

Lesław BOBER, Nestor OSZCZYPKO

O METODYCE ANALIZY
PODŁUŻNYCH PROFILI RZEK
W BADANIACH NEOTEKTONIKI NA PRZYKŁADZIE
RZEK PODHAŁA (POLSKIE KARPATY WEWNĘTRZNE)

(10 fig.)

*Techniques of the analysis of longitudinal river
profiles used in neotectonic investigations
(Podhale Region, Polish Central Carpathians)*

(10 Figs.)

Lesław Bober, Nestor Oszczytko: Techniques of the analysis of longitudinal river profiles used in neotectonic investigations (Podhale Region, Polish Central Carpathians). *Summary*. Ann. Soc. Geol. Poloniae 54–1/2: 191–208, 1984. Kraków.

Abstract: Longitudinal profiles of the Podhale rivers (Polish Central Carpathians) have been analysed by using mathematical modelling. The applicability of particular models to detection of river profile's breaks has been tested. Exponential functions do not serve this purpose when related to mountain rivers. However, polynomials of the 4th and 5th order fit the real profiles best and make it possible to estimate the amplitude and sign of recent tectonic movements.

Key words: neotectonics, longitudinal river profile, mathematical modelling, Podhale Region, Polish Central Carpathians.

Lesław Bober, Nestor Oszczytko. Geological Institute, Carpathian Branch, 1 Skrzatów St., 31-560 Kraków.

manuscript received: April, 1981

accepted: December, 1982

Treść: W pracy przeanalizowano podłużne profile rzek Podhala (polskie Karpaty Wewnętrzne) za pomocą modelowania matematycznego. Badano przydatność poszczególnych modeli do wykrywania deformacji profilu rzeki. Stwierdzono, że krzywe typu wykładniczego nie spełniają tych wymagań dla rzek górskich, natomiast krzywe wielomianów stopnia czwartego i piątego uwypuklają istniejące deformacje. Na podstawie wykrytych zaburzeń podjęto próbę określenia amplitudy i znaku współczesnych ruchów tektonicznych.

WSTĘP

W 1967 r. pierwszy z autorów pod wpływem pracy Sokołowskiego i Wołkowa (1965) zainteresował się możliwością wykorzystania analizy profili rzek Podhala

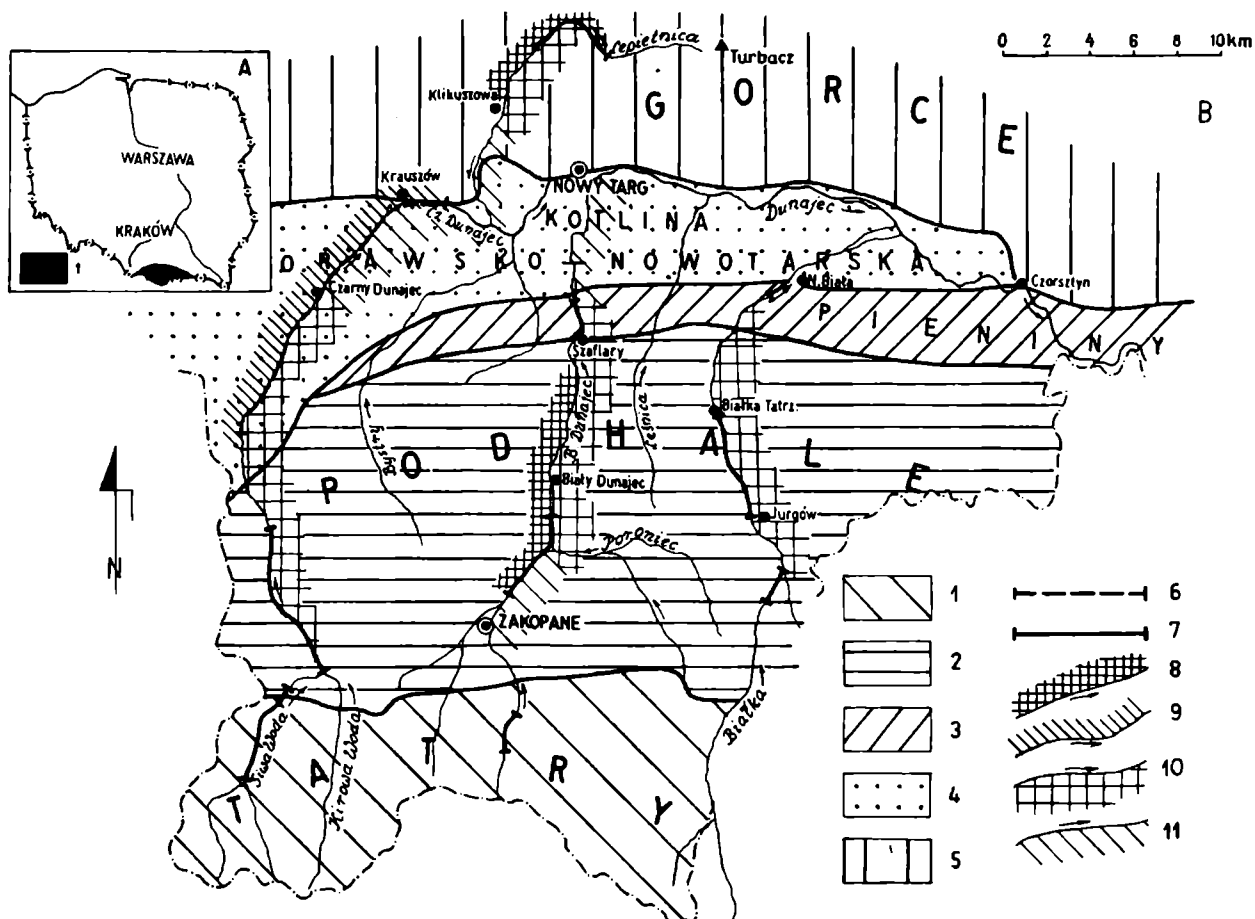


Fig. 1A. Szkic usytuowania omawianego obszaru. 1 - Podhale
 Fig. 1A. Location map of the investigated area. 1 - Podhale Region

Fig. 1B. Szkic deformacji profili podłużnych rzek Podhala. 1 - trzon krystaliczny Tatr wraz z jednostkami wierzchowymi i reglowymi, 2 - flisz podhalański, 3 - pieniński pas skałkowy, 4 - zapadlisko Kotliny Orawsko-Nowotarskiej, 5 - jednostka magurska, 6 - deformacje ujemne profilu rzeczywistego rzeki, 7 - deformacje dodatnie profilu rzeczywistego rzeki, 8 - dodatnie anomalie na krzywej stopnia piątego, 9 - ujemne anomalie na krzywej stopnia piątego, 10 - dodatnie anomalie na krzywej stopnia czwartego, 11 - ujemne anomalie na krzywej stopnia czwartego

Fig. 1B. Disturbances in longitudinal profiles of the Podhale rivers. 1 - crystalline core of the Tatra Mts. together with the High-Tatric and Sub-Tatric units, 2 - Podhale Flysch, 3 - Pieniny Klippen Belt, 4 - Orava - Nowy Targ Basin, 5 - Magura Unit, 6 - negative deformations of the topographical river's profile, 7 - positive deformations of the topographical river's, 8 - positive anomalies of the curve of the 5th order, 9 - negative anomalies of the curve of the 5th order, 10 - positive anomalies of the curve of the 4th order, 11 - negative anomalies of the curve of the 4th order

do zagadnień neotektonicznych (fig. 1A). Wykorzystując metodykę podaną przez powyższych autorów obliczono profile teoretyczne dla Czarnego Dunajca, Białego Dunajca, Białki i Lepietnicy. Profile te porównano z rzeczywistymi profilami rzek. Z porównania tego nie wynikały jednak żadne istotne wnioski dotyczące neotektoniki Podhala. W związku z powyższym dalsze studia nad tym problemem poniechano.

Po ukazaniu się pracy Zuchewicza (1979) autorzy niniejszej pracy ponownie zainteresowali się tym problemem. Ważnym elementem zachęcającym do podjęcia tych prac była możliwość wykorzystania maszyny cyfrowej do obliczeń.

WPROWADZENIE W METODYKĘ

W dotychczasowych próbach wykorzystania profili rzek do zagadnień neotektonicznych punktem wyjścia była analiza porównawcza profilu rzeczywistego z teoretycznym profilem podłużnym. Profil podłużny rzeczywisty wykreśla się na podstawie map topograficznych w odpowiedniej skali. Znacznie większe trudności powstają przy próbie określenia profilu teoretycznego rzeki. Dotychczas nie został on jednoznacznie matematycznie zdefiniowany.

Wychodząc z równania różniczkowego Greena i Wittsa (Scheidegger, 1974) opisującego przepływ gazu (dyfuzję) przez ośrodki porowe, Scheidegger (1974) uważa, iż profil podłużny rzeki można opisać za pomocą równania wykładniczego:

$$S = S_0 \exp(-aL)$$

gdzie:

- S – kąt nachylenia (spadek rzeki),
- L – odległość od źródeł lub od początku danego odcinka rzeki,
- S_0 – spadek rzeki przy ujściu,
- a – stała.

Do opisu profilu rzeki Strahler (1964) stosował równania typu:

$$\begin{aligned} Y &= a - bX \\ \log Y &= a - bX \\ Y &= a - b \log X \\ \log Y &= \log a - b \log X \end{aligned}$$

gdzie:

- Y – wysokość danego punktu ponad ujściem,
- X – odległość danego punktu od źródeł,
- a i b – współczynniki równań.

W 1951 r. Ivanov zaproponował ilościową charakterystykę profilu podłużnego rzeki na podstawie stosunku między dwiema powierzchniami prostokąta opisanego wokół profilu rzeki. Stosunek ten nazwał on „wskaźnikiem formy n ”, będący równocześnie wskaźnikiem stopnia równania paraboli:

$$h = H \left(\frac{l}{L} \right)^n$$

gdzie:

- h – wysokość punktu nad ujściem rzeki, w m,
- H – różnica wysokości pomiędzy źródłem i ujściem rzeki, w m,
- L – długość rzeki od źródeł do ujścia, w km,
- l – odległość od ujścia rzeki do dowolnego punktu na paraboli, w km.

Uzyskana parabola stanowi krzywą generalizującą linię realnie istniejącego profilu podłużnego. Według Sokołowskiego i Wołkova (1965) dla podłużnych profili nizinnych rzek Ukrainy wartość n wynosi od 0,69 do 4,94. Na podstawie wartości n autorzy ci wyróżniają zasadnicze formy:

wklęsłe ($n > 1$) i wypukłe ($n < 1$)

Krzywe wklęsłe, hiperboliczne dzielą się na podgrupy: a) bliskie prostolinijne ($n = 1 - 1,5$), b) słabo wklęsłe ($n = 1,5 - 4,0$) i silnie wklęsłe ($n > 4$). Analizując deformacje profili podłużnych rzek Ukrainy autorzy ci doszli do wniosku, że 85,7% stwierdzonych deformacji pochodzi od zaburzeń tektonicznych, 6% wywołanych jest litologiczno-petrograficznymi zmianami skał podłoża, a 8,3% powodują czynniki hydrologiczne.

Rozwijając koncepcje Ivanova (1951), Sokołowski i Wołkow (1965) charakteryzują holocenijskie ruchy neotektoniczne, wykorzystując wielkość deformacji profilu podłużnego w stosunku do profilu geometrycznego. Deformacja jest dodatnia, jeżeli dany odcinek profilu rzeczywistego znajduje się powyżej krzywej teoretycznej, ujemna – jeżeli poniżej. Na podstawie tych przesłanek konstruowane są mapy wielkości deformacji wynikających z ruchów neotektonicznych.

ANALIZA PODŁUŻNYCH PROFILI RZEK

W celu ustalenia przydatności metodyki Ivanova dla warunków karpaccich zastosowano ją do analizy rzek Podhala. Wybrano Czarny Dunajec, Biały Dunajec i Białkę, rzeki mające źródła w Tatrach Zachodnich i Wysokich. Rzeki te przecinają w poprzek kilka ważnych jednostek tektonicznych różnego rzędu takich, jak: masyw krystaliczny oraz jednostka wierchowa i regłowa Tatr, flisz podhalański, pieniński pas skałkowy oraz jednostka magurska (fig. 1B). W analizie uwzględniono

Tabela – Table 1
Zestawienie wielkości parametru n dla rzek Podhala

RZEKA	Według Zuchewicza (1979)	Według autorów
CZARNY DUNAJEC	1,356	4,496
BIAŁY DUNAJEC	1,099	4,043
BIAŁKA	1,075	2,586
LEPIETNICA	–	3,06

także rzekę Lepietnicę wypływającą z Gorców i przecinającą tylko jednostkę magurską. Oprócz wymienionych elementów strukturalnych jednostkę tektoniczną niższego rzędu tworzy zapadlisko Kotliny Orawsko-Nowotarskiej, wypełnione osadami neogeńsko-plejstocenijskimi. Jednostka ta nałożona jest na flisz podhalański, pieniński pas skałkowy oraz jednostkę magurską. Wszystkie wymienione rzeki w dolnym biegu płyną w obrębie zapadliska Kotliny Orawsko-Nowotarskiej.

Profile podłużne rzek opracowano na podstawie map topograficznych w skali 1:50 000. Początek profilu stanowiło ujście rzeki, a koniec najwyższej położone źródła. Za ujście Czarnego Dunajca i Białego Dunajca przyjęto punkt połączenia tych rzek pod Nowym Targiem.

Po wykreśleniu profili obliczono wskaźnik n (tab. 1). Wynosi on: dla Czarnego

Dunajca 4,5. Białego Dunajca 4,04, dla Białki 2,58 oraz dla Lepietnicy 3,06. Za pomocą wzoru Ivanova (1951) obliczono dla poszczególnych rzek ich profile teoretyczne (fig. 2–7), uzyskując zbiór krzywych o różnym stopniu wklęsłości. Najbardziej wklęsły jest profil Czarnego Dunajca, najmniej profil Białki. Krzywe teoretyczne porównano z profilami rzek. We wszystkich przypadkach uzyskano podobne zależności, to jest w odległości od 1/5 (Lepietnica) do 1/3 (Białka) od źródeł profil rzeczywisty rzeki zawsze znajdował się poniżej krzywej teoretycznej. Pozostała część profilu rzeczywistego aż do ujścia leżała natomiast powyżej. Stosując zatem opisaną metodykę można by dojść do wniosku, iż w rozpatrywanym obszarze obniżeniu ulegają zawsze obszary źródłowe, a wyniesieniu środkowy i dolny bieg rzeki. Tego rodzaju wnioski pozostają w generalnej sprzeczności z dotychczasowymi poglądami na temat ruchów neotektonicznych omawianego regionu. Powstaje zatem podejrzenie, iż taki kształt krzywej jest niezależny od czynników geologicznych.

Uzyskane krzywe dla poszczególnych rzek porównano z krzywymi podanymi przez Zuchiewicza (1979), a obliczonymi według tej samej metodyki. Stwierdzono daleko idące rozbieżności między tymi krzywymi. Rozbieżności dotyczą głównych rzek Podhala: Czarnego Dunajca, Białego Dunajca oraz Białki. Wspólną cechą krzywych przytoczonych przez Zuchiewicza (1979) jest ich mała wklęsłość, wyni-

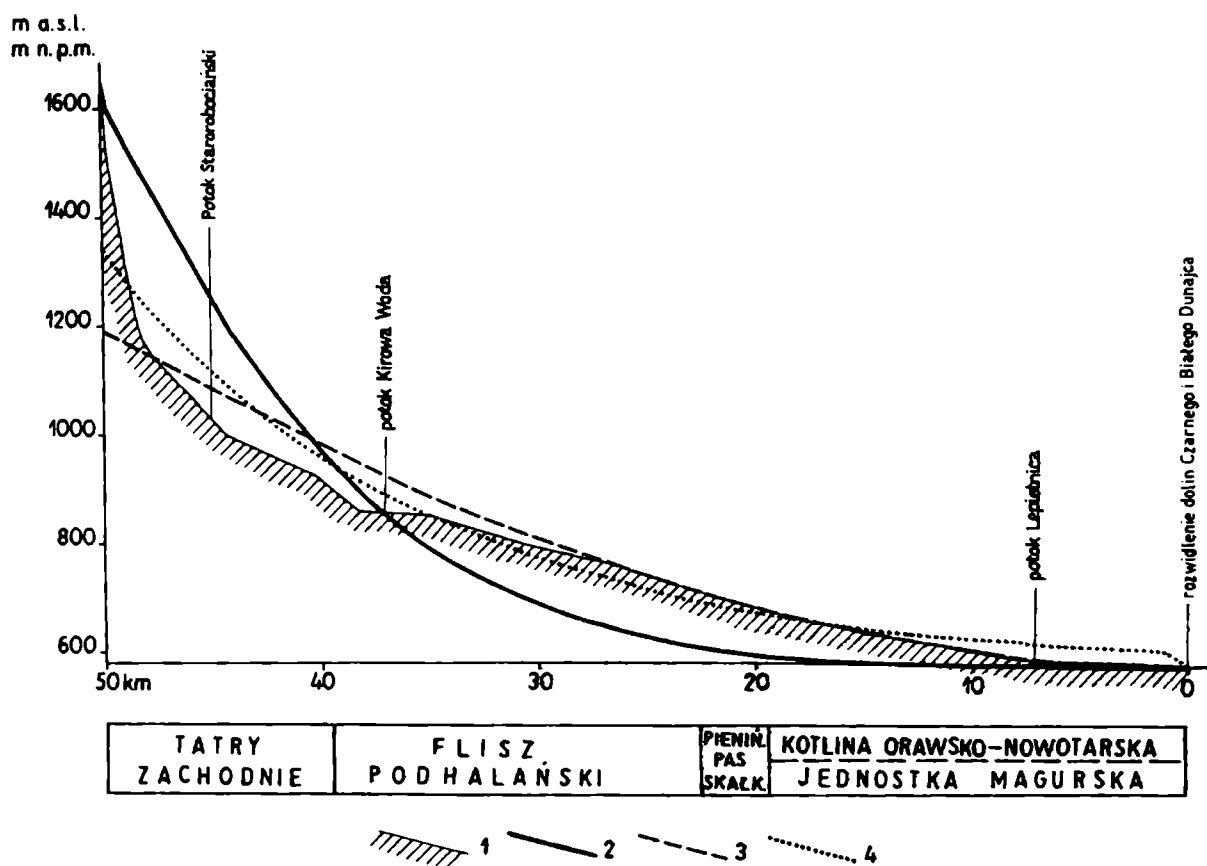


Fig. 2. Profil rzeczywisty rzeki Czarny Dunajec oraz jej analogi wykładnicze. 1 – profil rzeczywisty, 2 – krzywa według Ivanova (1951), 3 – krzywa typu $Y = cX^b$, 4 – krzywa typu $Y = 10^{c-bX}$

Fig. 2. Topographical profile of the Czarny Dunajec river and its exponential analogues. 1 – topographical profile, 2 – Ivanov's (1951) curve, 3 – curve of the $Y = cX^b$ type, 4 – curve of the $Y = 10^{c-bX}$ type

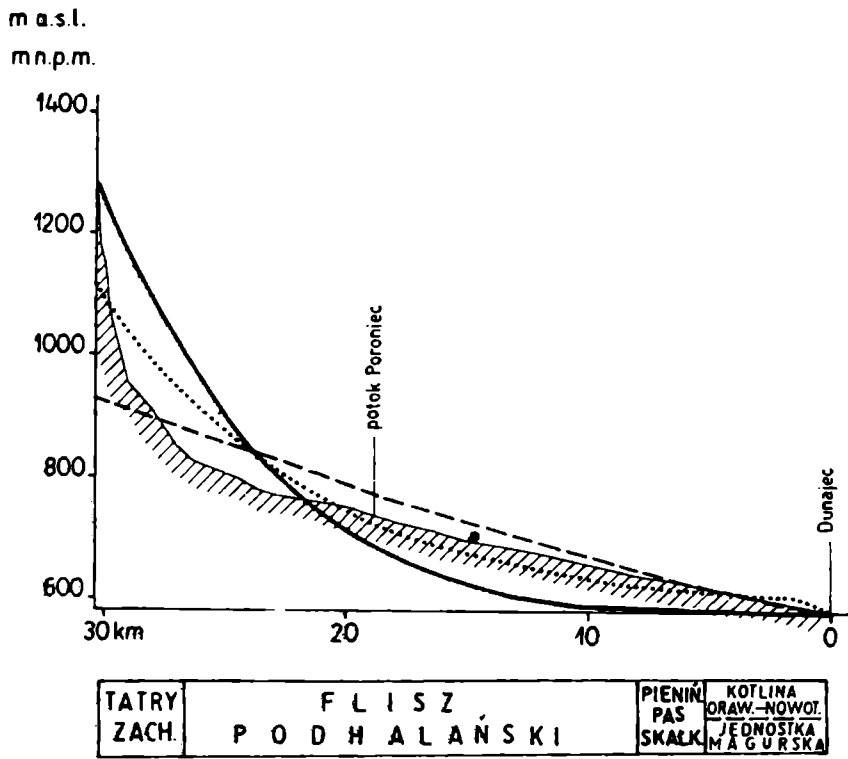


Fig. 3. Profil rzeczywisty rzeki Biały Dunajec oraz jej analogi wykładnicze. Objasnienia jak na figurze 2
 Fig. 3. Topographical profile of the Biały Dunajec river and its exponential analogues. For explanations – see Figure 2

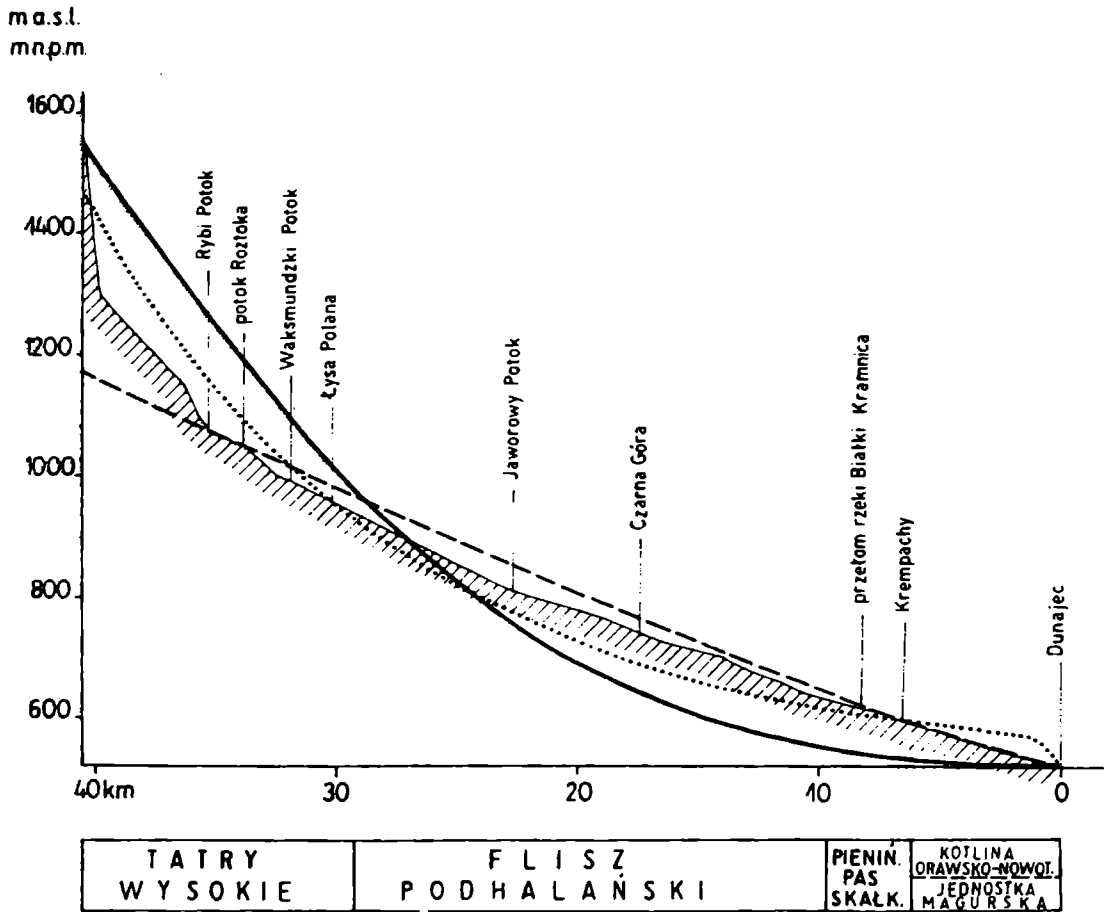


Fig. 4. Profil rzeczywisty rzeki Białki oraz jej analogi wykładnicze. Objasnienia jak na figurze 2
 Fig. 4. Topographical profile of the Białka river and its exponential analogues. For explanations – see Figure 2

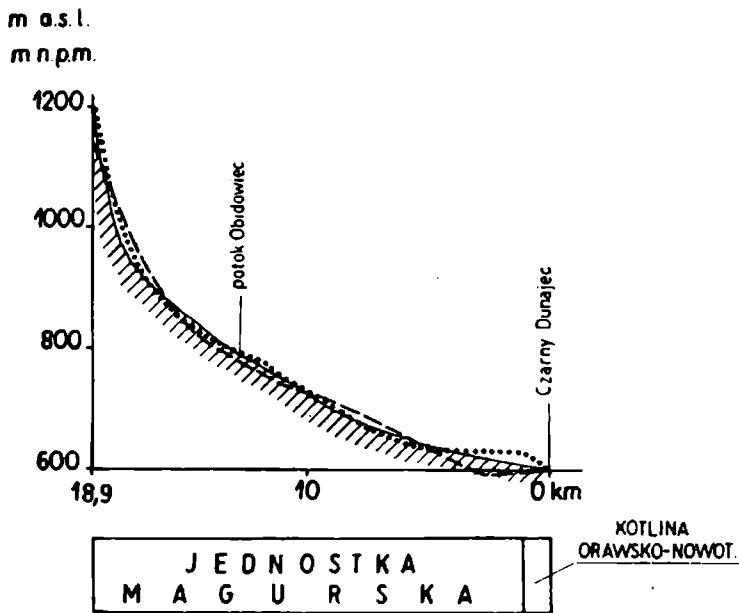


Fig. 5. Profil rzeczywisty potoku Lepietnica oraz jego analogi wykładnicze. Objasnienia jak na figurze 2

Fig. 5. Topographical profile of the Lepietnica river and its exponential analogues. For explanations - see Figure 2

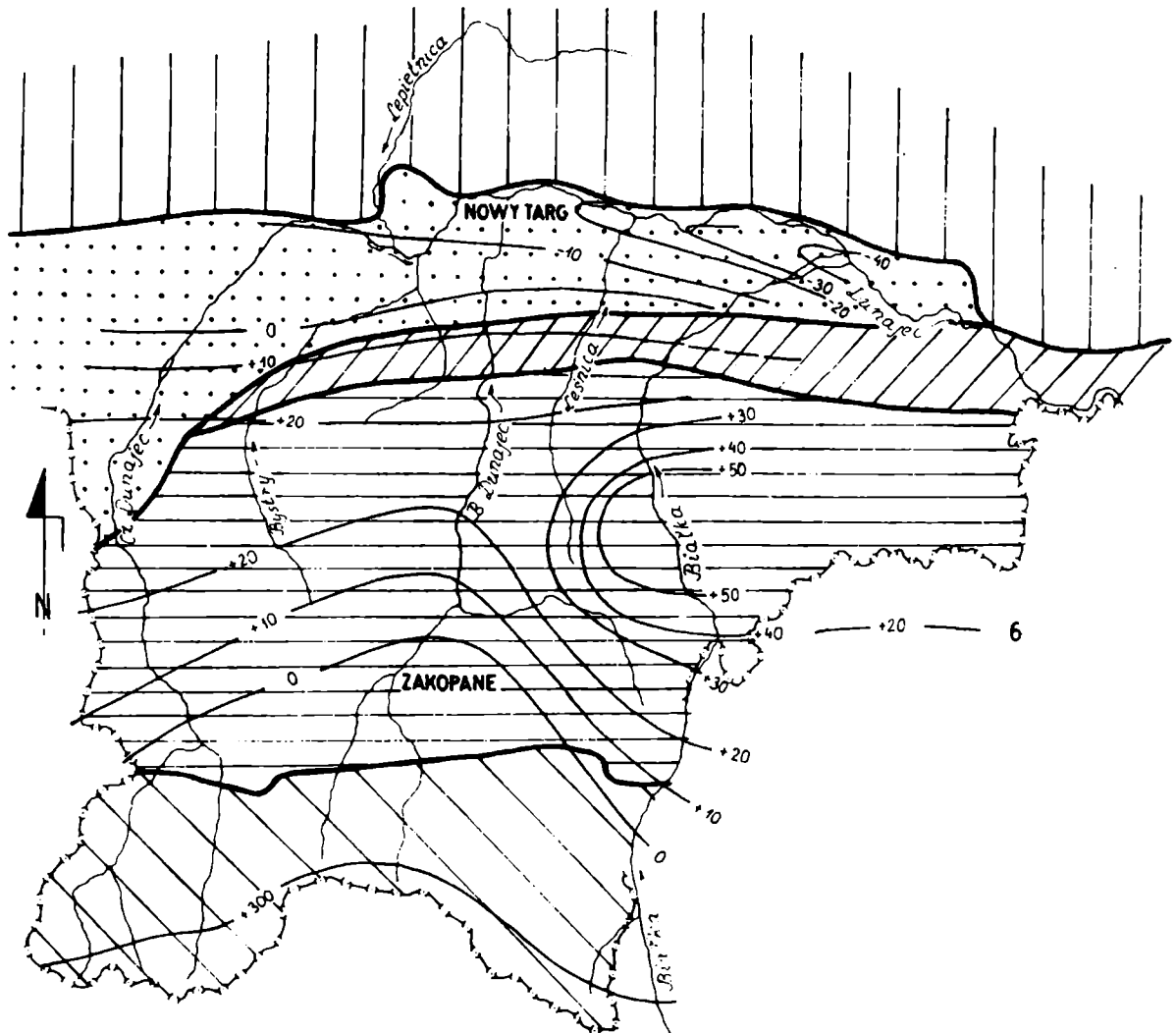


Fig. 6. Szkic deformacji profili podłużnych rzek Podhala w stosunku do krzywej analogowej typu $Y = 10^{c-bx}$. 6 - znak deformacji oraz jej wielkość w metrach. Pozostałe objaśnienia jak na figurze 1B

Fig. 6. Map of deformations of longitudinal profiles of the Podhale rivers, calculated in relation to the analogue curve of the $Y = 10^{c-bx}$ type. 6 - sign of deformation and its value in metres.

For other explanations - see Figure 1B

kająca z niskich wartości współczynnika n (tab. 1). Inny kształt tych krzywych wynika z dowolnie przyjętego przez tego autora górnego początkowego punktu profilu. W przypadku Czarnego Dunajca za początek przyjął on połączenie Siwej i Kirowej Wody, dla Białego Dunajca – ujście Porońca, a dla Białki ujście Jaworowego, podczas gdy źródła tych rzek usytuowane są od 500 do 1000 m wyżej.

Dla pozostałych rzek Podhala: Wielki Rogoźnik, Leśnica i Łapszanka – Niedziczanka, Zuchiewicz (1979) obliczał krzywe teoretyczne od źródeł po ujście,

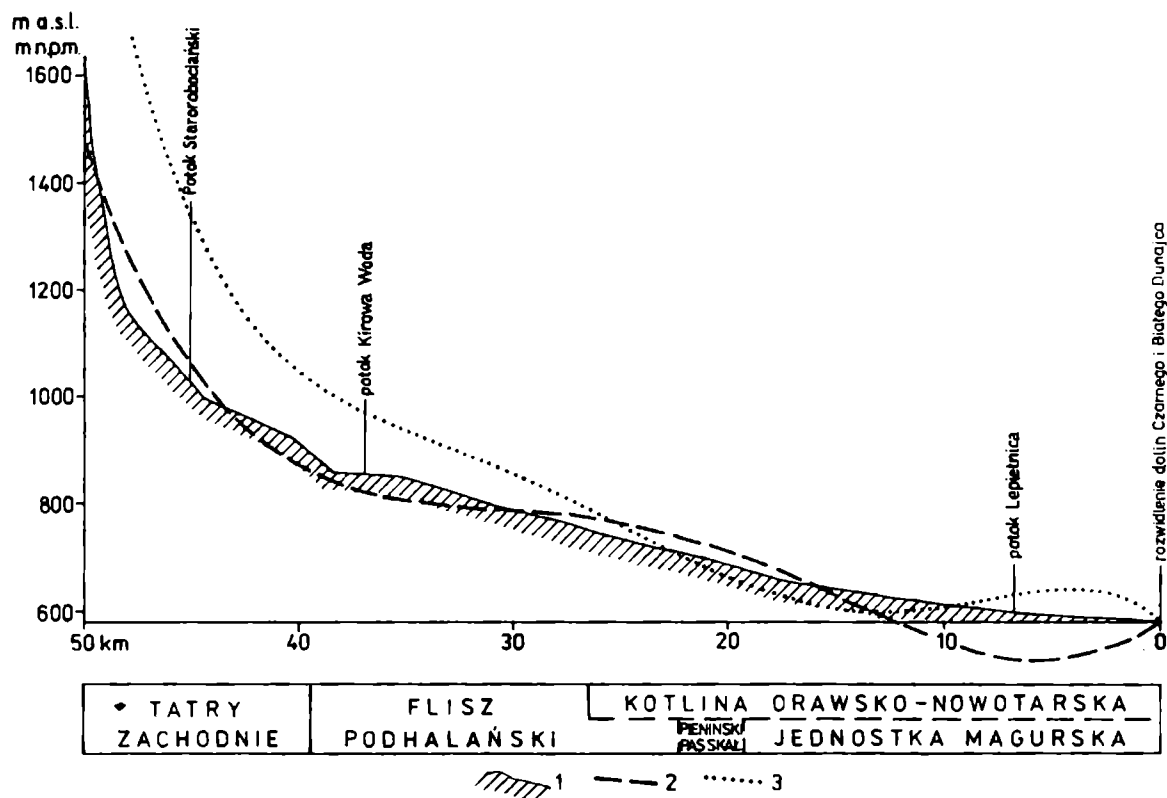


Fig. 7. Profil rzeczywisty rzeki Czarny Dunajec oraz jej analogi wielomianowe. 1 – profil rzeczywisty, 2 – wielomian stopnia czwartego, 3 – wielomian stopnia piątego

Fig. 7. Topographical profile of the Czarny Dunajec river and its polynomial analogues. 1 – topographical profile, 2 – polynomial of the 4th order, 3 – polynomial of the 5th order

uzyskując krzywe o podobnych cechach jak krzywe podane przez autorów dla głównych rzek Podhala.

Z powyższego wynika, iż nie można w sposób dowolny przyjmować warunków granicznych, jak to uczynił Zuchiewicz (1979), ponieważ uzyskuje się różne krzywe, których nie można ze sobą porównywać, a co za tym idzie nie można porównywać wyliczonych deformacji profili i wyciągać wniosków o ruchach neotektonicznych na Podhalu.

Wobec tego, iż zdaniem autorów metodyka Ivanova (1951) w zastosowaniu do rzek górskich nie może służyć do analizy ruchów neotektonicznych, postanowiono sprawdzić przydatność innych rozwiązań.

W pierwszej kolejności przy konstruowaniu krzywych analogowych wzięto pod uwagę równania logarytmiczne proponowane przez Strahlera (1964). Równania logarytmiczne, stanowiąc zwierciadlane odbicie krzywych wykładniczych, mają

podobny sens jak równania wyprowadzone z teorii dyfuzji. Przyjmując za początek układu ujścia rzek, wyprowadzono następujące równania:

$$Y = a + b \log X$$

$$\log Y = a + b \log X = cX^b; \quad c = 10^a$$

$$\log Y = a + bX = 10^{c+bx}; \quad c = 10^a$$

Za pomocą programu ICL 1900 Statistical Analysis XDS 3/17 obliczono krzywe analogowe (tab. 2), które podano na figurach 2–5. Stopień dopasowania krzywych teoretycznych do profili rzek testowano za pomocą współczynników korelacji wielorakiej oraz współczynników determinacji (tab. 4). Z porównań

Tabela – Table 2

Tabela współczynników równań

RZEKA	$Y = cX^b$		$Y = 10^{c+bx}$	
	b	c	b	c
CZARNY DUNAJEC	1,9314	0,0032	0,0303	0,2315
BIAŁY DUNAJEC	1,2423	0,05	0,0492	0,1693
BIAŁKA	1,1625	0,088	0,0323	0,4617
LEPIETNICA	1,7681	0,0232	0,0799	0,169

współczynników korelacji wielorakiej wynika, iż dla wszystkich rzek, z wyjątkiem Lepietnicy najwyższe wartości uzyskano dla krzywej typu $Y = cX^b$. Dla rzeki Lepietnicy wyższą wartość współczynnika korelacji daje natomiast krzywa typu $Y = 10^{c+bx}$. Obie analizowane krzywe dają zbliżone, bardzo wysokie wartości tego współczynnika. Nieco niższe wartości uzyskano dla krzywej typu $Y = a + b \log X$. W przypadku współczynników determinacji dla krzywych typu $Y = cX^b$ i $Y = 10^{c+bx}$ otrzymano zbliżone, bardzo wysokie ich wartości wynoszące prawie 100%, natomiast krzywa logarytmiczna typu $Y = a + b \log X$ wykazuje słabsze dopasowanie do profilu rzeki.

Krzywe wykładnicze porównano z profilami rzek (fig. 2–5). Krzywa typu $Y = cX^b$ charakteryzuje się minimalną wklęsłością, zbliżając się do linii prostej (np. Białka). Z porównania przebiegu krzywych typu $Y = cX^b$ z profilami podłużnymi rzek wyróżnić można zawsze trzy charakterystyczne odcinki. Na odcinku pierwszym (poczynając od źródeł), stanowiącym od 5% długości rzeki (Czarny Dunajec) do 12,5% (Białka), krzywa teoretyczna leży poniżej profilu. Na odcinku drugim, stanowiącym od 45% (Czarny Dunajec) do 75% (Biały Dunajec), krzywa biegnie powyżej profilu. Na odcinku trzecim, stanowiącym od 15% (Białka) do 50% (Czarny Dunajec), krzywa biegnie poniżej profilu. Z trzech głównych rzek Podhala najbardziej różnią się między sobą Czarny Dunajec i Białka.

Z powyższej analizy wynika, że stosunek krzywej teoretycznej do profilu rzeczywistego rozpatrywanych rzek jest zawsze stały, wobec czego ich wzajemny stosunek

nie może świadczyć o lokalnych deformacjach profilu rzeki wynikających z ruchów neotektonicznych.

W kolejności badano krzywą typu $Y = 10^{c+bx}$. Z obliczeń uzyskano zbiór krzywych parabolicznych o znacznie większej wklęsłości od poprzednio opisanych (fig. 2–5). W stosunku do profili rzeczywistych na krzywej typu $Y = 10^{c+bx}$ wyróżnić można cztery odcinki. Odcinek pierwszy (poczynając od źródeł), stanowiący od 0,6 do 3% długości krzywej, położony jest poniżej profilu rzeczywistego. Kolejny odcinek, stanowiący od 25 do 31%, biegnie powyżej profilu rzeki. Odcinek trzeci, stanowiący od 34% (Czarny Dunajec) do 60% (Białka), biegnie poniżej. Wreszcie odcinek czwarty, stanowiący od 13% (Czarny Dunajec) do 36% (Biały Dunajec) leży powyżej profilu rzek.

Podobnie jak we wszystkich poprzednich przypadkach stosunek opisanej krzywej do profilu rzeczywistego jest w przybliżeniu stały. Taki kształt krzywych dla wszystkich rzek Podhala i Gorców przemawia przeciwko możliwości wykorzystania ich do interpretacji neotektonicznych, mimo że przedstawia bardzo sugestywny obraz deformacji profilu rzek. Wyniki porównań krzywych tego typu z profilami rzeczywistymi przedstawiono na mapie (fig. 6). Na podstawie tej mapy można by wnioskować, że szczytowe partie Tatr ulegają podnoszeniu, północne stoki Tatr i rów zakopiański obniżają się, osiowa partia niecki Podhala podnosi się szczególnie w części wschodniej. Kotlina Orawsko-Nowotarska i południowe stoki Gorców obniżają się z zachodu na wschód, a szczytowe partie Gorców są podnoszone. Tendencje te są zasadniczo zgodne z poglądami wielu autorów na temat ruchów neotektonicznych na omawianym obszarze (Klimaszewski, 1966, 1972, Birkenmajer, Stuchlik, 1975; Mastella, 1975, 1976; Niedzielski, 1971; Ozimkowski, 1975), z uwagi jednak na poprzednio wymienione zastrzeżenia metodyczne uzyskaną zbieżność autorzy muszą na razie traktować jako przypadkową.

Po opisanu krzywych wykładniczych, dokonano analizy profili podłużnych za pomocą wielomianów od równania prostej po wielomian stopnia 5 włącznie (tab. 3, fig. 7–10). W tabeli 4 podano współczynniki korelacji wielorakiej oraz współczynniki determinacji dla poszczególnych stopni wielomianu. Wraz ze wzrostem stopnia wielomianu wzrasta zarówno wielkość współczynnika korelacji wielorakiej, jak i stopnia determinacji. W przypadku współczynnika korelacji jego szybki wzrost obserwuje się do stopnia 3 lub 4 włącznie. Dalszy przyrost stopnia wielomianu nie powoduje większego wzrostu współczynnika korelacji.

Najwyższe wartości współczynnika determinacji uzyskano przy wielomianie stopnia 5 i wynoszą one od 96,9 do 99,50%. Z uwagi na to, że wielomiany stopnia 4 i 5 są najlepiej dopasowane do profili rzeczywistych, dalsze rozważania ograniczono tylko do tych wielomianów. Wykresy ich krzywych przedstawiono na figurach 7–10.

Dla wielomianu stopnia 4 najbardziej regularną krzywą otrzymano dla Białki. Jest to parabola o przebiegu bardzo zbliżonym do profilu rzeczywistego. Dla pozostałych rzek na parabolach tego stopnia zaznaczają się dwa lokalne ekstrema. Te lokalne anomalie szczególnie dobrze wykształcone są w środkowym i dolnym biegu Czarnego Dunajca. Istniejące deformacje teoretycznego profilu podłużnego

Tabela współczynników równań regresji

RZEKA	Wielomian stopnia 4					Wielomian stopnia 5				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
CZARNY DUNAJEC	-0,3254379	0,0421885	-0,0014539	0,0000162	0,3568381	-0,0655389	0,0042957	-0,0001102	0,0000001	
BIAŁY DUNAJEC	-0,168388	0,0581573	-0,0039081	0,0000788	0,2655213	-0,0717034	0,0085104	-0,0003945	0,0000063	
BIAŁKA	0,0388206	0,01455818	-0,0007605	0,0000127	0,2027865	-0,0231147	0,0020088	-0,0000679	0,0000008	
LEPIETNICA	-0,2321442	0,0985197	-0,0090979	0,0002845	0,4302516	-0,1848628	0,0316974	-0,0021201	0,0000499	

Tabela - Table 4

Tabela współczynników korelacji wielorakiej (*) oraz współczynników determinacji, η (**)

RZEKA	RÓWNIANIA WYKŁADNICZE					STOPIEŃ WIELOMIANU				
	$y = a + b \lg X$	$y = cX^b$	$y = 10^{c \cdot bx}$	1	2	3	4	5		
CZARNY DUNAJEC	* 0,93 59,00	0,99 99,90	0,99 99,90	0,93 61,00	0,97 85,80	0,98 90,80	0,99 94,60	0,99 96,90		
BIAŁY DUNAJEC	* 0,87 52,30	0,97 99,60	0,95 99,30	0,93 73,00	0,96 85,00	0,98 91,50	0,99 96,50	0,99 98,20		
BIAŁKA	* 0,94 69,90	0,99 99,90	0,98 99,80	0,98 88,90	0,99 95,90	0,99 98,10	0,99 98,90	0,99 99,20		
LEPIETNICA	* 0,94 66,60	0,99 99,80	0,99 99,90	0,95 71,10	0,99 93,60	0,99 97,00	0,99 98,60	0,99 99,50		

$$\eta = (1 - \frac{Sk}{Sc}) \cdot 100\%$$

Sk - suma kwadratów odchyłek wartości obserwowanych od aproksymowanych wielomianem stopnia k.

Sc - suma kwadratów wartości obserwowanych od wartości średniej.

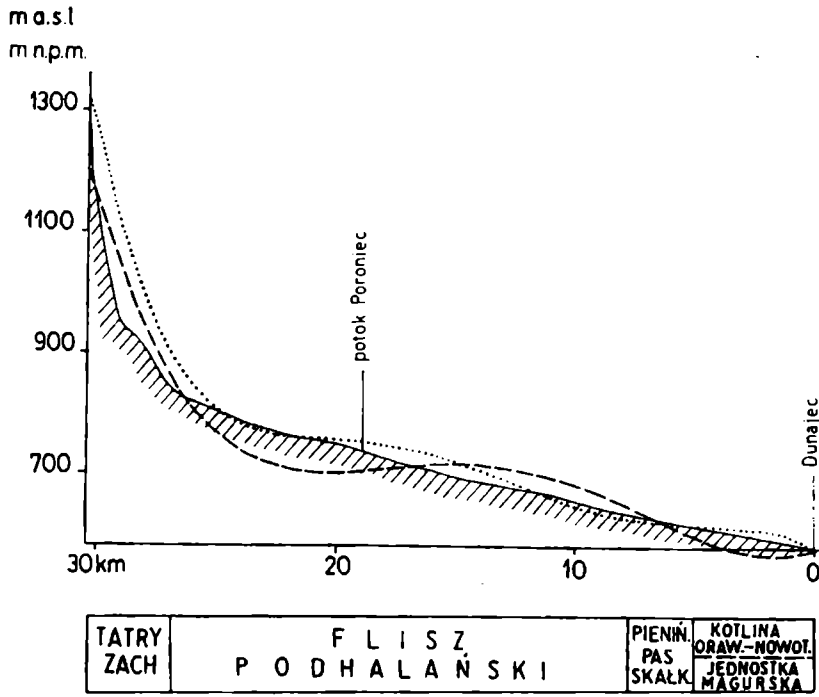


Fig. 8. Profil rzeczywisty rzeki Biały Dunajec oraz jego analogi wielomianowe. Objasnienia jak na figurze 7

Fig. 8. Topographical profile of the Biały Dunajec river and its polynomial analogues. For explanations - see Figure 7

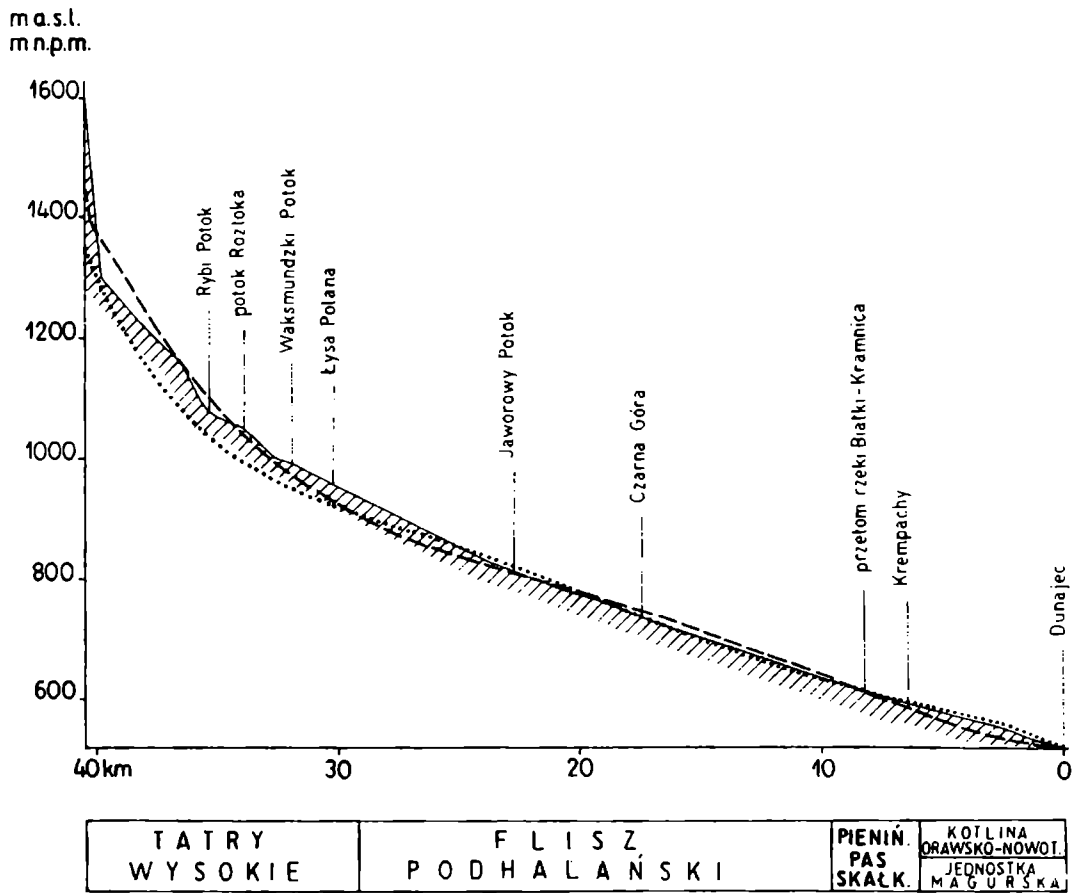


Fig. 9. Profil rzeczywisty rzeki Białki oraz jego analogi wielomianowe. Objasnienia jak na figurze 7

Fig. 9. Topographical profile of the Białka river and its polynomial analogues. For explanations - see Figure 7

przedstawiono na figurze 8 i porównano z deformacjami profilu rzeczywistego. Deformacje rzeczywiste są zasadniczo zgodne z deformacjami wynikającymi z obliczeń. Wyjątek stanowi Białka, na profilu której zaznacza się kilka deformacji, natomiast krzywa obliczona ma w tym miejscu ledwie widoczne wygięcie.

Dla wielomianu stopnia 5, najbardziej regularną parabolę otrzymano ponownie dla Białki. Na pozostałych rzekach krzywe te zawierają lokalne anomalie. Szczególnie dobrze widoczna jest ujemna anomalia usytuowana w dolnym biegu Czarnego Dunajca, między Koniówką i Krauszowem. Na podkreślenie zasługują także

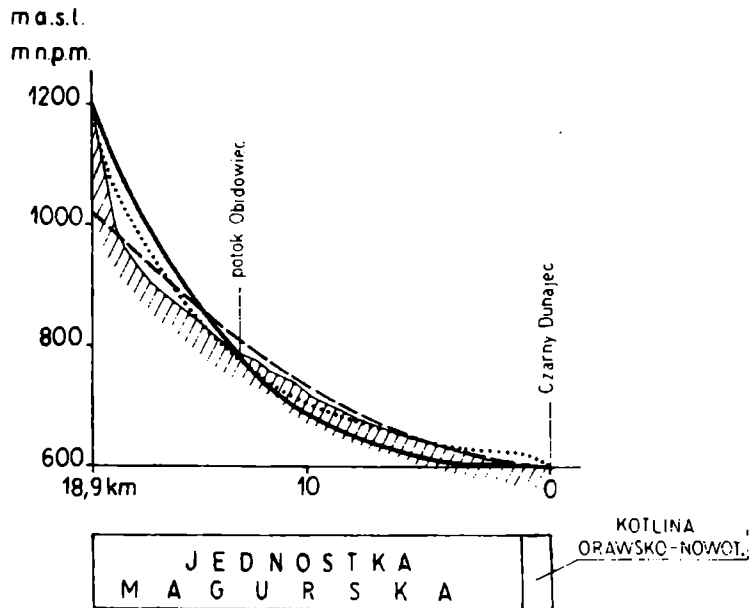


Fig. 10. Profil rzeczywisty potoku Lepietnica oraz jego analogi wielomianowe. Objasnienia jak na figurze 7

Fig. 10. Topographical profile of the Lepietnica stream and its polynomial analogues. For explanations – see Figure 7

lokalne dodatnie anomalie na Białym Dunajcu od wioseł Zakopianki i Białego po Szaflary oraz na Lepietnicy, powyżej mostu w Klikuszowej. W porównaniu z rzeczywistymi deformacjami zaznacza się zgodność ujemnej deformacji na Czarnym Dunajcu oraz dodatnich na Białym Dunajcu i Lepietnicy. Na obliczonej krzywej brak jest jednak dodatnich deformacji stwierdzonych na Czarnym Dunajcu i Białce.

W przeciwieństwie do krzywych wykładniczych, zastosowanie wielomianów do analizy profilu podłużnego rzek pozwoliło uzyskać zróżnicowane krzywe dla poszczególnych rzek. A zatem przy tym samym stopniu dopasowania do profilu rzeczywistego, mierzonego wielkością współczynnika determinacji (tab. 4), krzywe wielomianów stopnia 4 i 5 zachowują pewną indywidualność, charakterystyczną dla danej rzeki. Krzywe te wykazują nie tylko ogólną tendencję zmniejszania się spadku koryta rzecznoego w miarę oddalania się od źródeł, lecz także pewne lokalne tendencje do zmiany spadku koryta rzecznoego.

Te lokalne ekstrema krzywej nie wynikają z przekształceń matematycznych, lecz uwarunkowane są rzeczywistymi załamaniem profilu rzeki (fig. 1B). W ten sposób krzywa stopnia 5 uwypukla istniejące niewielkie deformacje profilu rzeczywistego.

W związku z tym nasuwa się wniosek, że stosowanie wielomianów do analizy profilu podłużnego rzeki jest słuszniejsze od stosowania krzywych wykładniczych, mimo iż te ostatnie mogą mieć lepsze podstawy fizyczne. Analiza trendów pozwala wykryć lokalne deformacje profilu podłużnego rzeki, a w konsekwencji może być wykorzystana jako jedna z metod pomocniczych przy badaniach ruchów neotektonicznych.

WSPÓŁCZESNE RUCHY TEKTONICZNE NA PODHALU W ŚWIETLE ANALIZY TRENDÓW PROFILI PODŁUŻNYCH RZEK

Przeprowadzona analiza wykazała, iż deformacje profilów podłużnych rzek mają miejsce w pasmie Pogórza Gubałowskiego, Kotlinie Orawsko-Nowotarskiej oraz w Gorcach.

W pasmie Pogórza Gubałowskiego stwierdzono deformacje o znaku dodatnim, to znaczy iż współczesne koryta rzeczne znajdują się powyżej profilu teoretycznego. Na tej podstawie można wnioskować, iż w tej części Podhala obejmującej Kotlinę Podhalańską wraz z pienińskim pasem skałkowym dominują ruchy wznoszące. Sądząc po wielkości anomalii dodatniej (fig. 7–9) ruchy te najsilniej zaznaczają się w dolinie Białego Dunajca. Słabszą amplitudę notuje się w dolinie Czarnego Dunajca, najslabszą w dolinie Białki. Powyższe obserwacje w znacznym stopniu zgadzają się z obserwacjami Ozimkowskiego (1975). Autor ten porównywał położenie współczesnego dna dolin rzecznych w stosunku do powierzchni dolnopliocenińskiego zrównania na Podhalu, uważając iż różnica wysokości między tymi poziomami jest miarą wielkości ruchów pionowych. Według Ozimkowskiego (1975) wyraźnie zaznacza się wypiętrzanie odcinka Białego Dunajca koło Poronina w stosunku do sąsiednich obszarów między Czarnym Dunajcem i Białką. Wypiętrzanie w rejonie Poronina autor ten wiąże z odmładzaniem poprzecznej elewacji Białego Dunajca. Należy podkreślić, iż w profilu Białki anomalia dodatnia jest bardzo słabo wykształcona, mimo iż Mastella (1975) uważa, że wschodnia część Podhala objęta jest współczesnymi ruchami pionowymi. Spośród anomalii ujemnych bardzo charakterystyczna jest anomalia Czarnego Dunajca, mimo iż istnieją tutaj pewne różnice w efekcie i zasięgu deformacji krzywych wielomianu 4 i 5 stopnia (fig. 8). Wspólny dla obu krzywych odcinek zawarty jest między miejscowością Czarny Dunajec i Krauszowem. Z opisaną deformacją ujemną wiąże się deformacja ujemna Białego Dunajca między Szaflarami – Wapiennikiem i Nowym Targiem. Opisane deformacje wskazują na ruchy obniżające w północnej i północno-wschodniej części Kotliny Orawsko-Nowotarskiej. Północny zasięg ruchów obniżających zaznacza się na rzece Lepietnica między jej ujściem a Klikuszową (fig. 1B i 10). W dolnym odcinku Białki między miejscowością Nowa Biała i ujściem nie obserwuje się żadnych deformacji. Z powyższego można by wnioskować, iż intensywność ruchów obniżających wzrasta od wschodu ku zachodowi, przyjmując maksymalne wartości w profilu Czarnego Dunajca (fig. 1B).

Problem ruchów obniżających w Kotlinie Orawsko-Nowotarskiej omawiany był wielokrotnie. W okresie międzywojennym na obecność ruchów obniżających wskazywali Halicki (1930) i Jaranoff (1934–1935). W późniejszym okresie proble-

matykę tę rozwinął Klimaszewski (1952, 1966, 1972), który uważał, iż dno kotliny obniżało się począwszy od schyłku dolnego pliocenu poprzez cały czwartorzęd. We wschodniej części kotliny w rejonie Dębna i Frydmana zapadlisko powstało na przelomie pliocenu i plejstocenu (Niedzielski, 1971).

Wyniki wierceń w Koniówce, Czarnym Dunajcu i Wróblówce (Watycha, 1973, 1976) rzuciły nowe światło na wiek i amplitudę ruchów obniżających w Kotlinie Orawsko-Nowotarskiej.

Według Watychy (1976) Kotlina Orawsko-Nowotarska powstała w dolnym miocenie. Subsydencja na tym obszarze trwała przez cały neogen i zakończyła się w plejstocenie. Maksymalną miąższość dochodzącą do 1000 m, utwory neogeńskie osiągają w pobliżu miejscowości Czarny Dunajec. Podobny pogląd wyraża także Zuchiewicz (1980). Przeważa jednak od dawna pogląd o późnomiocenie-plejstocenie wieku sedymentacji w zapadlisku. Potwierdzają to najnowsze badania paleobotaniczne (Oszast i Stuchlik, 1977) oraz studia geologiczne (Birkenmajer, 1978). Z badań tych wynika, iż sedymentacja w tym obszarze rozpoczęła się w badenie (basen orawski), a zakończyła się we wczesnym plejstocenie (rejon Frydmana). Według Watychy (1976) w okresie plejstocenie obszar wzmoczonej subsydencji w Kotlinie Nowotarskiej przesunął się na północ od pasma skałkowego w stronę Gorców.

W Szaflarach – Wapienniku Birkenmajer (1976) stwierdził uskok obrzeżający od południa zapadlisko wypełnione prawdopodobnie utworami neogenu i starszego plejstocenu. Uskok ten ma stare założenia, ale został odmłodzony w okresie interglacjału wielkiego (Mindel-Riss).

W świetle powyższych danych oraz przeprowadzonych przez nas badań wynika, iż ruchy obniżające w Kotlinie Orawsko-Nowotarskiej, które rozpoczęły się w neogenie, trwają nadal. Stwierdzenie to dotyczy północnej części kotliny, gdzie ruchy obniżające rozpoczęły się w starszym plejstocenie (Watycha 1976; Birkenmajer, 1976).

Wzgórza działów orawskich i Gorców, obrzeżające kotlinę od północy, wykazują tendencję do ruchów podnoszących, o czym świadczą dodatnie deformacje środkowego biegu Lepietnicy (fig. 10). O wypiętrzeniu Gorców w stosunku do kotliny pisał już Watycha (1973), odnosząc je do okresu zlodowacenia bałtyckiego.

Oprócz opisanych deformacji, które w sposób wyraźny znaczą się na profilach omawianych rzek, należy podkreślić jeszcze obecność ujemnej deformacji koryta Białego Dunajca w rejonie Zakopanego na terenie Rowu Podtatrzańskiego (fig. 9). Może to świadczyć, iż rów ten ulega współcześnie ruchom obniżającym.

WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania wykazały nieprzydatność metodyki Ivanova (1951) do studiów nad neotektoniką Podhala, ponieważ stosunek krzywej teoretycznej obliczonej według tej metodyki do profilu rzeki jest zawsze podobny, bez względu na rzeczywiste deformacje profilu. Dotyczy to także innych krzywych teoretycznych typu wykładniczego (Strahler, 1964).

2. Istniejące rzeczywiste załamania profilu rzeki najlepiej uwypuklają się na krzywych wielomianów stopnia 4 i 5. Wydaje się, iż krzywe te mogą być wykorzystane przy analizie ruchów neotektonicznych w Karpatach.

3. Przy stosowaniu modelowania matematycznego do analizy rzek, warunków granicznych nie można przyjmować dowolnie, jak to uczynił Zuchiewicz (1979), ponieważ prowadzi to do błędnych wniosków.

4. Na podstawie dokonanych przez nas obliczeń można przypuszczać, iż współcześnie ruchy obniżające trwają w północnej części Kotliny Orawsko-Nowotarskiej, natomiast ruchy wznoszące mają miejsce w pasmie Gorców i na Pogórzu Gubałowskim. Być może ruchami wznoszącymi objęta jest także południowa część kotliny wraz z pienińskim pasem skałkowym. Istnieją również pewne przesłanki wskazujące na możliwość obniżania się środkowej części Rowu Przedtatrzańskiego.

Powyższe wnioski w części dotyczącej Kotliny Orawsko-Nowotarskiej i jej obrzeżenia są zasadniczo zgodne z dotychczasowymi poglądami. Znajdują one także potwierdzenie w najnowszej pracy Baumgart-Kotarbowej (1981), która badała neotektonikę wschodniego Podhala w oparciu o analizę czwartorzędowych tarasów Białki Tatrzańskiej oraz przebieg lineamentów zaznaczających się na zdjęciach satelitarnych.

WYKAZ LITERATURY – REFERENCES

- Baumgart-Kotarba M. (1981), Ruchy tektoniczne na wschodnim Podhalu w świetle analizy czwartorzędowych teras doliny Białki Tatrzańskiej i lineamentów uzyskanych z obrazu satelitarnego. (Tectonic movements in eastern Podhale in the light of an analysis of Quaternary terraces of the Białka Tatrzańska valley and the lineaments from satellite image). *Prz. Geogr.* 53, 4: 725–736. Warszawa.
- Birkenmajer K. (1976), Plejstocenyjskie deformacje tektoniczne w Szaflarach na Podhalu. (Pleistocene tectonic deformations at Szaflary, West Carpathians) Poland. *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 46, 3: 309–323. Kraków.
- Birkenmajer K. (1978), Neogene to Early Pleistocene subsidence close to the Pieniny Klippen Belt, Polish Carpathians. *Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica*, 12: 17–28. Kraków.
- Birkenmajer K., Stuchlik L. (1975), Early Pleistocene pollen – bearing sediments at Szaflary, West Carpathians, Poland. *Acta paleobot.* 16, 2: 113–146. Kraków.
- Halicki B. (1930), Dyluwialne zlodowacenie północnych stoków Tatr. (La glaciation quaternaire du versant nord de la Tatra). *Sprawozd. Państw. Inst. Geol.*, 5, 3–4: 377–504. Warszawa.
- Jaranoff D. (1934–1935), Das Becken von Nowy Targ als Beispiel eines intramontanen Beckens. Morphologische Parallelen. *Prz. Geogr.* 143, 4: 153–159. Warszawa.
- Klimaszewski M. (1952), Rzeźba Podhala. (Podhale – The Piedmont of Tatra Mts.). *Czas geogr.* 21/22: 237–250. Warszawa.
- Klimaszewski M. (1966), Views on the geomorphological development of the Polish Western Carpathians during the Quaternary. *Geomorphological Problems of Carpathians*, 2. Warszawa.
- Klimaszewski M. (1972), Karpaty Wewnętrzne. Geomorfologia Polski. t. 1, PWN. Warszawa.
- Mastella L. (1975), Tektonika fliszu we wschodniej części Podhala. (Flysch tectonics in the eastern part of the Podhale Basin). *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 45, 3–4: 361–401. Kraków.
- Mastella L. (1976), Współczesne ruchy pionowe stref uskokowych na Podhalu. (Recent vertical movements of the fault zones in the Podhale Basin). *Współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce*, t. 2: 179–187. Wyd. Geol. Warszawa.
- Niedzielski H. (1971), Tektoniczne pochodzenie wschodniej części Kotliny Nowotarskiej (Tecto-

- nic origin of the eastern part of the Valley of Nowy Targ). *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 41, 2: 397–408. Kraków.
- O s z a s t J., S t u c h l i k L. (1977), Roślinność Podhala w neogenie. (The Neogene vegetation of the Podhale. West Carpathians, Poland). *Acta Palaebotanica* 18, 1: 45–86. Kraków.
- O z i m k o w s k i W. (1975), Próba kartometrycznego badania ruchów neotektonicznych na Podhalu. *Współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce.* (Recent and Neotectonic Crustal Movements in Poland). T. 1: 89–93. Wyd. Geol. Warszawa.
- S c h e i d e g g e r A.E. (1974), Geomorfologia teoretyczna. PWN. Warszawa.
- S t r a h l e r A.N. (1964), Quantitative geomorfology of drainage basin and channel networks. *Handbook of applied hydrology.* (V.T. Chow.-Edit.) Section 4: II – Geology, 39–76. Mc Graw – Hill Book Comp. New York.
- W a t y c h a L. (1973), Utwory czwartorzędowe w otworze wiertniczym Wróblówka na Podhalu. (Quaternary deposits in the borehole Wróblówka in the Podhale Basin). *Kwart. Geol.* 17, 2: 335–347. Warszawa.
- W a t y c h a L. (1976), Neogen niecki orawsko-nowotarskiej. (The Neogene of the Orava–Nowy Targ Basin). *Kwart. Geol.* 20: 575–587. Warszawa.
- Z u c h i e w i c z W. (1979), Możliwość zastosowania analizy teoretycznego profilu podłużnego rzeki w badaniach nad młodymi ruchami tektonicznymi. (A possibility of application of the theoretical longitudinal river's profile analysis to in Vestigations of young tectonic movements). *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 49, 3/4: 327–342. Kraków.
- Z u c h i e w i c z W. (1980), Młode ruchy tektoniczne a morfologia Pienin. (Young tectonic movements and morphology of the Pieniny Mts. Polish Western Carpathians). *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 50, 2: 262–299. Kraków.
- И в а н о в П. В. (1951), Метод количественной характеристики продольного профиля реки. *Изв. Всес. Геогр. Общ.*, 83,6:585–594. Ленинград.
- С о к о л о в с к и й И. Л. В о л к о в Н. Г. (1965), Методика поэтапного изучения неотектоники (На примере Юго-запада Русской Платформы). Наукова Думка. Киев.

SUMMARY

The article deals with longitudinal profiles of the Podhale rivers (Polish Internal Carpathians) which were analysed by using mathematical modelling. The following rivers were taken into consideration: Czarny Dunajec, Biały Dunajec, Białka and Lepietnica (Figs. 1A, 1B). The first three flow from the Tatra Mountains, transversing all main tectonic units of the Central Carpathians and cross the contact with the Outer Carpathians, as well. The Lepietnica stream has its headwaters in the Magura Unit (Outer Carpathians) and flows into the Orava–Nowy Targ Basin, similarly as the other rivers.

The Orava–Nowy Targ Basin is a second order tectonic unit, superimposed on the Magura Unit, the Pieniny Klippen Belt and the Podhale Flysch.

Mathematical models were constructed for every river and their applicability to the detection of profile deformations was tested. Theoretical river profiles were approximated by using the formula of Ivanov (1951) as well as by exponential functions, derived from the diffusion equation (Strahler, 1964). These theoretical curves (Figs. 2–5) were compared with topographical profiles.

The calculations performed revealed that the above formula cannot help in delimitation of river profile's deformations and, similarly, cannot be used in depicting sections affected by neotectonic movements.

The next step in investigations was to approximate river's profile by using polynomials up to the 5th order (Figs. 8–10). It was found that equations of the 4th and 5th order fit the topographical profile best. Moreover, these curves underlie the existing profile deformations fairly well.

Disturbances found by using this method were the basis of an analysis of neotectonic movements in the Podhale Region. It could be suggested that recent subsidence persists in the northern part of the Orava–Nowy Targ Basin, while the uplifting movements affect the Gorce Mts., the Pieniny Klippen Belt and the Gubałówka Foothills (Fig. 1B).

The above conclusions are in accordance with hitherto presented views on the neotectonics of the investigated area.