

# Zróznicowane tempo erozji rzecznej w polskich Karpatach zewnętrznych: wskaźnik młodych ruchów tektonicznych?

Witold Zuchiewicz\*

*Tempo erozji rzecznej obliczone dla wybranych segmentów dolin polskich Karpat zewnętrznych wykazuje wartości zróżnicowane zarówno w poszczególnych piętrach czwartorzędu, jak i różnych jednostkach fizjograficznych. U schyłku plejstocenu obserwuje się wzrost tempa rozcinania cokołów skalnych tarasów wzdłuż czoł niektórych nasunięć. Uśrednione prędkości erozji rzecznej dla całego czwartorzędu są natomiast porównywalne z długookresowym tempem podnoszenia izostatycznego Karpat zewnętrznych.*

**Słowa kluczowe:** tempo erozji rzecznej, czwartorzęd, neotektonika, polskie Karpaty Zachodnie

---

Witold Zuchiewicz — **Variable rates of fluvial erosion in the Polish Outer Carpathians as an indicator of young tectonic movements (southern Poland).** Prz. Geol., 47: 854–858.

*S u m m a r y.* Rates of river downcutting, calculated for selected segments of the Polish Carpathian rivers in different time intervals, are differentiated both in time and space, increasing however in late Pleistocene times in frontal parts of some nappes. Average rates of downcutting in the whole of the Quaternary are, in turn, comparable to those of long-term isostatic uplift of the Western Carpathians.

**Key words:** rates of river downcutting, Quaternary, neotectonics, Polish Western Carpathians

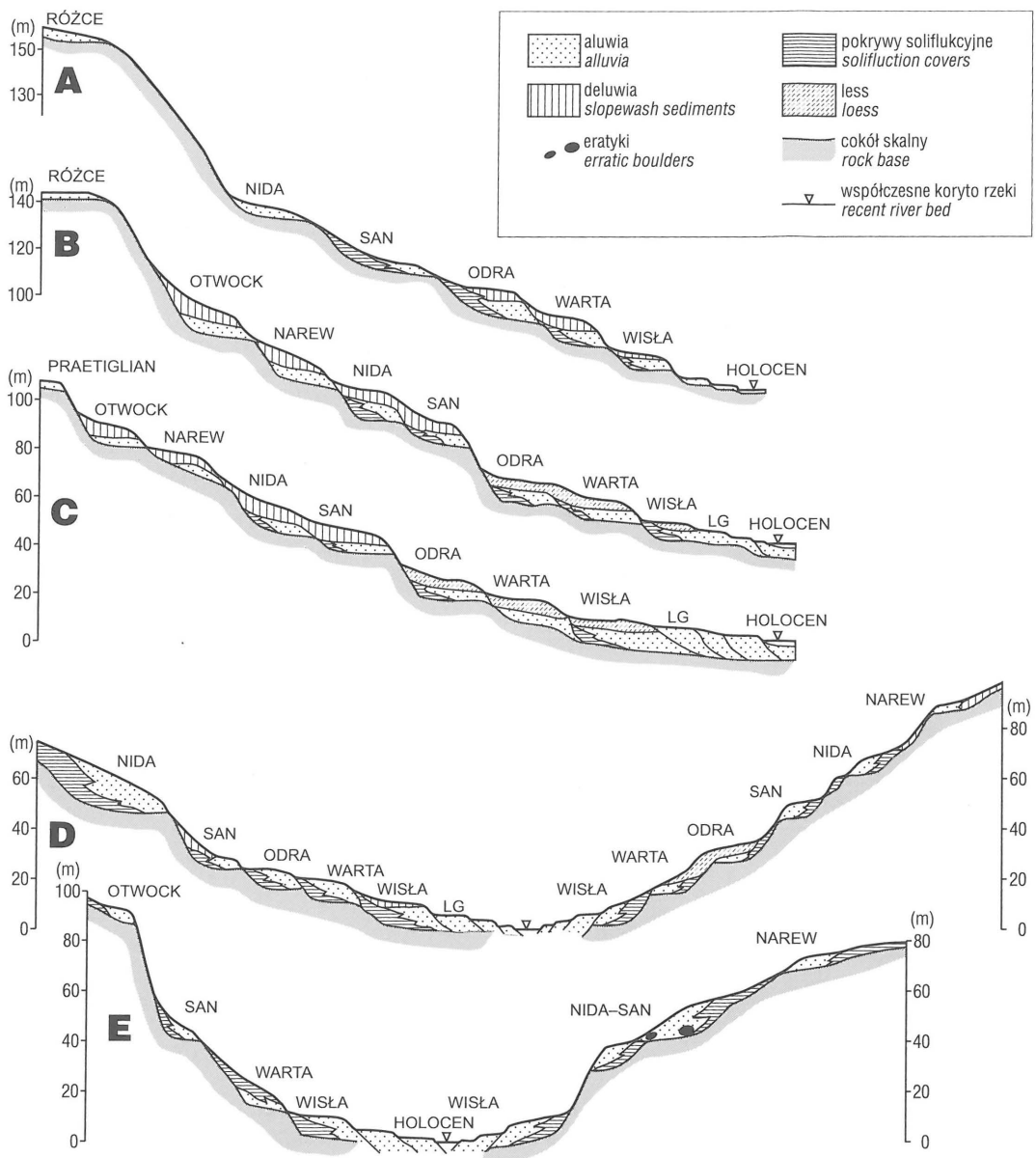
---

Ruchy nasuwcze w polskim segmencie Karpat zewnętrznych były efektem ukośnej konwergencji płyt północ-

noeuropejskiej i panońskiej (Oszczypko & Ślącza, 1985), w większości zakończonej u schyłku miocenu. Ruchy nasuwcze przebiegały nieprzerwanie między środkowym burdygałem i serrawalem, z prędkością zmieniającą się od 7,7 do 12,3 mm/rok, maksymalnie osiągając 20 mm/rok (Oszczypko, 1998). Prowadzone ostatnio analizy zbilanso-

---

\*Instytut Nauk Geologicznych Uniwersytet Jagielloński, ul. Oleandry 2A, 30-063 Kraków; e-mail: witold@ing.uj.edu.pl



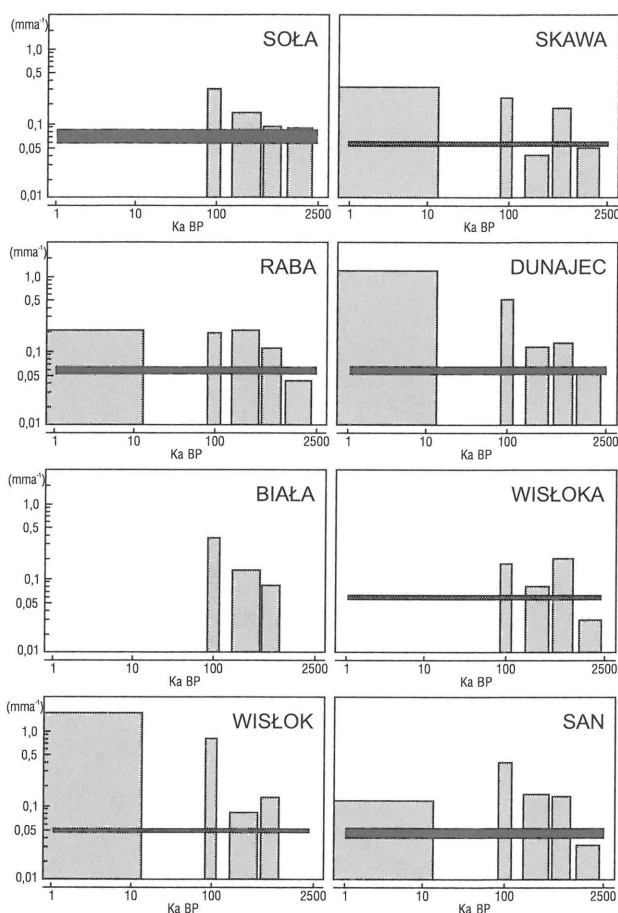
**Ryc. 1.** Schemat klimatostratygraficzny czwartorzędowych osadów rzecznych i stokowych w dolinie Dunajca: A — Beskid Sądecki, B — Pogórze Łącko—Podegrodzkie, C — Kotlina Sądecka, D — Beskid Wyspowy, E — Pogórze Ciężkowickie

**Fig. 1.** Climatostratigraphic subdivision of Quaternary fluvial and slope sediments in the Dunajec river valley: A — Beskid Sądecki Mts., B — Łącko—Podegrodzie Foothills, C — Nowy Sącz Basin, D — Beskid Wyspowy Mts., E — Ciężkowice Foothills. Names above individual terraces refer to climatostratigraphic stages distinguished in the Polish Quaternary

wanych przekrojów geologicznych przez omawiany fragment Karpat sugerują, iż jedyną możliwością deformacji tektonicznych w pliocenie i czwartorzędzie stwarzało uaktywnienie wewnętrznych części orogenu w strefach nasunięć pozasekwencyjnych, wstecznych nasunięć w obrębie płaszczyny śląskiej oraz niektórych uskoku (m.in., Roure i in., 1993; Decker i in., 1997). Minimalne, szacowane wielkości wypiętrzenia izostatycznego Karpat zewnętrznych w trakcie ostatnich 10–11 mln lat wynoszą od ok. 1000 m w Beskidach Zachodnich do 260–360 m na Pogórzu Karpackim (Oszczypko, 1996).

Mierzone geodezyjnie tempo ruchów pionowych w Karpatach polskich zmienia się od 0 do +1 mm/rok (Czarnecka, 1986; Nikonov i in., 1987); ruchy poziome, zanotowane jak dotychczas tylko w pienińskim pasie skałkowym, osiągają prędkość ok. 0,5 mm rocznie (Ząbek i in., 1993).

Doliny Karpat zewnętrznych zawierają 5–9 stopni tarasów wieku czwartorzędowego. Większość tarasów plejstoceńskich to tarasy skalno-osadowe lub typu *complex-response* (Bull, 1990); jedynie najmłodsze tarasy vistuliańskie oraz holocenijskie, za wyjątkiem stref osiowych podnoszonych neotektonicznie elewacji (np. Beski-



**Ryc. 2.** Tempo czwartorzędowego rozcinania cokołów skalnych tarasów rzecznych w dolinach rzek rozcinających podnoszone neotektonicznie morfostruktury polskich Karpat zewnętrznych (według Zuchiewicza, 1998; zmodyfikowane). Linie pogrubione oznaczają średnie prędkości erozji w głębszej w całym czwartorzędzie

**Fig. 2.** Rates of Quaternary downcutting of straths in those segments of the Polish Carpathian rivers that dissect neotectonically uplifted structures (based on Zuchiewicz, 1998; modified). Solid lines denote average rates of fluvial erosion in the whole of Quaternary

du Sądeckiego; por. Zuchiewicz, 1984; Starkel, 1985), są tarasami akumulacyjnymi włożonymi. Schemat klimatostatygraficzny różnowiekowych pokryw tarasów w polskim segmencie Karpat zewnętrznych przedstawia ryc. 1, zestawiona na podstawie badań autora w dolinie Dunajca.

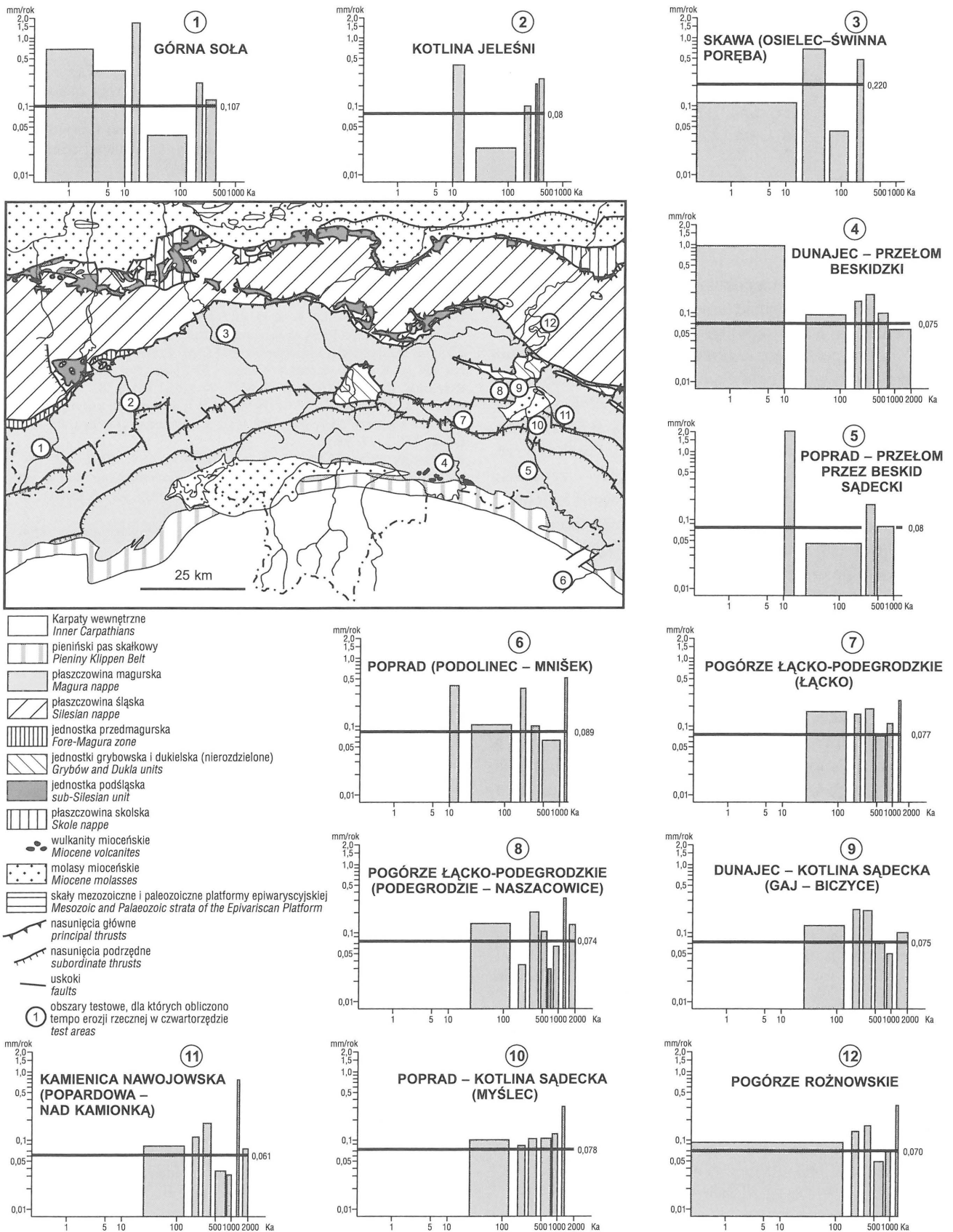
Profile podłużne cokołów skalnych tarasów skalno-osadowych często ujawniają konwergencję, dywergencję, względnie pochylenie, sugerując rolę czynnika tektonicznego (np. Zuchiewicz, 1984; Henkiel i in., 1988, Wójcik, 1989). Ponadto, rozmiary i tempo rozcinania cokołów tarasów o porównywalnym wieku w różnych jednostkach morfotektonicznych są różne (por. ryc. 2, 3).

Sumaryczne rozmiary czwartorzędowego rozcięcia erozyjnego cokołów skalnych tarasów skalno-osadowych w polskich Karpatach zewnętrznych zmieniają się od kilkudziesięciu do ok. 150 m (Zuchiewicz, 1984, 1987), a obliczone dla kolejnych pięter czwartorzędowych prędkości rozcinania mieszczą się w przedziale 0,15 do 2,0 mm/rok (Zuchiewicz, 1998).

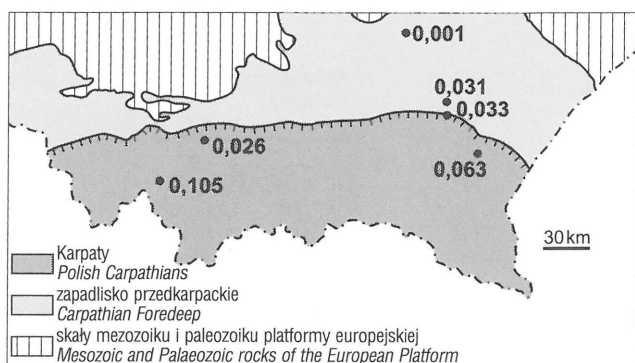
Znajomość tempa erozji rzecznej umożliwia zrozumienie ewolucji krajobrazu, warunkowanej przez czynniki klimatyczne i tektoniczne (Schumm, 1977; Young & McDougall, 1993; Starkel, 1994). Zróżnicowanie prędkości wcinania się rzeki wzdłuż jej profilu podłużnego umożliwia rekonstrukcję układu przestrzennego struktur podnoszonych tektonicznie (Burbank i in., 1996; Granger i

in., 1997). Tempo erozji rzecznej zależy w głównej mierze od zmienności czynników klimatycznych w kolejnych cyklach glacialno-interglacialnych (por. dyskusję w Starkel, 1985, 1994), ale jego zróżnicowanie przestrzenne w obrębie tej samej strefy klimatycznej może być kontrolowane przez tendencje tektoniczne. Rozcinanie wąskich koryt rzecznych było ograniczone do wczesnych faz interglacialnych, następujących po fazie rozcinania pokryw periglacialnych i glacialnych w późnym glacialu wcześniejszego zlodowacenia (Starkel, 1985).

Rycina 2 przedstawia prędkości rozcinania cokołów tarasów w tych segmentach rzek Karpat zewnętrznych, które rozcinają struktury elewowane w pliocenie i czwartorzędzie. Należą do nich przełomy: Soły przez Beskid Mały, Skawy i Raby przez Beskid Żywiecki, Dunajca przez Beskid Sądecki, Białej Dunajcowej przez Pogórze Ciężkowickie, Wiślaki przez Pogórze Strzyżowskie, Wiśloka przez brzeźną część Beskidu Niskiego oraz Sanu przez Bieszczady Niskie. Zróżnicowane tempo rozcinania różnych obszarów zachodniego segmentu polskich Karpat zachodnich w porównywalnych interwałach czasowych ilustruje ryc. 3. Tarasy holoceneskie ujawniają obecność cokołów skalnych jedynie w osiowych strefach elewacji neotektonicznych, a największe tempo ich rozcinania zanotowano w Beskidzie Sądeckim oraz wzdłuż północnej krawędzi wschodniej części Beskidu Niskiego. Uśrednio-



Ryc. 3. Prędkości czwartorzędowego rozcięcia erozyjnego cokołów skalnych różnych jednostek fizjograficznych zewnętrznych Karpat zachodnich, na przykładzie wybranych obszarów testowych  
 Fig. 3. Rates of Quaternary fluvial downcutting of straths in different physiographic units of the Outer West Carpathians, shown for selected test areas



**Ryc. 4.** Tempo wypiętrzania izostaticznego Karpat polskich w ciągu ostatnich 10 mln lat (mm/rok; obliczone według danych Oszczytko, 1996)

**Fig. 4.** Rates of isostatic uplift of the Polish Carpathians during the last 10 m. y., in mm/yr (calculated from the data provided by Oszczytko, 1996)

ne prędkości rozcinania cokołów skalnych w czwartorzędzie są zbieżne z „długookresowym” tempem podnoszenia izostaticznego Karpat zewnętrznych (ryc. 4).

W skali polskiego segmentu Karpat zewnętrznych wyróżniono trzy interwały czasowe o wzmożonej intensywności erozji wgłębnej (Zuchiewicz, 1998): 800–472 ka (0,15–0,21 mm/rok), 130–90 ka (0,18–0,40 mm/rok) oraz ostatnie 15 tys. lat (0,2–2,0 mm/rok). Prędkości rzeczyste musiały być nieco większe, jeśli — zgodnie z opinią Starkla (1985) — zawęzić czas trwania kolejnych epizodów głębokiego rozcinania koryt rzek interglacialnych do 10–20 tys. lat. Na uwagę zasługuje wyraźnie wyższe tempo erozji wgłębnej, zwłaszcza u schyłku plejstocenu, wzdłuż czoł niektórych nasunięć (np. podjednostki raczańskiej na podjednostkę Siar płaszczowiny magurskiej oraz płaszczowiny śląskiej w Beskidach Zachodnich, czy też dukielskiej we wschodniej części Karpat). Mierzone współcześnie prędkości erozji wgłębnej są zdecydowanie wyższe, przekraczając m.in. w Gorcach 3 mm rocznie (Niemirowski, 1974). Wiąże się to zarówno z nieporównywalnie krótszym okresem pomiarowym, jak również z wpływem działalności gospodarczej człowieka.

## Literatura

- BURBANK D. W., LELAND J., FIELDING E., ANDERSON R. S., BROZOVIC N., REID M. R. & DUNCAN C. 1996 — Bedrock incision, rock uplift, and threshold hillslopes in the northwestern Himalayas. *Nature*, 379: 505–510
- BULL W. B. 1990 — Stream-terrace genesis: implications for soil development. *Geomorphology*, 3: 351–367.
- CZARNECKA K. 1986 — Uwarunkowania strukturalne współczesnych ruchów tektonicznych pienińskiego pasa skałkowego w rejonie Czorsztyna. *Prz. Geol.*, 34: 556–560.
- DECKER K., NESCIERUK P., REITER F., RUBINKIEWICZ J., RYŁKO W. & TOKARSKI A. K. 1997 — Heteroaxial shortening, strike-slip faulting and displacement transfer in the Polish Carpathians. *Prz. Geol.*, 45: 1070–1071.
- GRANGER D. E., KIRCHNER J. W. & FINKEL R. C. 1997 — Quaternary downcutting rate of the New River, Virginia, measured

from differential decay of cosmogenic  $^{26}\text{Al}$  and  $^{10}\text{Be}$  in cave-deposited alluvium. *Geology*, 25: 107–110.

- HENKIEL A., PEKALA K. & POPRAWA D. 1988 — Wycieczka C. Geomorfologia, geologia czwartorzędu oraz wybrane zagadnienia z geologii inżynierskiej i hydrogeologii Karpat Przemyskich i Przedgórze. [W:] J. Kotlarczyk (red.) — *Przew. 59 Zjazdu Pol. Tow. Geol.*, Przemysł, 16–18.09.1988. Wyd. AGH, Kraków: 191–258.
- NIEMIROWSKI M. 1974 — Dynamika współczesnych koryt potoków górskich na przykładzie potoków Jaszczce i Jamne w Gorcach. *Pr. Inst. Geogr. UJ*, 34: 1–98.
- NIKONOV A. A., SKRYL V. A. & LISOVETS A. G. 1987 — A new version of the map of recent vertical crustal movements in the Carpatho-Balkan region based on the collocation method. *J. Geodynamics*, 8: 337–345.
- OSZCZYPKO N. 1996 — Mioceńska dynamika polskiej części zapadliska przedkarpackiego. *Prz. Geol.*, 44: 1007–1018.
- OSZCZYPKO N. 1998 — The Western Carpathian Foredeep — development of the foreland basin in front of the accretionary wedge and its burial history. *Geol. Carpathica*, 49: 415–431.
- OSZCZYPKO N. & ŚLĄCZKA A. 1985 — An attempt to palinspastic reconstruction of Neogene basins in the Carpathian Foredeep. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 55: 55–75.
- ROURE F., ROCA E. & SASSI W. 1993 — The Neogene evolution of the outer Carpathian flysch units (Poland, Ukraine and Romania): kinematics of a foreland/fold-and-thrust belt system. *Sedim. Geol.*, 86: 177–201.
- SCHUMM S. A. 1977 — Applied fluvial geomorphology. [W:] J. R. Hails (red.) — *Applied Geomorphology*. Elsevier, Amsterdam: 119–156.
- STARKEL L. 1985 — Controversial opinions on the role of tectonic movements and climatic changes in the Quaternary evolution of the Polish Carpathians. *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 19: 45–60.
- STARKEL L. 1994 — Reflection of the glacial-interglacial cycle in the evolution of the Vistula river basin, Poland. *Terra Nova*, 6: 486–494.
- WÓJCİK A. 1989 — Systemy teras rzecznych dorzecza Koszarawy w Beskidzie Żywieckim i ich związek z ruchami tektonicznymi. *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 22 (1988): 21–45.
- YOUNG R. & McDOUGALL I. 1993 — Long-term landscape evolution: Early Miocene and modern rivers in southern New South Wales, Australia. *J. Geol.*, 101: 35–49.
- ZĄBEK Z., BARLIK M., KNAP T., MARGAŃSKI S. & PACHUTA A. 1993 — Continuation of geodynamic investigations in the Pieniny Klippen Belt, Poland, from 1985 to 1990. *Acta Geophys. Pol.*, 41: 131–150.
- ZUCHIEWICZ W. 1984 — The Late Neogene-Quaternary tectonic mobility of the Polish West Carpathians. A case study of the Dunajec drainage basin. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 54: 133–189.
- ZUCHIEWICZ W. 1987 — The Beskid Niski Mts., Polish Outer Carpathians: neotectonics of low mountains within watershed areas. *Bull. INQUA Neotectonics Comm.*, 10: 35–39.
- ZUCHIEWICZ W. 1998 — Quaternary tectonics of the Outer West Carpathians, Poland. *Tectonophysics*, 297: 121–132.