

## Układ wielokorytowy Dunaju pomiędzy Čunovem a Gabčíkovem – analiza przestrzenna na podstawie klasyfikacji rzek według Brice’a

Danube river multichannel pattern between Čunovo and Gabčíkovo  
– spatial analysis based on river classification after Brice

Jacek B. Szmańda<sup>1</sup>, Małgorzata Luc<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Geografii, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce; j.szmanda@ujk.kielce.pl

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

**Zarys treści:** Klasyfikacja rzek według Brice’a (1975) służy do analizy przestrzennej układu koryt różnych systemów rzecznych (jedno- i wielokorytowych). Analizę wykonuje się na podstawie zdjęć lotniczych lub map topograficznych. W prowadzonych przez nas badaniach klasyfikacja ta posłużyła do charakterystyki morfometrycznej wielokorytowego systemu Dunaju na odcinku pomiędzy Čunovem a Gabčíkovem na granicy słowacko-węgierskiej. Układ ten jest złożony, a dzielenie się przepływu na koryta różnej rangi i różnego kształtu następuje na całej jego długości. Analiza pozwoliła wysunąć wstępny wniosek, że system rozgałęziony (anabranching) Dunaju na badanym fragmencie dna ewoluował na dwa sposoby: rzeka meandrująca–rzeka rozgałęziona i rzeka roztokowa–rzeka rozgałęziona.

**Słowa kluczowe:** układ koryt, klasyfikacja rzek, rzeka rozgałęziona

**Abstract:** River classification according to Brice (1975) is used for the spatial channel pattern analysis of different fluvial systems (single and multiple channels). The analysis was conducted on a base of aerial photographs and topographic maps. We used methods of morphometric characteristic of the Danube multiple channel river system between Čunovo and Gabčíkovo, on the Slovak and Hungary border. Studied channel pattern is rather composite and the river flow anastomosing has progress on the whole of its length in different scale and shape. The analysis presents the evolution of the Danube river system into two directions: from meandering to anabranching system and from braided to anabranching system.

**Key words:** channel pattern, rivers classification, anabranching river

### Wprowadzenie

Jednym z podstawowych kryteriów klasyfikacji koryt rzecznych jest ich układ w planie. W najbardziej ogólny sposób rzeki można podzielić na jedno- i wielokorytowe. W nawiązaniu do prac Teisseyre’a (1971), Wanga i in. (2000), Beechie i in. (2006), pod względem przebiegu koryta wyróżnia się rzeki jednokorytowe proste, kręte, meandrujące, roztokowe i wyspowo-roztokowe. Natomiast rzeki wielokoryto-

we dzieli się na anastomozujące, rozgałęziona, określane w literaturze anglojęzycznej terminem *anabranching* (Kalicki, Szmańda 2006), błądzące (ang. *wandering*, Zieliński 1989) i dystrybutywne (ang. *distributaries*, Teisseyre 1985).

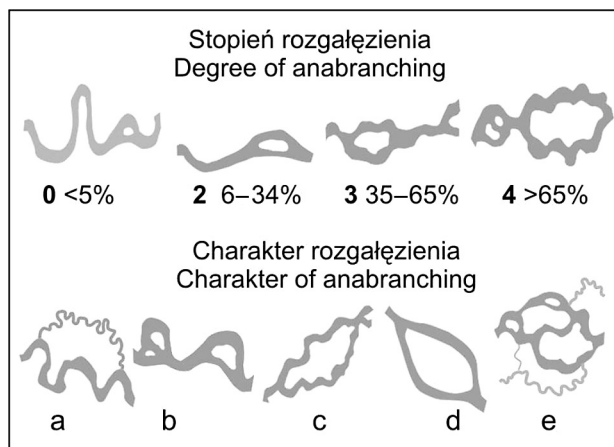
Metodę analizy układu koryt rzecznych, prostą do przeprowadzenia, zaproponowali Brice (1975) oraz Brice i Blodgett (1978), wprowadzając w tym celu klasyfikację rzek. Została ona szczegółowo omówiona w pracy Teisseyre’a (1991). Analizę ukła-

du koryt wykonuje się na podstawie ich obrazu na zdjęciach lotniczych lub ich odwzorowania na mapach topograficznych. Przykładem zastosowania tej metody jest analiza układu wielokorytowego Dunaju na odcinku pomiędzy zaporami w Čunovie i Gabčíkovie na Słowacji.

## Opis metody

W zmodyfikowanej przez Teisseyre'a (1992) klasyfikacji koryt Brice'a (1975), w przypadku analizy układów wielokorytowych stosuje się 4-stopniową skalę (0–3). Służy ona do określania procentowego udziału rozgałęzionego odcinka koryta w stosunku do reprezentatywnego odcinka systemu rzecznej. Ponadto dokonuje się interpretacji typu układu koryt według jednego z 5 wzorców (ryc. 1) oznaczonych małymi literami alfabetu (w opisie używanym przez Teisseyre'a termin „anastomozujące” zastąpiliśmy terminem „rozgałęzione”):

- a – typ koryta rozgałęzionego z bocznym korytem krętym,
- b – koryto rozgałęzione złożone głównie z porożcinanych kanałami przelewowymi łach meandrowych,
- c – koryto rozdwojone z krętymi ramionami rozgałęzionymi,
- d – koryto rozdwojone z prawie równoległymi ramionami o małej krętości,
- e – złożone koryto rozgałęzione.



**Ryc. 1.** Klasyfikacja koryt rozgałęzionych według Brice'a (1975) i Teisseyre'a (1992) zmienione 0–3 – stopień rozgałęzienia, a – koryta rozgałęzione utworzone przez boczne koryta kręte, b – koryto rozgałęzione złożone głównie z łach meandrowych porożcinanych kanałami przelewowymi, c – koryto rozdwojone z krętymi ramionami rozgałęzionymi, d – koryto rozdwojone z prawie równoległymi ramionami o małej krętości, e – złożone koryto rozgałęzione

**Fig. 1.** Classification of anabranching multiple channel systems after Brice (1975) and Teisseyre (1992) changed 0–3 – anabranching degree, a – sinuous side channel mainly, b – cutoff loops mainly, c – split channels sinuous anabranches, d – split channels, sub-parallel anabranches, e – composite

Analiza układu koryt metodą Brice'a obejmuje także badania morfometryczne form międzykorytowych polegające na wyliczeniu wartości parametrów bezwymiarowych (Brice, Blodgett 1978), są to: bezwymiarowy parametr długości ( $L/w$ ) oraz bezwymiarowy parametr szerokości ( $w'/w$ ). W celu ich obliczenia wykonuje się pomiary: długości formy ( $L$ ), szerokość koryta ( $w$ ), szerokości formy ( $w'$ ). Następnie na podstawie wartości bezwymiarowych parametrów długości i szerokości wydziela się dwie grupy form międzykorytowych: (1) wyspy międzykorytowe nazywane przez Teisseyre'a „wyspami anastomozującymi” i (2) obszary międzykorytowe. Termin „wyspy anastomozujące” zastąpiono terminem „wyspy międzykorytowe”, ponieważ jest on poprawniejszy ze względów semantycznych i merytorycznych, gdyż proces anastomozowania (dzielenia się przepływu) dotyczy raczej przepływu rzecznej w korytach, a nie obszarów je rozdzielających. Zgodnie z zaproponowaną przez Teisseyre'a (1971) systematyką form fluwialnych wyspy międzykorytowe są formami koryta rzecznej (formy II rzędu), a obszary międzykorytowe są formami dna doliny (formy I rzędu). Uwaga ta ma istotne znaczenie w analizie ewolucji systemu rzecznej, o czym będzie mowa w dalszej części artykułu.

Kryterium klasyfikacji form międzykorytowych jest następujące:

- 1) Wyspy międzykorytowe to formy koryta, których bezwymiarowy parametr długości ( $L/w$ ) jest mniejszy niż 7 i bezwymiarowy parametr szerokości ( $w'/w$ ) jest mniejszy niż 3.
- 2) Obszary międzykorytowe to formy dna doliny spełniające warunek:  $L/w \geq 7$  i/lub  $w'/w \geq 3$ .

Przyjęcie dwóch wartości granicznych: 7 – dla bezwymiarowego parametru długości i 3 – dla bezwymiarowego parametru szerokości, umożliwia rozróżnienie wysp od obszarów międzykorytowych. Podane wartości jako kryterium delimitacji form międzykorytowych oparte są na badaniach Brice'a i Blodgetta (1978) oraz Rusta (1978). Należy dodać, że w nawiązaniu do poglądów Schumma (1977, 1981) w ramach analizy układu w planie koryta rzeki roztokowej wyróżnić można także wyspy roztokowe jako formy koryta (II rzędu) lub formy dna rzeki (III rzędu). Długość tych form nie może przekraczać wartości 1 w przypadku parametru  $L/w$ , a szerokość dna doliny musi być zbliżona do szerokości koryta rzeki.

Teisseyre (1971) proponuje nieco inny podział form międzykorytowych. Jego zdaniem wyspy międzykorytowe to formy, których  $L/w < 4$ . Wśród obszarów międzykorytowych ( $L/w > 4,1$ ) wyróżnia on formy krótkie ( $4,1 < L/w < 50$ ) i długie ( $L/w > 50$ ). Ponadto pod względem bezwymiarowego parametru szerokości wyspy te cechuje  $w'/w < 1$ , a obszary autor dzieli na wąskie ( $1 < w'/w < 20$ ) i szerokie ( $w'/w > 20$ ).

W wykonanej analizie zastosowano dodatkowo dwa parametry:

**Tabela 1.** Klasyfikacja form międzykorytowych według wielkości

**Table 1.** Classification of fluvial landform according to size

Wydzielenie	Wyspy międzykorytowe	Obszary międzykorytowe
Małe	$Lw' \leq 0,01 \text{ km}^2$	$Lw' \leq 1 \text{ km}^2$
Średnie	$0,01 \text{ km}^2 < Lw' \leq 0,1 \text{ km}^2$	$1 \text{ km}^2 < Lw' \leq 10 \text{ km}^2$
Duże	$Lw' > 0,1 \text{ km}^2$	$Lw' > 10 \text{ km}^2$

- bezwymiarowy parametr kształtu formy ( $L/w'$ ),
  - parametr wielkości formy (iloczyn  $L$  i  $w'$ ) [ $\text{km}^2$ ].
- Na tej podstawie analizowane formy systemu rzeczno zostały podzielone:

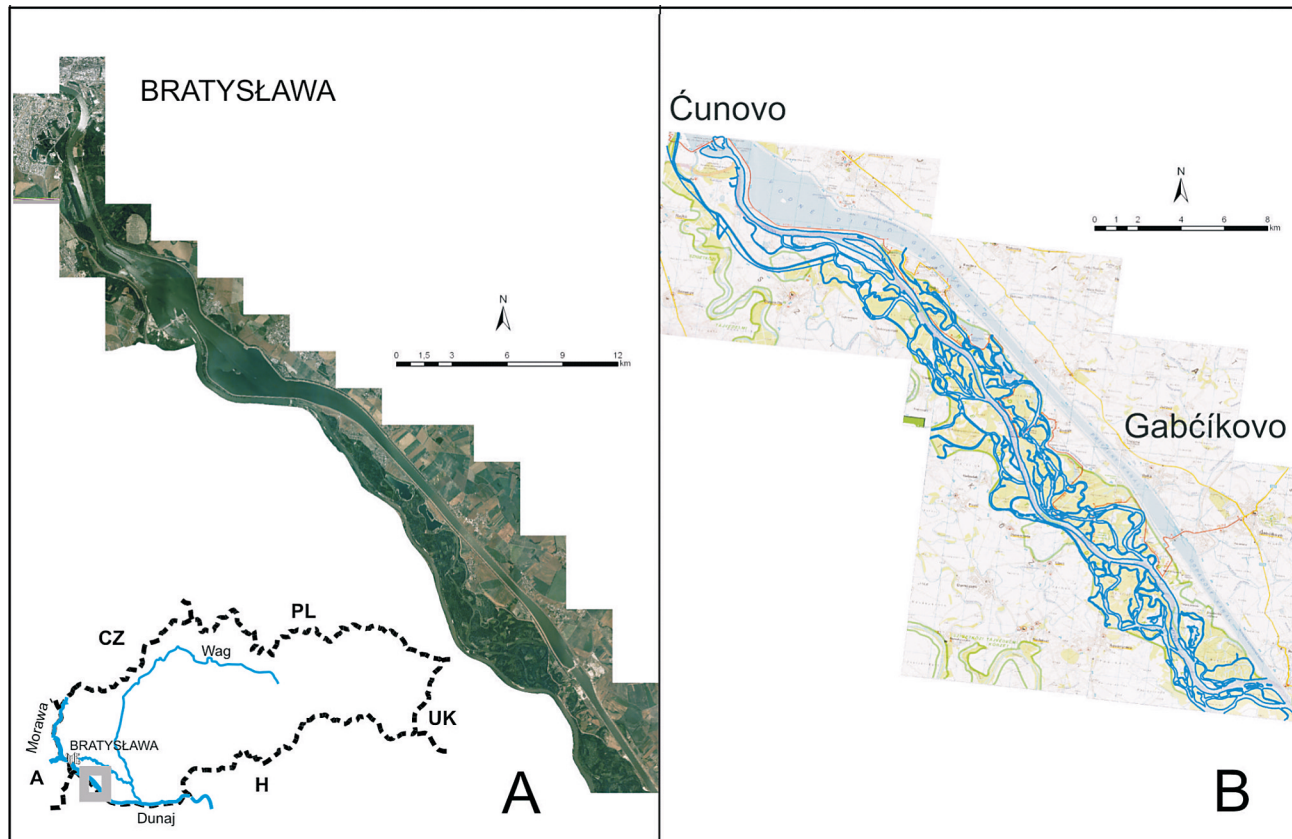
- a) w zależności od kształtu na:
  - 1) regularne ( $L/w' < 2$ ), ich długość jest nie więcej niż 2-krotnie większa od szerokości,
  - 2) wydłużone ( $2 < L/w' < 10$ ),
  - 3) liniowe ( $L/w' > 10$ );
- b) w zależności od wielkości (tab. 1).

## Obszar i materiały badań

Badania układu koryt Dunaju prowadzono w fragmencie dna doliny położonym na granicy słowacko-węgierskiej pomiędzy zaporami wodnymi w Čunovie i Gabčíkovie (ryc. 2). Znajdujący się w tym

miejscu system wielokorytowy można uznać za relik po systemie żwirowej rzeki rozgałęzionej – anabranching (Lehotský i in. 2009) funkcjonującej na Małej Nizinie Naddunajskiej jeszcze pod koniec XIX stulecia. Jego ewolucję od systemu naturalnego do silnie przekształconego antropogenicznie, przedstawił Pišút (2002) na podstawie map archiwalnych.

Analizę koryt rzecznych po stronie słowackiej przeprowadzono na zdjęciach lotniczych (ryc. 2A), które otrzymano od śp. dr Anny Greškovej i dr. Milana Lehotského z Instytutu Geografii Słowackiej Akademii Nauk w Bratysławie. Za otrzymane materiały składamy im w tym miejscu serdeczne podziękowanie. Natomiast ze względu na brak zdjęć od strony węgierskiej do badań wykorzystano mapy topograficzne w skali 1:50 000 (ryc. 2B). Analizę morfometryczną przeprowadzono za pomocą oprogramowania ArcGIS.



**Ryc. 2.** Układ koryt rozgałęzionych Dunaju pomiędzy Čunovem a Gabčíkovem

A – lokalizacja obszaru badań oraz ortofotomapa, B – układ koryt na mapie topograficznej

**Fig. 2.** Danube river channel pattern between Čunovo and Gabčíkovo

A – location of research and orthophotomap, B – channel pattern on topographic maps

## Wyniki analizy

Porównując wzorzec układu koryt rozgałęzionych według Brice'a (1975) i Teisseyre'a (1991, 1992) (ryc. 1) z układem koryt Dunaju (ryc. 2), zaklasyfikowano badany fragment systemu koryt Dunaju do typu 3e – złożonego koryta rozgałęzionego z udziałem przewyższającym 65% dzielenia się (ang. *anastomosis*) przepływu rzeczno.

Na wyznaczonym odcinku dna doliny Dunaju przeanalizowano łącznie 142 formy międzykorytowe. Parametry bezwymiarowe badanych form są bardzo zróżnicowane, co potwierdza skomplikowany układ koryt. Wartości bezwymiarowego parametru długości mieściły się w zakresie od 0,2 do 18,5 (średnia 4,0), natomiast bezwymiarowego parametru szerokości w zakresie od 0,1 do 8,3 (średnia 1,5). Zdecydowaną większość form międzykorytowych (83%) sklasyfikowano jako wyspy międzykorytowe (ryc. 3). Natomiast stosując kryterium zaproponowane przez Teisseyre'a (1991), można stwierdzić, że udział wysp maleje do 62% ( $L/w \leq 4$ ) i do 54% ( $w'/w \leq 1$ ). Należy dodać, że 15% badanych form spełnia także warunek morfometryczny zaliczenia ich do wysp roztokowych ( $L/w \leq 1$ ), jednak szerokość współczesnego dna doliny Dunaju jest dużo większa od szerokości koryt, co skłania do uznania ich za wyspy międzykorytowe. Dane te mają istotne znaczenie w ustaleniu ewolucji systemu Dunaju w badanym fragmencie.

Wśród wysp systemu koryt rozgałęzionych Dunaju dominują formy wydłużone (przeciętna wartość  $L/w = 3,2$ ) i średnich lub dużych rozmiarów ( $0,01 \text{ km}^2 < Lw' < 1,45 \text{ km}^2$ ) (tab. 1). Przeciętna wartość parametru wielkości ( $Lw'$ ) wysp wynosi  $0,19 \text{ km}^2$ . Obszary międzykorytowe są zwykle średnich rozmiarów ( $1 \text{ km}^2 \leq Lw' < 10 \text{ km}^2$ ) i mają w równym udziale kształt zbliżony do regularnego i wydłużonego. Natomiast nawiązując do podziału Teisseyre'a (1991), można zauważyć, że wszystkie obszary międzykorytowe są krótkie ( $4,1 < L/w < 50$ ) i wąskie ( $1 < w'/w < 20$ ).

## Podsumowanie i wnioski

Analiza układu koryt Dunaju wykazała, że badany system koryt rozgałęzionych należy do typu cechującego się skomplikowanym układem przestrzennym, w którym dzielenie się przepływu następuje na całej jego długości. Większość form rozdzielających

przepływ rzeczny to formy koryta (II rzędu), czyli wyspy międzykorytowe.

Porównując wyniki badań układu koryt Dunaju z wynikami analiz przeprowadzonych metodą Brice'a przez Teisseyre'a (1991, 1992) w dolinie Bobru i Kwisy, należy stwierdzić, że układy koryt tych rzek różnią się między sobą. Analiza układu koryt Bobru i Kwisy wykazała, że udział wysp i obszarów międzykorytowych tych rzek jest zbliżony do siebie, a dominującym typem rozgałęzienia się koryt jest koryto rozgałęzione złożone głównie z porozcinanych kanałami przelewowymi łańcuch meandrowych (typ b).

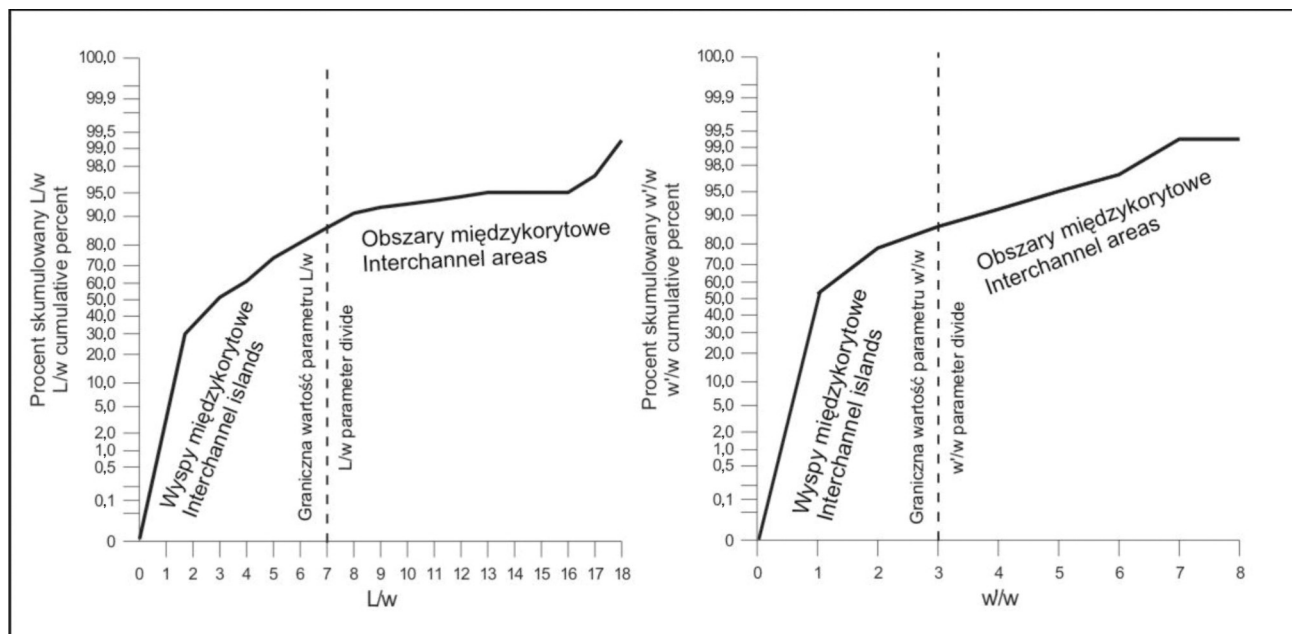
Przyczyna różnicy morfometrycznej form międzykorytowych występujących w dolinach Bobru i Kwisy w stosunku do występujących w dolinie Dunaju wynika z ich genezy. Jak wspomina Teisseyre (1992), układ rozgałęziony badanych przez niego rzek powstał w wyniku transformacji z systemu rzeki meandrującej do rozgałęzionej. Natomiast układ rozgałęzionych koryt Dunaju formował się najprawdopodobniej na dwa sposoby. Częściowo powstawał na drodze awulsji dużych koryt o rozwinięciu meandrowym, podobnie jak doliny Bobru, Kwisy i Oławy (Teisseyre 1992). W ten sposób powstały głównie obszary międzykorytowe. Jednak system wielokorytowy Dunaju ukształtował się w wyniku ewolucji form korytowych żwirodennej rzeki roztokowej (Lehotský i in. 2009) poprzez nadbudowę odsypów lub wysp roztokowych osadami kohezyjnymi. Wskazuje na to m.in. duży udział wysp międzykorytowych. Taki sposób ewolucji systemu rzeczno z roztokowego w rozgałęziony (*anabranched*) opisują m.in. Smith i Smith (1980).

Na zakończenie należy podkreślić, że klasyfikacja układu koryt (ryc. 1) i metoda opisu morfometrycznego form międzykorytowych zaproponowana przez Brice'a nie uwzględnia informacji o typie obciążenia rzeki, litologii i geomorfologii dna doliny ani o głębokości koryt. Dlatego też nie może być stosowana alternatywnie do innych klasyfikacji rzek np. Schumma (1977) czy Rosgena (1994). Analiza układu koryt Dunaju jest więc jedynie częścią wstępną badań prowadzonych w ramach projektu pt. „Kierunki przemian rzeźby i depozycji osadów w wielokorytowych systemach fluwialnych Wisły i Dunaju w warunkach zabudowy hydrotechnicznej – studium porównawcze”, mającego na celu m.in. sklasyfikowanie systemów tych rzek z uwzględnieniem wszystkich wspomnianych wcześniej czynników.

**Tabela 2.** Kształt i wielkość form systemu koryt rozgałęzionych Dunaju

**Table 2.** Shape and size of landforms in the Danube river valley anabranching system

Forma	Kształt formy [%]			Wielkość formy [%]		
	Regularna	Wydłużona	Liniowa	Mała	Średnia	Duża
Wyspa	19	81	1	15	49	42
Obszar	50	46	4	29	67	4



**Ryc. 3.** Charakterystyka morfometryczna form systemu koryt rozgałęzionych Dunaju pomiędzy Čunovem a Gabčíkovem  
**Fig. 3.** Morphometrical characteristic of Danube river anabranching channel pattern system, between Čunovo and Gabčíkovo

Badania częściowo finansowane ze środków przeznaczonych na naukę – grant MNiSzW nr N N306 084837.

## Literatura

- Beechie T.J., Liermann M., Pollock M.M., Baker S., Davies J., 2006. Channel pattern and river-flood-plain dynamics in forested mountain river systems. *Geomorphology* 78: 124–141.
- Brice J.C., 1975. *Air photo interpretation in the form and behavior of alluvial river*. Final Report for US Army Research Office.
- Brice J.C., Blodgett J.C., 1978. Counter Measures for Hydraulic Problems at Bridges. 1. Analysis and Assessment. *Report No. FHWA-RD-78-162*. Fed. Highway Admin., Washington.
- Kalicki T., Szymańska J.B., 2009. Litologia, wiek i geneza maci wiślanych w Kotlinie Sandomierskiej i Kotlinie Toruńskiej. *Geneza, Litologia i Stratygrafia Utworów Czwartorzędowych* 5, Ser. Geogr. 88: 165–186.
- Lehotský M., Novotný J., Szymańska J.B., Grešková A., 2010. *Geomorphology* 117, 3–4: 298–308.
- Pišút P., 2002. Channel evolution of pre-channelled Danube River in Bratislava, Slovakia (1712–1886). *Earth Surface Processes and Landforms* 27: 369–390.
- Rust B.R., 1978. A classification of alluvial channel systems. W: A.D. Miall (red.), *Fluvial sedimentology*. *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.* 5. Calgary, Canada.
- Rosgen, D.L., 1994. A classification of natural rivers. *Catena* 22: 169–199.
- Schumm S.A., 1977. *The fluvial system*. Wiley, New York.
- Schumm S.A., 1981. Evolution and response of the fluvial system, sedimentologic implication. *SEPM, Spec. Publ.* 31: 19–29.
- Smith D.G., Smith N.D., 1980. Sedimentation in anastomosed river system, examples in Alberta. Canada. *Can. J. Earth Sci.* 17: 1396–1406.
- Teisseyre A.K., 1985. Mady dolin sudeckich. Cz. I. Ogólna charakterystyka środowiska (na przykładzie zlewni górno Bobru). *Geol. Sudet.* 20, 1: 113–195.
- Teisseyre A.K., 1991. Klasyfikacja rzek w świetle analizy systemu fluwialnego i geometrii hydraulicznej. *Prace Geologiczno-Mineralogiczne* 22. Wyd. Uniw. Wroc., Wrocław.
- Teisseyre A.K., 1992. Rzeki anastomozujące – procesy i model sedymentacji. *Przeł. Geol.* 4: 241–248.
- Wang S., Li J., Yin S., 2000. Basic characteristic and controlling factors of anastomosing fluvial system. *Chinese Geographical Science* 10, 1: 30–37.
- Zieliński T., 1998. Litofacjalna identyfikacja osadów rzecznych. W: E. Mycielska-Dowgiałło (red.), *Struktury sedymentacyjne i postsedymentacyjne w osadach czwartorzędowych i ich wartość interpretacyjna*. Warszawa: 195–253.