Hrubého Jeseníka (A) oraz w masywie Orlicka (B)

1 – dolina Černéj Opavy, 2 – stożki aluwialne, gdzie pobierano próby korzeni, 3 – szczyty górskie, 4 – leje źródłowe, 5 – koryta a – potoków, b – rzeki Černéj Opavy, c – przeanalizowany odcinek koryta Černéj Opavy, 6 – kierunki odpływu, 7 – działy wodne

*Fig. 1. Location of the study area in relation the territory of Poland, Czech Republic and Hrubý Jeseník (A) and in the Orlick massif (B)*

1 – Černá Opava valley, 2 – alluvial fans, where samples of roots were taken, 3 – mountain peaks, 4 – valley heads, 5 – channels of: a – streams, b – Černá Opava river, c – analysed section of Černá Opava channel, 6 – flow directions, 7 – watersheds

Epizody wezbraniowe wyznaczono pośrednio analizując opady dobowe większe od 100 mm, z posterunków w Rejvízie i Heřmanovicach w latach 1895-2010 oraz maksymalne miesięczne przepływy większe niż 30 m<sup>3</sup>/s w Karlovicach w latach 1975-2010 (Ryc. 2.). Dendrochronologicznie wyznaczono wiek odsłonięcia 77 korzeni świerków (*Picea abies* Karst.) pobranych z erodowanych brzegów potoków Sluči, Sokoli i Rudná. Próby pobierano w lipcu-sierpniu 2007 roku przy użyciu piły ręcznej. Mierzono odległość korzeni od podcinanej powierzchni i wysokość ich odsłonięcia w stosunku do dna koryta.

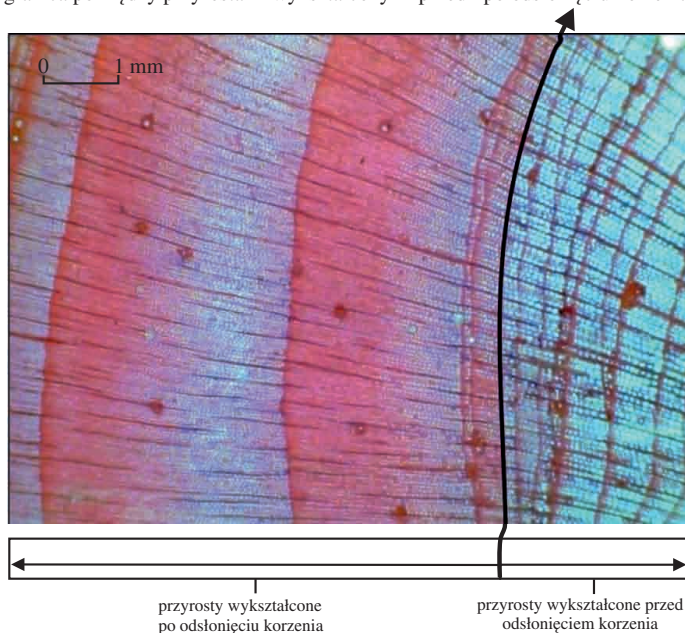
Pobrane próby zeszlifowano i datowano na wygładzonych powierzchniach z użyciem lupy binokularnej. Próby o trudnej do odczytania strukturze anatomicznej (58 prób) ścinano przy użyciu mikrotomu uzyskując cienkie (15-20 μm) plastry przekrojów poprzecznych korzeni, w których pod mikroskopem analizowano budowę poszczególnych przyrostów rocznych. Szerokość plastrów obejmowała przyrosty pomiędzy środkiem korzenia a jego korą. W przypadku dużych korzeni sporządzono po kilka preparatów różnych ich fragmentów. Zarówno pod binokulem na szlifach, jak i pod mikroskopem w preparatach cienkich epizody erozyjne były datowane przy założeniu, że korzeń wykształcał pod odsłonięciem mniejsze i liczniejsze cewki. Rok, w którym doszło do odsłonięcia wyznaczano przez obliczenie wieku przyrostów rocznych, w obrębie których zidentyfikowano zmiany anatomiczne (Malik 2006; Gärtner 2007; Malik et al. 2008).

Przeprowadzone badania polegały głównie na szczegółowym kartowaniu geomorfologicznym den dolin i koryt potoków górskich w skali 1:50 i 1:100. Kartowanie stożków aluwialnych w końcowych odcinkach dolin potoków przeprowadzono w lipcu 2007 roku, następnie powtórzono je po wezbraniu we wrześniu tego samego roku.

## Wyniki i dyskusja

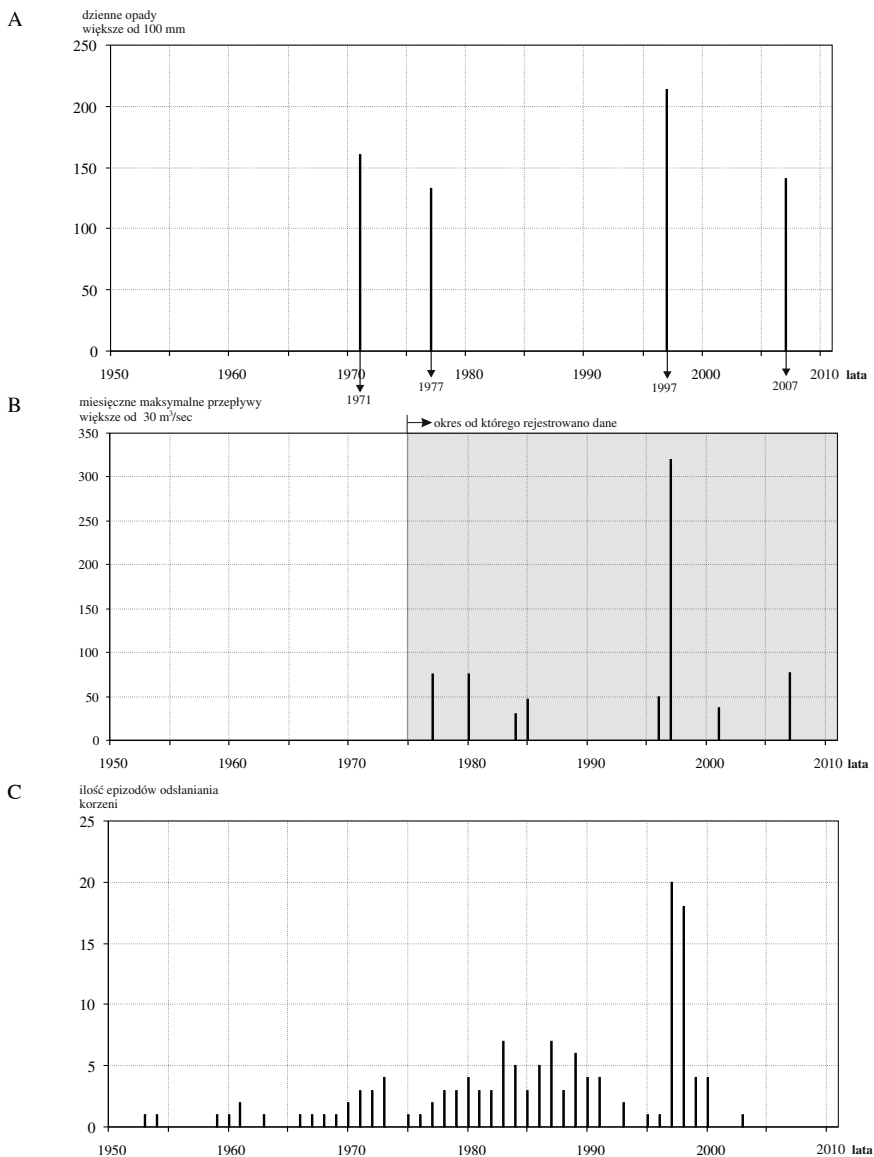
Odslanianie korzenie dokumentują poszerzanie bocznych podcięć erozyjnych w korytach rzecznych. Wyznaczone daty częściowo korespondują z dużymi opadami i przepływami zarejestrowanymi na stacjach meteorologicznych i posterunkach hydrologicznych. Szczególnie silną erozję boczną zanotowano w 1997 roku, kiedy odsłoniętych zostało aż 20 korzeni (Ryc. 2., Fot. 1.). Pozostałe wezbrania zarejestrowane na stacjach nie są aż tak dobrze udokumentowane epizodami erozyjnymi. Może to wynikać z faktu, iż drzewa których korzenie zostały odsłonięte wcześniej np. w latach 1971 czy 1977 (lata z dużymi opadami) zostały obalone podczas powodzi w 1997 roku. Niewielkie wezbrania wynikające z opadów, jakie miały miejsce w latach 1980, 1984 i 1985 znajdują częściowo potwierdzenie w datowaniach odsłaniania korzeni. W latach 80. XX w. wyraźnie odnotowano wzrost ilości odsłaniania korzeni, co oznacza że wezbrania spowodowały erozję brzegów. W czasie powodzi w 1997 roku zostały udokumentowane masowe powaly drzew w korytach rzek sudeckich, ponadto część z dawniej odsłoniętych korzeni mogła zostać wyłamana (Malik, Matyja 2008).

granica pomiędzy przyrostami wykształconymi przed i po odsłonięciu korzenia



**Fot. 1.** Przykład zmian anatomicznych spowodowanych odsłonięciem korzenia spowodowanym erozją w 1997 roku (zmniejszenie wielkości komórek drewna, pojawienie się wyraźnego drewna późnego)

*Photo 1. An example of anatomical disturbances caused by root exposure by erosion in 1997 (reduction of cell diameter in wood, clear occurrence of latewood)*



**Ryc. 2.** Porównanie danych meteorologicznych i hydrologicznych z datami odsłaniania korzeni w korytkach potoków: dzienne opady >100 mm na posterunkach opadowych Heřmanovice i Rejvíz w latach 1950-2010 (A), miesięczne przepływy >30 m³/s w Karlovicach w latach 1975-2010 (B), ilość odsłoniętych korzeni (C)

*Fig. 2. Comparison of meteorological and hydrological data with the time of root exposure in stream channels: daily precipitation >100 mm on gauging stations Heřmanovice and Rejvíz gauge in 1950-2010 (A), monthly discharges >30 m³/s in Karlovice in 1975-2010 (B), number of exposed roots (C)*

Widoczne jest także charakterystyczne opóźnienie zapisu odsłaniania korzeni o 1 rok w stosunku do wystąpienia epizodu wezbraniowego. Widać to wyraźnie w przypadku powodzi w 1997 roku, kiedy duża część korzeni zapisała sygnały o odsłonięciu w przyroście wytworzonym w 1998 roku (Ryc. 2). Oznacza to, że nawet w przypadku gdy odsłonięcie ma miejsce w trakcie okresu wegetacyjnego (np. powódź w lipcu 1997) część korzeni może zapisać sygnał z rocznym opóźnieniem. Chodzi tu głównie o korzenie które zostały odsłonięte a następnie zranione i wytworzyły wąskie przyrosty roczne. Struktura słoików nie pozwala wtedy na precyzyjne (z dokładnością roczną) wydatowanie epizodu erozji.

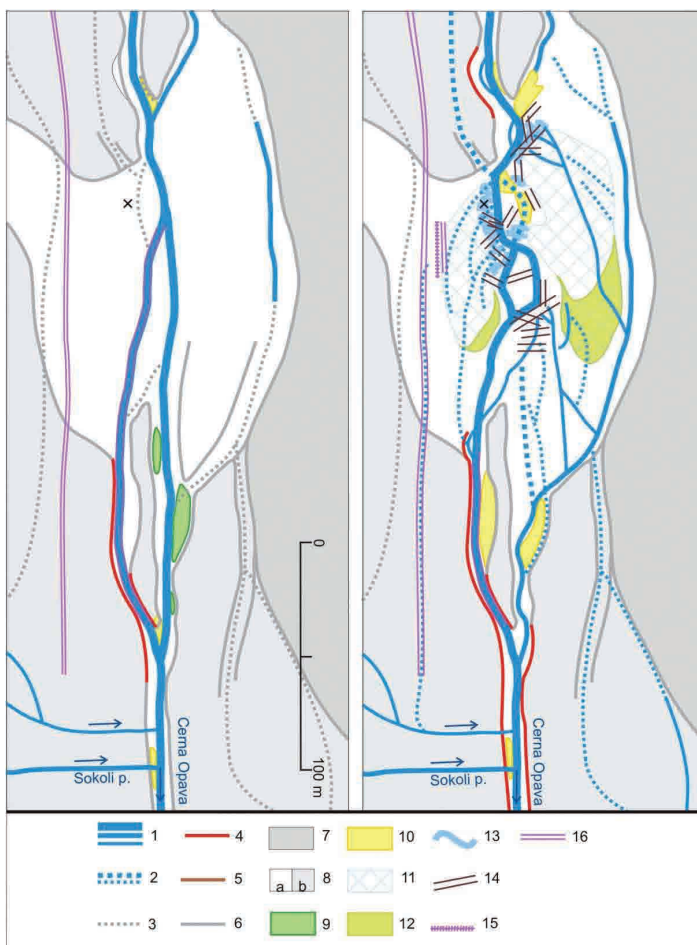
Korzenie były odsłaniane od lat 60 XX wieku, praktycznie każdego roku, oznacza to, że erozja brzegu w badanych potokach zachodzi w efekcie oddziaływanie nawet niewielkich wezbrań. Praktycznie w każdym roku, w wyniku topnienia pokrywy śnieżnej lub intensywnych opadów, lokalnie zachodzi erozja boczna w korycie rzek i potoków płynących w Hrubym Jeseníku. Nawet niewielkie opady nieprzekraczające wartości średnich mogą powodować erozję w badanych korytach.

Średniej wielkości wezbranie (woda 10-letnia) miało miejsce od 3 do 9 września 2007 roku (Ryc. 2). Mimo stosunkowo niewielkiej skali epizodu nastąpiły wówczas znaczne zmiany geomorfologiczne w dolinach badanych potoków i w dolinie rzeki głównej. Kartowanie przed i po wezbraniu ujawniło, że w obrębie doliny Černéj Opavy doszło do licznych epizodów przeczucania koryta (przykład: Ryc. 3.). W strefach przepływu poza korytem głównym wystąpiła sedimentacja i erozja materiału. Lokalnie doszło także do powstawania zatorów grubego rumoszu drzewnego, które wymuszały przepływ w nowych strefach doliny, co powodowało erozję dna i brzegów nowych koryt (Fot. 2). Część starszych zatorów została rozbita w czasie powodzi z września 2007 roku. W korytach powstawały liczne odsypy, w obrębie brzegów wystąpiła erozja materiału. Liczne odsypy które istniały przed 2007 rokiem zostały rozmyte.



**Fot. 2.** Zator z grubego rumoszu drzewnego wymuszający przerzut koryta Černéj Opavy po wezbraniu we wrześniu 2007 roku

*Photo 2. Coarse woody debris dam causing the shift of Černa Opava channel formed during flood of 2007*



**Ryc. 3.** Różnice w rzeźbie terenu doliny Černéj Opavy przed (lewo) i po (pravo) wezbraniem we wrześniu 2007 roku

1 - koryta główne, stale aktywne, 2 - koryta aktywne podczas powodzi we wrześniu 2007, 3 - nieaktywne koryta, 4 - aktywne podcięcia brzegów, 5 - porzucone podcięcia, 6 - nieaktywne podcięcia, 7 - stoki, 8 - dna dolin (poziomy: a - niższy, b - wyższy), 9 - nieaktywne odsypy korytowe, 10 - odsypy korytowe uformowane/przekształcone podczas powodzi we wrześniu 2007, 11 - strefy powierzchniowego odpływu wody, 12 - strefy depozycji mulów, drobnych piasków, drobnego rumoszu organicznego, 13 - strefy przelewów, 14 - zatory z grubego rumoszu drzewnego, 15 - sztuczne groble, nasypy, 16 - sztuczne koryta

*Fig. 3. Differences in morphology of Černa Opava valley before (left) and after (right) flood in September 2007*

1 - permanently active channels, 2 - channels active during the flood in 09. 2007, 3 - inactive channels, 4 - active undercuts, 5 - abandoned undercuts, 6 - inactive undercuts, 7 - slopes, 8 - valley bottom (levels: a - lower, b - higher), 9 - inactive channel bars, 10 - channel bars formed/refreshed during the flood in September 2007, 11 - sheet flow zones, 12 - mud, fine sand, fine organic debris deposition, 13 - overflow zones, 14 - dams of coarse wooden debris, 15 - artificial weirs, 16 - artificial channels

Zmiany geomorfologiczne, które wystąpiły w czasie stosunkowo niewielkiego wezbrania w 2007 roku na potokach Sluči, Sokoli i Rudná przedstawia tabela 1. Stwierdzono lokalne różnice w intensywności oddziaływania procesów geomorfologicznych. Najbardziej rozległe i trwałe zmiany morfologii zaszyły w obrębie dna doliny Černéj Opavy i stożka potoku Sluči. W przypadku potoków Sokoli i Rudná miało na ogół miejsce jedynie okresowe uruchomienie suchych wcześniej koryt oraz zniszczenie i utworzenie nowych zatorów rumoszu drzewnego.

**Tab. 1.** Typy zmian morfologii dna dolin potoków Sluči, Sokolí, and Rudná powstałe w czasie wezbrania we wrześniu 2007 oraz ich liczba w poszczególnych badanych odcinkach dolin  
*Table 1. Types of morphological changes occurring on Sluči, Sokolí, and Rudná valley floors during the flood in September 2007 and their number in single studied valley sections*

	Sluči	Sokolí	Rudná
przeływ wezbraniowy poza korytem głównym	6	1	6
powstanie nowych odsypów korytowych	1	1	-
rozdzielenie nurtu	1	1	-
powstanie zatorów grubego rumoszu drzewnego	1	1	1
nadbudowa zatorów grubego rumoszu drzewnego	1	-	1
rozbicie zatorów grubego rumoszu drzewnego	-	-	3
przerzucanie koryta i porzucenie starego biegu/biegów	1	1	-
rozmycie odsypów korytowych	-	1	-
erozja boczna - pogłębienie podcięć bocznych	-	2	1

## Wnioski

- Analiza datowania czasu odsłonięcia korzeni pobranych z brzegów trzech badanych potoków wykazała, że w ciekach górskich odwadniających masyw Hrubého Jeseníka erozja boczna występuje nawet w czasie niewielkich wezbrań, które nie zapisują się w danych pochodzących z meteorologicznych i hydrologicznych stacji pomiarowych. Erozja boczna brzegów potoków zachodzi pod wpływem wezbrań praktycznie corocznie.
- Większe wezbrania powodują stosunkowo duże zmiany morfologii den dolin rzek górskich. Podczas tych wezbrań najczęściej występują przeplawy pozakorytowe, obniżeniami powierzchni stożków, w tym dawnymi porzuconymi biegami cieków. Powoduje to erozję i sedymentację w nowych strefach den dolin. Liczne są przypadki przerzucania koryt i porzucania dotychczasowych biegów cieków. Powstają nowe i niszczone są stare zatory grubego rumoszu drzewnego. Powstają także nowe odsypy korytowe, a stare są nadbudowywane lub rozcinane. W korytach potoków i rzek zachodzi intensywna erozja boczna.

## Literatura

- Alestalo J. 1971. *Dendrochronological interpretation of geomorphic processes*. Fennia 105: 1-140.
- Arnaud-Fassetta G., Cossart E., Fort M. 2005. *Hydro-geomorphic hazards and impact of man-made structures during the catastrophic flood of June 2000 in the Upper Guil catchment (Queyras, Southern French Alps)*. Geomorphology 66: 41-67.
- Bryant G., Gilvear D. 1999. *Quantifying geomorphic and riparian land cover changes either side of a large flood event using airborne remote sensing: River Tay, Scotland*. Geomorphology 29: 307-321.
- Fuller I. 2008. *Geomorphic impacts of a 100-year flood: Kiwitea Stream, Manawatu catchment, New Zealand*. Geomorphology 98: 84-95.
- Gába Z., Gába Z. 1997. *Povodeň v čerevence 1997 jako přírodní jev*. Severní Morava 74: 5-30.
- Gärtner H. 2007. *Tree roots- Methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes*. Geomorphology 86: 243-251.



- Geologická Mapa ČR 1: 50 000. 1992. *Vrbno pod Pradědem*. Český geologický ústav.
- Geologická Mapa ČR 1: 50 000. 1997. *Bělá pod Pradědem*. Český geologický ústav.
- Gutiérrez F. 1998. *Geomorphological and sedimentological analysis of a catastrophic flash flood in the Arás drainage basin (Central Pyrenees, Spain)*. *Geomorphology* 22: 265-283.
- Hauer C., Habersack H. 2009. *Morphodynamics of a 1000-year flood in the Kamp River, Austria, and impacts on floodplain morphology*. *Earth Surface Processes and Landforms* 34: 654-682.
- Hupp C. R., Osterkamp W. R. 1996. *Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes*. *Geomorphology* 14: 277-295.
- Klimek K. 1989. *Flood plains activity during floods in small mountain valleys, The Bieszczady Mts, The Carpathians, Poland*. *Quaestiones Geographicae* 2: 93-100.
- Klimek K., Malik I., Owczarek P., Zygmunt E. 2003. *Climatic and human impact on episodic alluviation in small mountain valleys, The Sudetes*. *Geographia Polonica* 76: 55-64.
- Lawler D. M. 2005. *The importance of high-resolution monitoring in erosion and deposition dynamics studies: examples from estuarine and fluvial systems*. *Geomorphology* 64:1-23.
- Malik I. 2006. *Contribution to understanding the historical evolution of meandering rivers using dendrochronological methods: example of the Mała Panew River in southern Poland*. *Earth Surface Processes and Landforms* 31: 1227-1245.
- 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*: 126-142.
- Malik I., Owczarek P. 2009. *Dendrochronological records of debris flow and avalanche in a mid-mountain forest zone (Eastern Sudetes - Central Europe)*. *Geochronometria* 34: 57-66.
- Polách D., Gába Z. 1998. *Historie povodní na šumperském a jesenickém okrese*. *Severní Morava* 75: 3-30.
- Shroder J. F., Butler D. R. 1987. *Tree-ring analysis in the earth sciences*. W: Jacoby G.C., Hornbeck J. W. *Proceedings of the International Symposium on Ecological Aspects of Tree-ring Analysis*. Lamont-Dougherty Geological Observatory & U.S. Department of Agriculture: 186-212.
- Sloan J., Miller J., Lancaster N. 2001. *Response and recovery of the Eel River, California, and its tributaries to floods in 1955, 1964, and 1997*. *Geomorphology* 36:129-154.
- Stupnicka E. 1989. *Geologia regionalna Polski*. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Štekl J., Brázdil R., Kakos V., Jež J., Tolasz R., Sokol Z. 2001. *Extrémní denní srazkové úhrny na území České republiky v období 1879-2000 a jejich synoptické příčiny*. Praha.
- Vandekerckhove L., Muys B., Poesen J., De Weerd B., Coppé N. 2001. *A method for dendrochronological assessment of medium term gully erosion rates*. *Catena* 45: 123-161.

**Ireneusz Malik\*, Małgorzata Wistuba, Robert Stopka, Karolina Trąbka**  
\*irekgeo@wp.pl

Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski