

POLSKA
AKADEMIA
NAUK

PL ISSN 0012-5032

INSTYTUT GEOGRAFII
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

ZBIGNIEW ZWOLIŃSKI

GEOMORFICZNE
DOSTOSOWYWANIE SIĘ
KORYTA PARSETY
DO AKTUALNEGO
REŻIMU RZECZNEGO



ROK 1989

ZESZYT 3-4

WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK · ŁÓDŹ
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

**WYKAZ ZESZYTÓW
PRZEGLĄDU ZAGRANICZNEJ LITERATURY GEOGRAFICZNEJ**

za ostatnie lata

1986

- 1-2 Geografia kultury, s. 114, zł 240,—
- 3-4 Geografia behawioralna, s. 98, zł 240,—

1987

- 1 Społeczna geografia medyczna, s. 156, zł 240,—
- 2 Teledetekcja w rolnictwie, s. 203, zł 240,—
- 3-4 Śródziemnomorska Konferencja Międzynarodowej Unii Geograficznej. Hiszpania 1986, s. 116, zł 480,—

1988

- 1 Współczesna geografia francuska, cz. I, s. 204, zł 240,—
- 2-3 Współczesna geografia francuska, cz. II, s. 274, zł 480,—
- 4 Próby ujęć globalnych, s. 200, zł 240,—

1989

- 1 Próby standaryzacji nazw geograficznych, s. 132, (w druku)
- 2 Geografia percepcji (w druku)

GEOMORFICZNE DOSTOSOWYWANIE SIĘ
KORYTA PARSEŃY
DO AKTUALNEGO REŻIMU RZECZNEGO

POLISH ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE OF GEOGRAPHY AND SPATIAL ORGANIZATION

ZBIGNIEW ZWOLIŃSKI

GEOMORPHIC ADJUSTMENT
OF THE PARSEŃA CHANNEL
TO THE PRESENT-DAY RIVER REGIME



YEAR 1989

FASC 3-4

WROCLAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK · ŁÓDŹ
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

<http://rcin.org.pl>

POLSKA
AKADEMIA
NAUK

INSTYTUT GEOGRAFII
I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

ZBIGNIEW ZWOLIŃSKI

GEOMORFICZNE
DOSTOSOWYWANIE SIĘ
KORYTA PARSETY
DO AKTUALNEGO
REŻIMU RZECZNEGO



ROK 1989

ZESZYT 3-4

WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK · ŁÓDŹ
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

<http://rcin.org.pl>

KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor naczelny: Jerzy Grzeszczak
Członkowie: Maria Ciechocińska, Tadeusz Gerlach,
Alina Potrykowska, Józef Skoczek, Władysława Stola
Sekretarz: Maria Mozolewska-Adamczyk

ADRES KOMITETU:

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania
Polskiej Akademii Nauk
ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa

Maszynopis niniejszego numeru przekazano Wydawcy 29 listopada 1988

Redaktor Wydawnictwa: Hanna Jurek

Redaktor techniczny: Ryszard Ulanecki

Printed in Poland

Skład, druk i oprawę wykonała Wroclawska Drukarnia Naukowa
Zam. 4124/89 F-7.

<http://rcin.org.pl>

SPIS TREŚCI

Przedmowa – Andrzej Kostrzewski	7
Symbol	9
Wprowadzenie	12
Pojęcie reżimu rzeczno	14
Zakres badań	16
Przesłanki koncepcyjne	16
Założenia realizacyjne	18
Zarys metod badawczych	19
Obszar badań	21
Tło hydrologiczne	27
Uwarunkowania i implikacje geomorficzne zmienności parametrów geometrii hydraulicznej	31
Parametry podstawowe	34
Przepływ wody	34
Szerokość koryta	37
Średnia głębokość koryta	40
Średnia prędkość przepływu	43
Parametry suplementarne	46
Spadek	46
Obwód zwilżony	46
Mediana średnicy ziarna	47
Ładunek materiału rozpuszczonego	51
Ładunek materiału zawieszonego	53
Ładunek materiału wlezonego	56
Ładunek całkowity (przepływ osadów)	60
Parametry mutacyjne	65
Empiryczne modele parametryczne	66
Zmiany allometryczne koryta Parsęty	71
Geometria hydrauliczna a allometria	71
Analiza dynamiczna	79
Analiza statyczna	90
Allometria parametrów mutacyjnych	101
Orientacja allometryczna koryta Parsęty	107
Trendy dostosowywania się koryta Parsęty do kooperacji przepływowej	110
Reżim rzeczny a kooperacja przepływowa	110
Konstrukcja modeli dostosowywania się koryta rzeczno	111
Dostosowywanie się koryta Parsęty do zmian kooperacji przepływowej	114
Dostosowywanie pozycyjne	114
Dostosowywanie systemowe	128
Wnioski końcowe	130
Literatura	133
Geomorphic adjustment of the Parsęta channel to the present-day river regime (summary)	141
Геоморфическое приспособление русла Парсенты к актуальному речному режиму (резюме)	143

PRZEDMOWA

Ważne miejsce w geomorfologii dynamicznej zajmuje kierunek badań fluwialnych, biorąc pod uwagę choćby ilość ukazujących się prac, przede wszystkim w literaturze zagranicznej. Wynika to ze znaczenia rzek we współczesnym modelowaniu rzeźby oraz z ich roli w życiu człowieka. Rozwijane badania fluwialne, obok znaczenia teoretycznego, mają także duże zastosowanie praktyczne. Do współczesnych tendencji rozwojowych geomorfologii fluwialnej można zaliczyć postęp w studiach uszczegóławiających, często weryfikujących dotychczas uznane prawidłowości w zakresie uwarunkowań i funkcjonowania tego bardzo ważnego środowiska morfogenetycznego.

Badania procesów, osadów i form rzecznych na terenie Polski niestety nie zawsze nadążają za postępem światowym. Szczególne niedociągnięcia w naszej literaturze zaznaczają się w poznaniu rzek nizinnych. Przyczynę tego należy upatrywać nie w progu metodologicznym, lecz głównie metodycznym. Chodzi tu o nowoczesne techniki pomiarowe, w tym długoterminowy monitoring koryta rzecznego bądź zlewni.

Z zadowoleniem przyjmujemy opracowanie Zbigniewa Zwolińskiego, wypełniające istniejącą w polskiej literaturze lukę w ramach systemowych badań rzek nizinnych. Praca ta została napisana w poznańskim ośrodku geomorfologicznym i stanowi czwartą monografię z zakresu współczesnej problematyki fluwialnej po opracowaniach A. Kostrzewskiego, A. Kanieckiego i Z. Młynarczyka. Niemały i skrupulatnie zebrany materiał dokumentacyjny, nowoczesne i interesujące rozwiązania metodologiczne oraz zasługujące na uwagę wyniki, to istotne wartości prezentowanej pracy.

Podstawowy problem badawczy opracowania Z. Zwolińskiego obejmuje wyznaczenie tendencji dostosowywania się meandrującego koryta rzecznego do współczesnego reżimu rzeki nizinnej na przykładzie Parsęty. Szczegółowo zostały omówione uwarunkowania, kierunki, tempa i efekty zmian koryta Parsęty w oparciu o powtarzalne badania procesów, osadów i form w krótkiej skali czasowej. Na podkreślenie zasługuje zwrócenie uwagi na odmienny charakter hydrauliczny, sedymentacyjny i geomorficzny zakoli o niższych stosunkach krzywizny w porównaniu z zakolami o wyższych stosunkach krzywizny. Uzyskane dane skłaniają autora do wysunięcia tezy o zrewidowanie dotychczasowych poglądów na ogólne schematy rozwojowe zakoli meandrowych. Wartościowa jest przedstawiona hierarchizacja geomorficznych do-

stosowań systemu korytowego Parsęty oraz jego właściwości ujętych na szerszym tle systemu rzeczno. Wiele z zaprezentowanych prawidłowości stanowi stymulujące implikacje do dalszych badań.

Praca Z. Zwolińskiego wnosi sporo nowych informacji, nie tylko dla poznania funkcjonowania systemu korytowego rzek nizinnych, ale także wzbogaca teorię geomorfologii fluwialnej. Właśnie z tych powodów praca ta zasługuje na uwagę.

Andrzej Kostrzewski

SYMBOLE

- A – pole powierzchni przekroju poprzecznego koryta; współczynnik we wzorze (11),
- b – wykładnik funkcji szerokość-przepływ,
- B – stała we wzorze (11),
- C – pierwszy, najgrubszy percentyl,
- C_d – koncentracja materiału rozpuszczonego,
- C_s – koncentracja materiału zawieszonego,
- CF – wskaźnik kształtu koryta,
- CW – stosunek krzywizny zakola,
- d_m – miarodajna średnica ziarna,
- d_{35} – średnica ziarna, która wraz z frakcjami drobniejszymi stanowi 35% wagi próbki osadu,
- d_{50} – mediana średnicy ziarna,
- d_{90} – średnica ziarna, która wraz z frakcjami drobniejszymi stanowi 90% wagi próbki osadu,
- D – średnia głębokość koryta,
- D_b – średnia głębokość koryta przy stanie pełnokorytowym,
- D_{max} – głębokość maksymalna
- D_x – głębokość koryta w pionie morfometrycznym,
- E_w – bezwymiarowy wskaźnik efektywności transportu wlezonego,
- ex_a – wykładniki parametrów mutacyjnych dla poprzecznej geometrii hydraulicznej,
- ex_b – wykładniki parametrów mutacyjnych dla podłużnej geometrii hydraulicznej,
- ex_1 – wykładnik pola powierzchni przekroju poprzecznego koryta,
- ex_2 – wykładnik stosunku szerokość/głębokość,
- ex_3 – wykładnik wskaźnika kształtu koryta,
- ex_4 – wykładnik wskaźnika stabilności koryta,
- ex_5 – wykładnik promienia hydraulicznego,
- ex_6 – wykładnik liczby Reynoldsa,
- ex_7 – wykładnik liczby Frouda,
- ex_8 – wykładnik prędkości dynamicznej,
- ex_9 – wykładnik zdolności rzeki,

- ex_{10} – wykładnik współczynnika szorstkości Manninga,
 ex_{11} – wykładnik współczynnika tarcia Darcy-Weisbacha,
 ex_{12} – wykładnik naprężenia stycznego,
 ex_{13} – wykładnik bezwymiarowego naprężenia stycznego,
 ex_{14} – wykładnik liczby Reynoldsa ziarna,
 f – wykładnik funkcji głębokość-przepływ,
 fff – współczynnik tarcia Darcy-Weisbacha,
 F – stosunek szerokość/głębokość,
 Fr – liczba Frouda,
 g – przyspieszenie standardowe siły ciężkości,
 H – stan wody,
 k_r – wskaźnik szorstkości ziarn, które powodują tarcie przy gładkim dnie,
 k_s – wskaźnik oporności dna koryta,
 K_c – wskaźnik stabilności koryta,
 L_b – ładunek materiału wlezonego,
 L_d – ładunek materiału rozpuszczonego,
 L_s – ładunek materiału zawieszonego,
 m – wykładnik funkcji prędkość-przepływ,
 M – mediana średnicy ziarna (w jednostkach phi),
 n – współczynnik szorstkości Manninga,
 P – obwód zwilżony,
 Q – przepływ wody,
 Q_{D_x} – przepływ, na który wpływ ścian koryta jest nieistotny,
 Q_L – przepływ osadów (ładunek całkowity transportowanych materiałów)
 R – promień hydrauliczny,
 R_c – promień krzywizny zakola,
 Re – liczba Reynoldsa,
 Re_* – liczba Reynoldsa ziarna,
 s – wykładnik funkcji mediana średnicy ziarna-przepływ,
 S – spadek,
 Si – krętość koryta,
 u_1 – wykładnik funkcji ładunek materiału rozpuszczonego-przepływ,
 u_2 – wykładnik funkcji ładunek materiału zawieszonego-przepływ,
 u_3 – wykładnik funkcji ładunek materiału wlezonego-przepływ,
 V – średnia prędkość przepływu,
 V_* – prędkość dynamiczna (ścinająca),
 w – wykładnik funkcji przepływ osadów-przepływ wody i *vice versa*,
 W – szerokość koryta,
 W_b – szerokość koryta przy stanie pełnokorytowym,
 W_E – szerokość efektywna transportu wlezonego,
 x – wykładnik funkcji obwód zwilżony-przepływ,
 X – wyrażenie ekwiwalentne we wzorze (13),

- Y – wyrażenie ekwiwalentne we wzorze (13),
- z – wykładnik funkcji spadek-przepływ,
- Z – wyrażenie ekwiwalentne we wzorze (13),
- γ_r – ciężar właściwy materiału wleczonego,
- γ_w – ciężar właściwy wody,
- Θ – bezwymiarowe naprężenie styczne,
- ν – kinematyczny współczynnik lepkości,
- ρ_r – gęstość materiału wleczonego,
- ρ_w – gęstość wody,
- τ – naprężenie styczne,
- Ω – zdolność (kompetencja) rzeki.

WPROWADZENIE

Znajomość zagadnień fluwialnych Pomorza jest jednym z ważniejszych ogniw w poznaniu środowiska geograficznego tego regionu. Wynika to nie tylko ze znaczącej indywidualności rzek przymorskich na tle mapy hydrograficznej Polski, lecz także z ich dużej i wielostronnej przydatności w działalności gospodarczej człowieka. Aktualne kierunki i zakresy badań rzek Przymorza omówiono w oddzielnym opracowaniu (Zwoliński 1988). Spośród wymienionych tam kierunków badawczych najslabiej rozwijane są badania morfologiczne, morfodynamiczne i sedimentologiczne, a badania morfometryczne i hydrauliczne są właściwie nierozwijane.

Przegląd publikacji dotyczących rzek przymorskich dostarcza ponadto dodatkowych uwag natury ogólnej:

a) słaby rozwój badań współczesnych procesów geomorficznych oraz fluwialnych w obrębie zlewni i koryt rzecznych jako badań podstawowych z zakresu geomorfologii dynamicznej;

b) zasadniczy brak badań ilościowych; stwierdzenie to dotyczy prawie każdego kierunku badawczego; jedynie w pracach hydrologicznych i hydrochemicznych, oprócz opisu i analizy jakościowej, widoczne są próby ujęć ilościowych;

c) pomijanie podejścia systemowego w badaniach rzek przymorskich; niedociągnięcia w tym zakresie są o tyle ważne, że nie pozwalają na całościowe ujęcie ewolucji nie tylko samych koryt lub dolin rzecznych, ale również całego obszaru Przymorza;

d) brak opracowań traktujących rzekę Parsętę jako jedyny lub choćby główny obiekt badawczy¹; rzeka ta jest najdłuższą rzeką Przymorza i ma największą zlewnię; wiele jej cech morfo- i hydrometrycznych można uznać za charakterystyczne dla obszarów młodoglacjalnych.

Wskazane uwagi o opracowaniach rzek przymorskich wynikające z przeglądu literatury z ostatnich lat, skłoniły do podjęcia w obrębie koryta Parsęty badań z zakresu współczesnych procesów fluwialnych z wykorzystaniem podejścia systemowego i ujęcia ilościowego.

¹ W ostatnich latach w ośrodku poznańskim uruchomiono kilka programów badawczych, obejmujących tylko zlewnię Parsęty.

Przegląd krajowej i światowej literatury z dziedziny geomorfologii fluwialnej wskazuje na trzy główne tendencje metodologiczne w badaniach fluwialnych, które można odnotować w ostatnich latach. Pierwsza z nich, dotyczy spadku zainteresowania poszukiwaniem skomplikowanych formuł matematycznych opisujących procesy fluwialne, na rzecz skłaniania się raczej do stosowania formuł wcześniej wdrożonych, uzasadnionych i sprawdzonych w licznych opracowaniach. Druga tendencja jest związana ze zwrotem ku fizycznym podstawom procesów fluwialnych i ich efektów, a szczególnie w kierunku badań hydraulicznych. Wreszcie, trzecia tendencja obejmuje rozwój badań prognostycznych w ujęciu ilościowym, które w powiązaniu z badaniami aktualistycznymi i retrodykcyjnymi pozwalają przewidywać zmiany w systemie fluwialnym, co najmniej w krótkiej skali czasowej, spowodowane zjawiskami tak normalnymi, jak i ekstremalnymi oraz eksploatacją i regulacją środowiska przez człowieka.

Zamierzeniem niniejszej pracy jest przynajmniej częściowe podążenie tropem wymienionych tendencji. Wydaje się, że tendencje te spowodowały odejście od dowodzenia przyczynowo-skutkowego i zaferowanie nowej procedury logiki geomorfologicznej, a mianowicie modelu „proces – reakcja” (por. Hickin 1981). Model ten, oprócz wyjaśniania, umożliwia także prognozowanie zachowań rzeki (Hey, Thorne 1984). W tym kontekście model ten ukazuje, jak i dlaczego koryto rzeczne reaguje na dostarczanie energii i materii do systemu korytowego oraz jak te procesy mogą być modyfikowane przez interakcje między przekrojami poprzecznymi koryta, gdy ich uwarunkowania są zmienne w dużym zakresie (Hey 1979). Tak rozumiany model „proces – reakcja” stał się przewodnim kanonem przedstawianej pracy.

* * * *

Wyrażam swoją wdzięczność prof. dr. hab. Andrzejowi Kostrzewskiemu za wielkie zaangażowanie w całość spraw związanych z tą pracą, za udzielenie cennych rad i wskazówek w trakcie jej realizacji. Prof. prof. K. Klimkowi, S. Kozarskiemu i W. Stankowskiemu składam podziękowanie za przejrzenie pracy oraz poczynienie wielu krytycznych uwag. Dziękuję również dr. dr. R. K. Borówce, P. Gonerze i A. Wojciechowskiemu za dyskusję nt. wielu problemów metodycznych i merytorycznych, a dr. E. Malcowi (Ośrodek Informatyki UAM) za wykonanie obliczeń komputerowych.

POJĘCIE REŻIMU RZECZNEGO

W obecnych podejściach badawczych koryto rzeczne jest traktowane jako odrębny system geomorficzny niższego rzędu taksonomicznego (subsystem) w ogólnym systemie fluwialnym. W każdym systemie korytowym odbywa się przemieszczanie energii, materii i informacji w obrębie tego systemu oraz pomiędzy nim a systemami sąsiednimi – otoczeniem koryta, obszarem zlewni. Zatem funkcjonowanie systemów korytowych polega na dostarczaniu energii i materii do systemu, ich transferze w systemie poprzez różne postacie informacji oraz ich odprowadzaniu poza system. Pomijając kwestię energii tak potencjalnej, jak i kinetycznej, należy w systemach korytowych zwrócić większą uwagę na materię. Ten element systemowy konstituowany jest przez wodę i znajdujący się w niej materiał, których stan i zachowanie jest kontrolowane i sterowane zmiennymi systemowymi. Wymienione dwa składniki materii są nierozdzieloną mieszaniną w funkcjonujących systemach korytowych bez względu na aktywność tych systemów.

Oddzielne badania zachowań wody i występujących w niej materiałów doprowadziły do rozróżniania dwóch odrębnych rodzajów reżimów: hydrologicznego i sedimentologicznego (niekiedy nazywanego sedimentacyjnym). Podział ten na wiele lat zaciążył na badaniach z zakresu geomorfologii fluwialnej (np. Kostrzewski 1970; Morisawa, LaFlure 1979). Od początku lat osiemdziesiątych coraz powszechniej jednak obserwuje się zwrot ku zespolonemu traktowaniu wody i materiału rzeczne (np. Kaniecki 1976; Maizels 1983a, b, c; Osterkamp, Lane, Foster 1983; Knighton 1984), co zresztą nie jest całkowicie nowym podejściem badawczym (por. Graf 1971). Retrowersja ta jest efektem nawiązania do wcześniejszych poglądów, a mianowicie do teorii reżimowej (Kennedy 1895; Lacey 1929, 1946; a później opisywanej przez T. Blencha (1969) i W. H. Grafa (1971, 1981) oraz koncepcji geometrii hydraulicznej (Leopold, Maddock 1953; Leopold, Wolman, Miller 1964). Wykorzystują one zależności empiryczne i są stosowane jako narzędzia modelowe nie tylko do opisywania aktualnej zmienności geomorficznej koryt rzecznych, lecz także rekonstruowania dawnych i przewidywania przyszłych zmian korytowych.

W powyższym kontekście mieszanina woda – osad nabrała nowego, ważnego znaczenia. Opieranie się na interakcjach wody i osadu, przemieszczających się wspólnie w korycie rzeczne, dało podstawy do dynamicznego wyjaśniania morfologii korytowej i wyznaczania stanów zachowywania się koryta rzecz-

nego (Schumm 1977). Innym walorem mieszaniny woda–osad w systemie korytowym jest jej dostarczanie z systemu zlewni, co narzuca traktowanie jej jako niezależnej zmiennej systemowej względem systemu koryta rzeczno-ego. Wynika to też z przekonania, że przepływ wody i przepływ materiału rzeczno-ego są stymulowane i kontrolowane przez zdarzenia oraz procesy geomorficzne zachodzące na obszarze zlewni (Gregory, Walling 1973; Schumm 1977; Li 1979; Froehlich 1982; Richards 1982; Knighton 1984). Stawia to mieszaninę woda–osad na czołowym miejscu w hierarchii czynników odpowiedzialnych za wielkość, kształt i układ koryta rzeczno-ego.

Przedstawione rozważania ukazują w odmiennym świetle rozumienie reżimów hydrologicznego i sedymentologicznego. W zależności od problemu i podejścia badawczego można je analizować odrębnie, tak jak to czyniono dotychczas; jednak obecnie nie sposób już pomijać ich jednoczesnego i równorzędnego występowania w korycie rzeczno-ym. Stąd rysuje się potrzeba skorzystania z pojęcia reżim rzeczno-ego jako nadrzędnego w stosunku do dwóch uprzednio stosowanych rodzajów reżimów. Reżim rzeczno-ego zatem można określić jako styl zachowań mieszaniny woda–osad w korycie rzeczno-ym w dowolnej skali czasowej. Z pragmatycznego punktu widzenia badań geomorfologicznych, hydrologicznych i sedymentologicznych reżim rzeczno-ego wyraża współdziałanie przepływu wody oraz przepływu osadów, do którego dostosowuje się wielkość, kształt, jak też układ koryta rzeczno-ego. Tak pojmowany i używany termin reżim rzeczno-ego znajduje uzasadnienie w teorii reżimowej (Blench 1969; Graf 1971, 1981; Hickin 1981; Knighton 1984), koncepcji geometrii hydraulicznej (Leopold, Maddock 1953; Leopold, Wolman, Miller 1964), teorii systemów geomorficznych (Chorley 1962; Howard 1965, 1980; Chorley, Kennedy 1971; Schumm 1977) oraz analizie allometrycznej systemów (Bull 1975; Park 1978a).

O ile przepływ wody nie budzi żadnych wątpliwości, o tyle rozumienie przepływu osadów – w powyższym ujęciu reżimu rzeczno-ego – wymaga pewnego uściślenia. Przepływ osadów bowiem obejmuje materiał przemieszczający się razem z wodą i w jej obrębie, a zatem są to cząstki stałe (w tym mineralne i organiczne) oraz substancje rozpuszczalne. Innymi słowy, transportowany materiał jest stanowiony przez materiał rozpuszczony, zawieszony, wleczony. Suma ładunków tych materiałów określa całkowity ładunek koryta rzeczno-ego.

ZAKRES BADAŃ

Przedstawiana praca jest osadzona w ogólnym problemie badawczym, jakim jest współczesna dynamika rzeczno systemu geomorficznego. W pracy główny nacisk położono na określenie tendencji dostosowywania się koryta rzecznoego do reżimu nizinnej rzeki meandrującej w strefie klimatu umiarkowanego. Wskazanie uwarunkowań, kierunków, tempa i efektów zmian koryta rzecznoego Parsęty, na podstawie powtarzalnych badań procesów, osadów i form w obrębie koryta w przyjętej skali czasowej, jest nadrzędnym zadaniem tej pracy.

PRZESŁANKI KONCEPCYJNE

Na podstawie zarówno badań paleohydrologicznych i współczesnych, jak również własnych i innych autorów S. A. Schumm (1977) uzyskał dwie ogólne zależności, według których

$$Q \simeq (W_b, D_b, \lambda) S^{-1} \text{ oraz } L_b \simeq (W_b, \lambda, S) (D_b, Si)^{-1}. \quad (1)$$

Zależności te opisują kierunki zmian w wymiarach, kształcie, spadku i układzie koryta. Odpowiednio do zmieniającego się przepływu wody i ładunku materiału wlezonego parametry geometryczne koryta dostosowują się do tych zmian w myśl poniższych równań modelowych (Schumm 1977):

$$Q^+ L_b^+ \simeq W_b^+, D_b^\pm, \lambda^+, S^\pm, Si^-, F^+, \quad (2)$$

$$Q^- L_b^- \simeq W_b^-, D_b^\pm, \lambda^-, S^\pm, Si^+, F^-, \quad (3)$$

$$Q^+ L_b^- \simeq W_b^\pm, D_b^+, \lambda^\pm, S^-, Si^+, F^-, \quad (4)$$

$$Q^- L_b^+ \simeq W_b^\pm, D_b^-, \lambda^\pm, S^+, Si^-, F^+, \quad (5)$$

w których „+” lub „-” określają wzrastanie lub zmniejszanie wartości poszczególnych parametrów. Do tej pory powyższe modele stosowano, w większości przypadków, w badaniach paleohydrologicznych (Florek 1978, 1982, 1983; Williams 1978a; Shepherd 1979; Kozarski 1983; Maizels 1983a, b). Za ich pomocą określano tylko kierunki zmian parametrów geometrycznych koryta, a jedynie J. Maizels (1983a, b) podaje także tempo tych zmian.

Koncepcję modeli S. A. Schumma (1977) postanowiono wykorzystać w warunkach współcześnie kształtowanego koryta Parsęty w celu ukazania

kierunków i tempa dostosowywania się parametrów koryta do zmian przepływu wody oraz ładunku transportowanego materiału. Parametryzacja tych modeli następuje poprzez stosowanie funkcji potęgowych, najczęściej uznawanych za optymalne w geomorfologii fluwialnej. Na tym rodzaju funkcji oparta jest m.in. koncepcja geometrii hydraulicznej L. B. Leopolda i T. Maddocka (1953). Podstawą tej koncepcji jest stwierdzana prawidłowość, że przy różnych objętościach przepływu wody – szerokość, głębokość i prędkość płynącej wody odzwierciedla hydrauliczny charakter przekroju poprzecznego koryta (Leopold, Wolman, Miller 1964). Prawidłowość ta jest wyrażona w następujących postaciach funkcji potęgowych:

$$W = aQ^b, \quad (6)$$

$$D = cQ^f, \quad (7)$$

$$V = kQ^m. \quad (8)$$

L.B. Leopold i T. Maddock (1953) uzasadnili, że według powyższych relacji, istnieje możliwość określania kierunku i tempa zmian także innych parametrów morfologicznych bądź hydraulicznych koryta. Punktem wyjścia tych rozważań jest ewentualność dwójakiego zapisu równania ciągłości przepływu:

$$Q = WDV \quad (9)$$

lub podstawiając zależności geometrii hydraulicznej

$$Q = aQ^b \cdot cQ^f \cdot kQ^m = ackQ^{b+f+m}. \quad (10)$$

Z ostatniego równania wynika, że $ack = 1$ oraz $b + f + m = 1$. Wykorzystując tę właściwość L. B. Leopold i T. Maddock (1953) określili formułę Manninga $V = D^{2/3} S^{1/2} n^{-1}$ w nowych kategoriach, podstawiając właśnie równania (7) i (8): $kQ^m = cQ^{2/3f} S^{1/2} n^{-1}$. Ta sugestia znalazła swoje odzwierciedlenie w niektórych pracach, gdzie w kategoriach geometrii hydraulicznej określano takie parametry jak współczynnik Darcy-Weisbacha (Leopold, Wolman, Miller 1964; Church 1972; Richards 1973; Williams 1978b; Andrews 1979), powierzchnię przekroju poprzecznego koryta (Church, Gilbert 1975; Rhodes 1977; Roy 1983), stosunek szerokość/głębokość (Nordseth 1973; Rhodes 1977), formułę Manninga (Leopold, Miller 1956; Leopold, Skibitzke 1967; Rhodes 1977), zdolność (kompetencję) rzeki (Bull 1979), a nawet amplitudy spadku i prądów pływowych w estuarium (Langbein 1963). Opisaną zaletę równań geometrii hydraulicznej postanowiono wykorzystać również w niniejszej pracy.

Zmiany koryta rzecznoego mogą być rozpatrywane w 3 płaszczyznach wymiarowych:

- 1) w przekroju poprzecznym koryta;
- 2) w profilu podłużnym koryta;
- 3) w układzie koryta (w planie).

Koncepcja geometrii hydraulicznej wykorzystuje dwie pierwsze możliwości analizy. L. B. Leopold i T. Maddock (1953) rozróżnili bowiem poprzeczną

geometrię hydrauliczną², która dotyczy relacji określanych w przekroju poprzecznym koryta oraz podłużną geometrię hydrauliczną³, która obejmuje relacje wzdłuż profilu podłużnego koryta dla stałych wartości przepływów (np. o pewnym okresie powtarzalności lub częstotliwości, przepływ pełnokorytowy, dominujący lub kształtujący koryto). Rozdzielenie geometrii hydraulicznej na dwa podejścia do zmian korytowych narzuca stwierdzenie, że poprzeczna geometria hydrauliczna analizuje zmiany w jednym punkcie (przekroju poprzecznym) z biegiem czasu, natomiast podłużna – objaśnia zmiany w kilku punktach (przekrojach poprzecznych wzdłuż profilu podłużnego) w jednym momencie czasowym. Takie pojmowanie geometrii hydraulicznej jest zgodne z poglądem W. B. Bulla (1975), który poprzeczną i podłużną geometrię hydrauliczną określa odpowiednio dynamicznymi oraz statycznymi zmianami allometrycznymi. Analiza allometryczna w systemie fluwialnym, według W. B. Bulla (1975) i C. C. Parka (1978a), określa stosunek pewnej części systemu do zmian w całym systemie lub innych części tego systemu oraz umożliwia sprecyzowanie stanu systemu fluwialnego.

ZAŁOŻENIA REALIZACYJNE

Przyjmując przedstawione koncepcje założono, że analiza allometryczna geometrii hydraulicznej koryta Parsęty pozwoli na określenie kierunków i tempa zmian zachodzących w korycie rzeczonym oraz wyznaczenie współczesnych tendencji dostosowywania się koryta do aktualnego reżimu rzecznego, wyrażonego przepływem wody i ładunkiem transportowanych materiałów. W takim kontekście tendencje te wyrażają zmiany różnych parametrów koryta, które odzwierciedlają przebieg procesów morfogenetycznych w tym korycie. Uznano zatem za konieczne:

- 1) rozpoznanie uwarunkowań hydrologicznych, litologicznych i morfologicznych rozwoju koryta;
- 2) określenie charakteru splywu wody i zmian morfologicznych w obrębie koryta;
- 3) wyznaczenie i określenie zmienności parametrów geometrii hydraulicznej koryta;
- 4) wskazanie różnic w przebiegu procesów morfogenetycznych w zależności od kształtu przekroju poprzecznego koryta i biegu rzeki;
- 5) przedstawienie dynamicznych i statycznych zmian allometrycznych koryta;
- 6) wytyczenie trendów zachowań innych parametrów morfologicznych i hydraulicznych koryta na podstawie poznanych zależności geometrii hydraulicznej;
- 7) zestawienie i wyjaśnienie struktury modeli reakcji koryta na zmiany w przepływie wody oraz ładunku transportowego materiału.

² At-a-station hydraulic geometry (ang.)

³ Downstream hydraulic geometry (ang.)

Do przeprowadzenia badań terenowych wybrano rzekę Parsętę, najdłuższą spośród rzek Przymorza. Szczegółowe badania wykonano na trzech odcinkach obserwacyjnych wzdłuż profilu podłużnego Parsęty. W obrębie każdego odcinka wyznaczono po trzy przekroje poprzeczne koryta, odmienne pod względem lokalizacji i kształtu:

- 1) na prostym odcinku rzeki;
- 2) na zakolu o większym promieniu krzywizny;
- 3) na zakolu o mniejszym promieniu krzywizny.

Całość badań skoncentrowano zatem na pomiarach 9 obiektów badawczych, stanowiących przekroje poprzeczne koryta Parsęty. Kompletnie obserwacje i badania terenowe wykonano od stycznia 1979 r. do grudnia 1982 r. Na wybranych przekrojach szczegółowe badania powtórzono w okresie od lipca 1979 r. do października 1981 r.

Związki między częstotliwością obserwacji terenowej a natężeniem procesów geomorfologicznych omawiają szeroko J. B. Thornes i D. Brunsten (1977), przypisując szczególne znaczenie obserwacjom kierowanym i powtarzalnym. Natomiast E. J. Hickin (1981) i C. C. Park (1977) zwracają uwagę na ilość danych potrzebnych do analizy geometrii hydraulicznej. Kluczowe jest stwierdzenie E. J. Hickina (1981), że ich ilość nie jest istotna pod względem statystycznym, jeśli przepływ reprezentowany jest przez kilka rzędów jego wielkości. Głównym założeniem powtarzania badań było zatem uzyskanie możliwie najszerzego zakresu skali przepływów wody w korycie Parsęty. Zamierzenie to zrealizowano dzięki 10-krotnym powtórzeniom badań, które występują w przedziałach czasowych 1–4,5 miesiąca. Uzyskana liczba i częstotliwość powtórzeń pomiarowych jest wystarczająca do analizy geometrii hydraulicznej w świetle sugestii G. P. Williama (1978b).

Wyznaczony okres badań należy zaliczyć do terażniejszej skali czasowej (Schumm, Lichty 1965) bądź bardzo krótkoterminowej skali czasowej (Lewin 1980), a rozpatrywane zdarzenia, procesy i efekty trzeba przyporządkować geomorfologicznej skali czasowej (Hickin 1981).

ZARYS METOD BADAWCZYCH

Jednym z założeń metodologicznych pracy jest powtarzalność pomiarów terenowych. Stąd każdy wytypowany przekrój poprzeczny koryta oznaczono reperami na lewym i prawym brzegu. Te dwa stałe punkty zapewniają dużą porównywalność wyników badań, np. pomiar głębokości i pobór próbek osadów wleczonych wykonywane były zawsze w tym samym miejscu koryta, niezależnie od zmian szerokości koryta. Na każdym przekroju koryta wykonywano pomiary morfometryczne i hydrometryczne, pobierano próbki wody i osadów wleczonych, mierzono temperaturę wody oraz kartowano dno na linii przekroju.

Próbki wody pobierano w celu oznaczenia ilości materiału rozpuszczonego i zawieszonego. Przy ustalaniu metodyki poboru próbek uwzględniono uwagi

J. Brańskiego (1968a). Próbkę pobierano na 3 głębokościach: 15 cm nad dnem, 0,4 głębokości i 5 cm pod powierzchnią wody. Ilość materiału zawieszonego oznaczano dla wszystkich głębokości, natomiast ilość materiału rozpuszczonego tylko dla 0,4 głębokości⁴. Obydwa rodzaje materiału oznaczano metodami wagowymi (Brański 1968b; Hermanowicz i in. 1976). Próbkę materiału wleczonego pobierano aluminiowym kolektorem cylindrycznym (Zwoliński 1990) na każdym pełnym metrze szerokości efektywnej koryta.

Badania terenowe w całym zakresie pomiarowo-obszernym powtórzone od 7 do 10 razy na poszczególnych przekrojach, co dało łącznie 84 skorelowane przekroje.

⁴ W czasie pierwszego pomiaru (lipiec 1979 r.) wykonano oznaczenia materiału rozpuszczonego dla wszystkich głębokości. Stwierdzony brak prawidłowości w rozkładzie koncentracji materiału w 9 badanych przekrojach tak w pionie, jak i w poziomie przekonał o ograniczeniu tych badań tylko do jednego poziomu głębokości. Brak powyższych związków przestrzennych dla materiału rozpuszczonego był uprzednio odnotowywany m.in. przez W. Froehlich (1975) oraz K. J. Gregory'ego i D. E. Wallinga (1973).

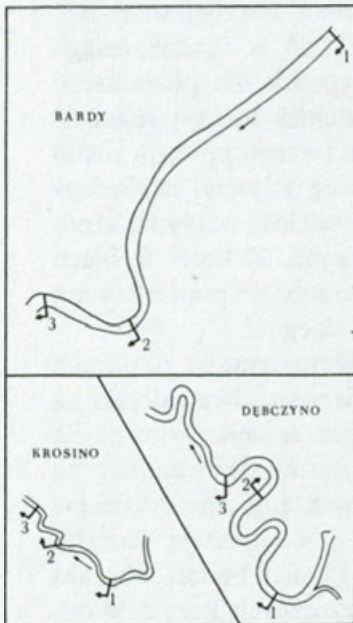
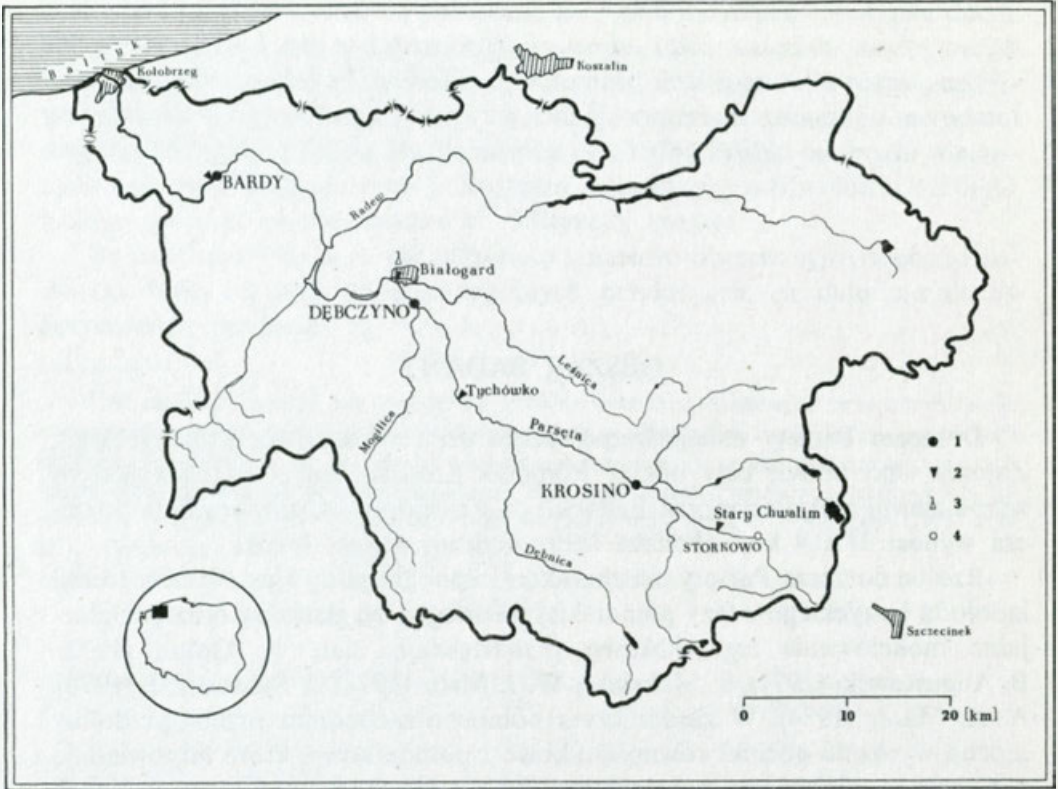
OBSZAR BADAŃ

Dorzecze Parsęty należy bezpośrednio do zlewiska Morza Bałtyckiego. Zajmuje ono prawie cały obszar Pomorza Środkowego i jest największym wśród zlewni rzek Przymorza Bałtyckiego. Zrewidowana powierzchnia dorzecza wynosi 3150,9 km² (*Podział hydrograficzny Polski* 1983).

Rzeźba dorzecza Parsęty ma charakter młodoglacjalny i jest efektem recesji lądolodu bałtyckiego z fazy pomorskiej. Morfogenezę glacialną oraz postglacialne modelowanie tego obszaru przedstawiają m.in. R. Galon (1972), B. Augustowski (1977), S. Maksiak i W. J. Mróz (1978), J. Sylwestrzak (1978), A. A. Marsz (1984). W zasadniczym północno-zachodnim przebiegu doliny można wyróżnić odcinki równoleżnikowe i południkowe, które odpowiadają genetycznie odpływowi marginalnym oraz odpływowi wód proglacjalnych i ekstraglacialnych.

Parsęta reprezentuje typ meandrującej rzeki nizinnej średniej wielkości. Długość rzeki wynosi 131,7 km, krętość równa jest 1,55, a spadek osiąga wartość 0,00105, przy czym po pierwszych 12,5 km spadek dla pozostałego biegu rzeki znacząco zmienia się do 0,00074. Górny odcinek Parsęty różni się od dalszego biegu rzeki pod względem morfologicznym i z tego powodu został w niniejszej pracy wykluczony z badań. Środkowy bieg Parsęty, najdłuższy w profilu podłużnym rzeki, wykorzystuje przemiennie odcinki odpływu sandrowego, Pradoliny Pomorskiej i wysoczyzn morenowych. Z kolei w biegu dolnym Parsęta przepływa fragmentami Pradoliny Pomorskiej i poprzez basen zastoiskowy wpływa w Kołobrzegu do Morza Bałtyckiego.

Do badań szczegółowych wybrano 3 odcinki obserwacyjne w okolicach miejscowości Krosino, Dębczyno i Bardy (ryc. 1). Pierwsze dwa odcinki są objęte środkowym biegiem Parsęty, natomiast trzeci umiejscowiony jest w dolnym jej biegu. Na wszystkich odcinkach rzeka odznacza się meandrowym układem koryta. Charakterystyki morfometryczne i hydrologiczne odcinków zestawione są w tabeli 1. Natomiast ryciny 2, 3 i 4 obrazują kształty przekrojów poprzecznych koryta Parsęty na początku i końcu badań. Charakterystyki morfometryczne wszystkich przekrojów poprzecznych koryta w odniesieniu do stanu pełnokorytowego — wyznaczonego w sposób zaproponowany przez C. C. Parka (1978b) — są zamieszczone w tabeli 2.



Ryc. 1. Obszar badań

a – dorzecze Parsęty; 1 – odcinki obserwacyjne; 2 – posterunki wodowskazowe IMGW; 3 – posterunek meteorologiczny IMGW w Białogardzie; 4 – Stacja Naukowa Instytutu Badań Czwartorzęd UAM w Storkowie; b – lokalizacja i numeracja przekrojów poprzecznych koryta Parsęty na odcinkach obserwacyjnych

Fig. 1 The study area

a – the Parsęta River drainage basin; 1 – the study reaches; 2 – water level gauges of the Institute of Meteorology and Water Management; 3 – meteorological station of the Institute of Meteorology and Water Management; 4 – the Scientific Station of the Quaternary Research Institute (Adam Mickiewicz University) at Storkowo;

b – location and numbers of the Parsęta channel cross-sections

Tabela 1

Wybrane charakterystyki morfometryczne i hydrometryczne dla odcinków obserwacyjnych koryta Parsęty

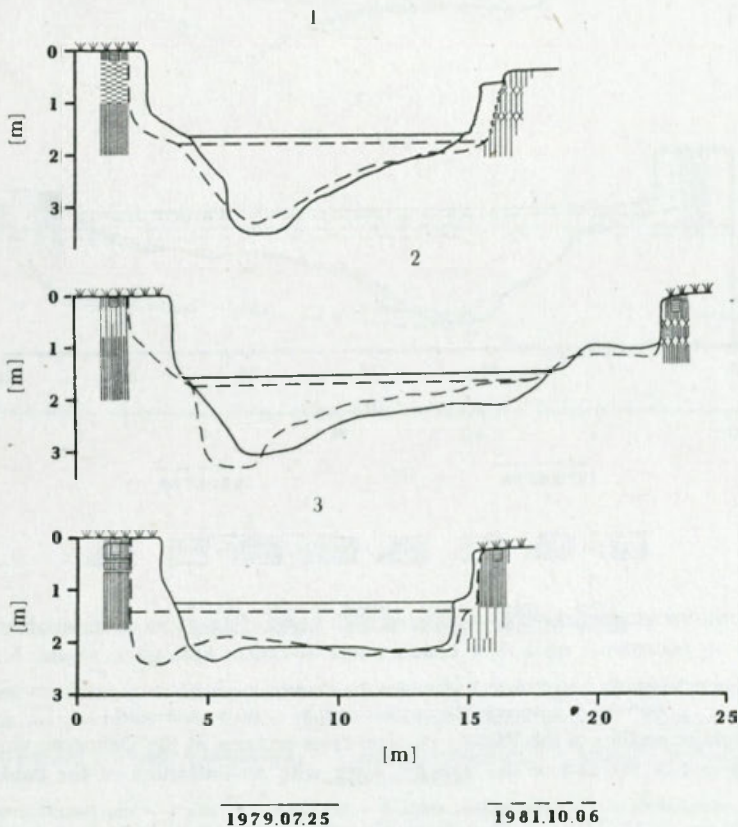
Parametr	Jednostka	Krosino	Dębczyno	Bardy
Kilometraż	km	98,00	63,00	25,00
Powierzchnia dorzecza ^a	km ²	482,40	1 124,80	2 955,20
Wysokość npm	m	55,00	25,00	7,00
Spadek	$\times 10^{-4}$	5,95	4,10	2,07
Krętość	—	1,53	1,92	1,40
Wahania stanów wody ^b	cm	212,00	275,00	280,00
Średni roczny przepływ ^b	m ³ s ⁻¹	4,62 ^c	13,58 ^d	35,68

^a według Podziału Hydrograficznego Polski (1983);

^b lata hydrologiczne 1979-1982;

^c wartość estymowana z wodowskazów w Starym Chwalimiu i Tychówku;

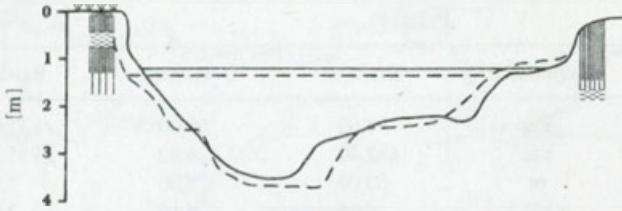
^d wodowskaz w Białogardzie.



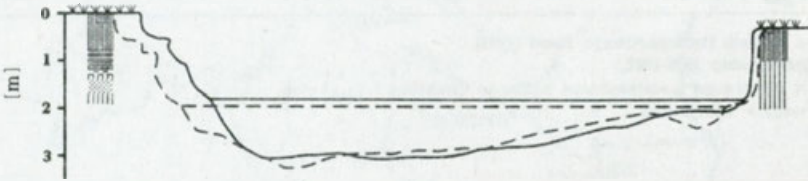
Ryc. 2. Profile morfologiczne przekrojów poprzecznych koryta Parsęty na odcinku obserwacyjnym w Krosinie na początku i na końcu badań z zaznaczeniem litologii krawędzi brzegowych

1 – piaski gruboziarniste, 2 – piaski średnioziarniste, 3 – piaski drobnoziarniste, 4 – mulki, 5 – przewarstwienia mulkowe, 6 – przewarstwienia organiczne, 7 – warstwa humusowa

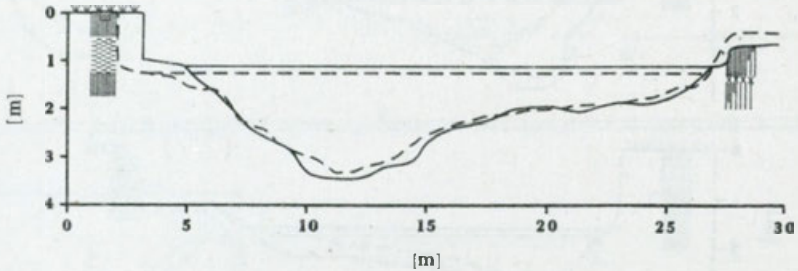
1



2

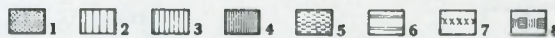


3



1979.07.26

1981.10.08



Ryc. 3. Profile morfologiczne przekrojów poprzecznych koryta Parsęty na odcinku obserwacyjnym w Dębczynie na początku i na końcu badań z zaznaczeniem litologii krawędzi brzegowych

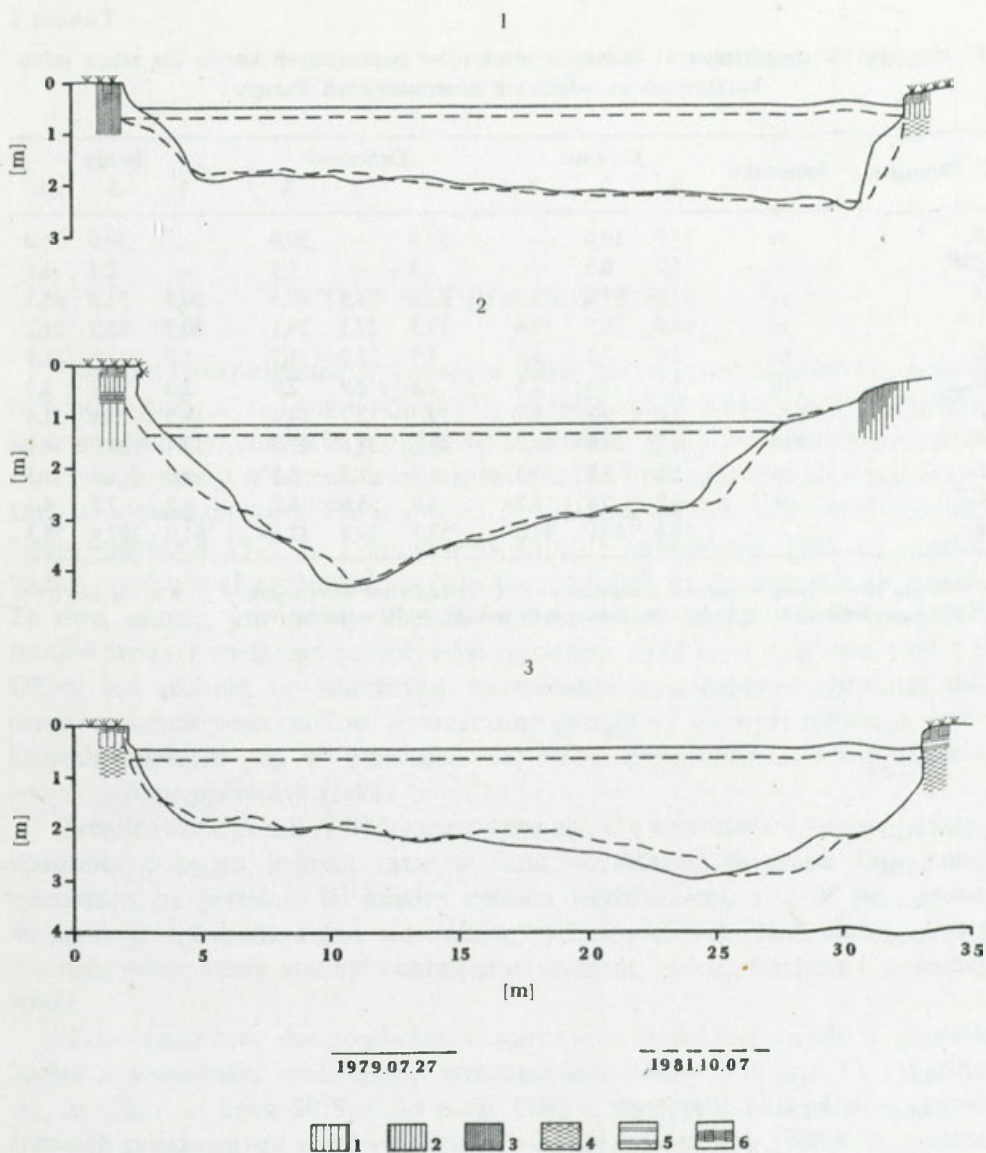
1 – żwir, 2 – piaski gruboziarniste, 3 – piaski średnioziarniste, 4 – piaski drobnoziarniste, 5 – mulki, 6 – przewarstwienia mulkowe, 7 – przewarstwienia organiczne, 8 – warstwa humusowa

Fig. 3 Morphology profiles of the Parsęta channel cross-sections at the Dębczyno study reach at the beginning and at the end of the research work with an indication of the banks lithology

1 – gravel, 2 – coarse sands, 3 – medium grained sands, 4 – fine sands, 5 – silts, 6 – silts intercalations, 7 – organic intercalations, 8 – humus layer

Fig. 2 Morphology profiles of the Parsęta channel cross-sections at the Krosino study reach at the beginning and at the end of the research work with an indication of the banks lithology

1 – coarse sands, 2 – medium grained sands, 3 – fine sands, 4 – silts, 5 – silts intercalations, 6 – organic intercalations, 7 – humus layer



Ryc. 4. Profile morfologiczne przekrojów poprzecznych koryta Parsęty na odcinku obserwacyjnym w Bardach na początku i na końcu badań z zaznaczeniem litologii krawędzi brzegowych

1 – piaski gruboziarniste, 2 – piaski średnioziarniste, 3 – piaski drobnoziarniste, 4 – mulki, 5 – przewarstwienia mulkowe, 6 – warstwa humusowa

Fig. 4 Morphology profiles of the Parsęta channel cross-sections at the Bardy study reach at the beginning and at the end of the research work with an indication of the banks lithology

1 – coarse sands, 2 – medium grained sands, 3 – fine sands, 4 – silts, 5 – silts intercalations, 6 – humus layer

Morfometryczne charakterystyki badanych przekrojów poprzecznych koryta dla stanu pełnokorytowego na odcinkach obserwacyjnych Parsęty

Parametr	Jednostka	Krosino			Dębczyno			Bardy		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
R_c	m	25,0	10,0	—	65,0	—	30,0	—	70,0	35,0
CW	—	1,7	0,5	—	3,3	—	1,2	—	2,7	1,1
A	m ²	27,8	43,9	21,3	32,5	54,9	40,5	50,9	51,3	45,7
W	m	14,9	20,7	13,6	19,5	27,5	24,1	30,7	25,9	31,2
D	m	1,9	2,1	1,6	1,7	2,0	1,7	1,7	2,0	1,5
D_{max}	m	3,5	3,4	2,5	2,8	2,9	2,9	2,3	3,2	2,3
F	—	8,0	9,8	8,7	11,7	13,7	14,4	18,5	13,1	21,4
P	m	18,7	24,9	16,7	22,8	31,5	27,5	32,4	29,9	34,1
R	m	1,5	1,8	1,3	1,4	1,7	1,5	1,6	1,7	1,3
CF	$\times 10^{-3}$	4,8	5,8	5,2	4,8	5,6	5,9	3,8	2,7	4,4
K_c	—	45,4	30,6	47,0	52,1	29,9	47,5	81,0	107,4	75,3

Uwaga: stan pełnokorytowy wyznaczono analogicznie do C. C. Parka (1978b); wzory według: F – S. A. Schumm (1960), CF – H. Ikeda (1973), K_c – N. I. Makkaveev, S. G. Shataeva, M. N. Mityakova (1967).

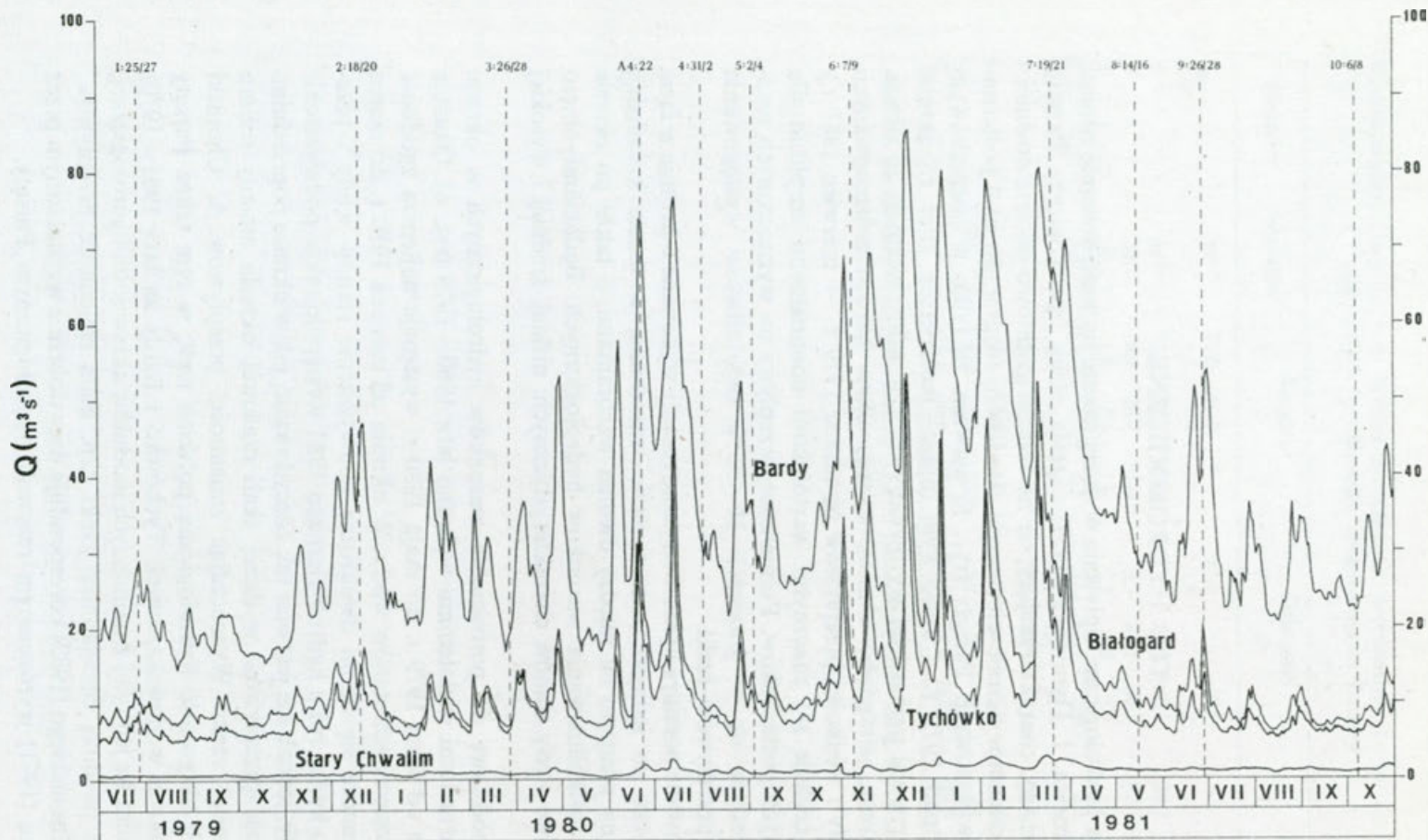
TŁO HYDROLOGICZNE

Zjawiska hydrologiczne wpływają w dużej mierze na kształtowanie reżimu rzecznego koryta. I. Dynowska (1971) określa reżim hydrologiczny Parsęty jako wyrównany, charakteryzujący się zasilaniem gruntowo-deszczowo-śnieżnym i wezbraniem w okresie wiosennym. Analiza hydrogramów na 4 posterunkach wodowskazowych Parsęty (ryc. 5) ujawnia, że tylko w początkowym (lipiec–listopad 1979 r.) i końcowym (lipiec–październik 1981 r.) okresie badań występował najbardziej wyrównany odpływ wód rzecznych ze zlewni. Te dwa okresy, jak gdyby klamrą, spinają okres bardzo zróżnicowanych stanów wody i wielkości przepływów (grudzień 1979 r. – czerwiec 1981 r.). Okres ten cechuje się znacznymi wartościami nominalnymi amplitud dla poszczególnych posterunków. Pomierzone przepływy na wyznaczonych przekrojach mieszczą się w granicach 18–98% częstotliwości występowania wszystkich przepływów rzeki.

Zrealizowane pomiary hydrometryczne zostały wykonane 6-krotnie w fazie opadania oraz po jednym razie w fazie wzrastania, w czasie kulminacji wezbrania, na przejściu fal między dwoma wezbraniem, a także po okresie względnego ustabilizowania warunków hydrologicznych. Badaniami objęto 3 podstawowe strefy stanów charakterystycznych: niskiej, średniej i wysokiej wody.

Jako podstawę do porównania warunków hydrologicznych w okresie badań z warunkami wieloletnimi wybrano lata 1960–1979 (ryc. 6). Okazuje się, że tylko od lipca 1979 r. do maja 1980 r. występuje najlepsza zgodność średnich miesięcznych stanów wody. W okresie od czerwca 1980 r. do marca 1981 r. zaznacza się około dwukrotne podwyższenie stanów wody i przepływów. Do końca roku hydrologicznego 1981 występuje także podwyższenie stanów wody, jednak nie jest ono tak zdecydowane, jak w okresie poprzednim.

Zmienność przepływów w danej skali czasowej określa zmiany reżimu hydrologicznego rzeki. Wyznaczając zmienności przepływów A. Choiński (1982) ustalił aktywność hydrologiczną polskich rzek, w tym także Parsęty (w posterunkach wodowskazowych Tychówko i Bardy za lata 1961–1970), która odznacza się jednymi z najniższych modułów aktywności hydrologicznej, co wskazuje na dużą bezwładność rzeki, tzn. małą zmienność przepływów. Pogląd A. Choińskiego (1982) koresponduje więc dobrze z wyznaczonym przez I. Dynowską (1971) wyrównanym reżimem hydrologicznym Parsęty.

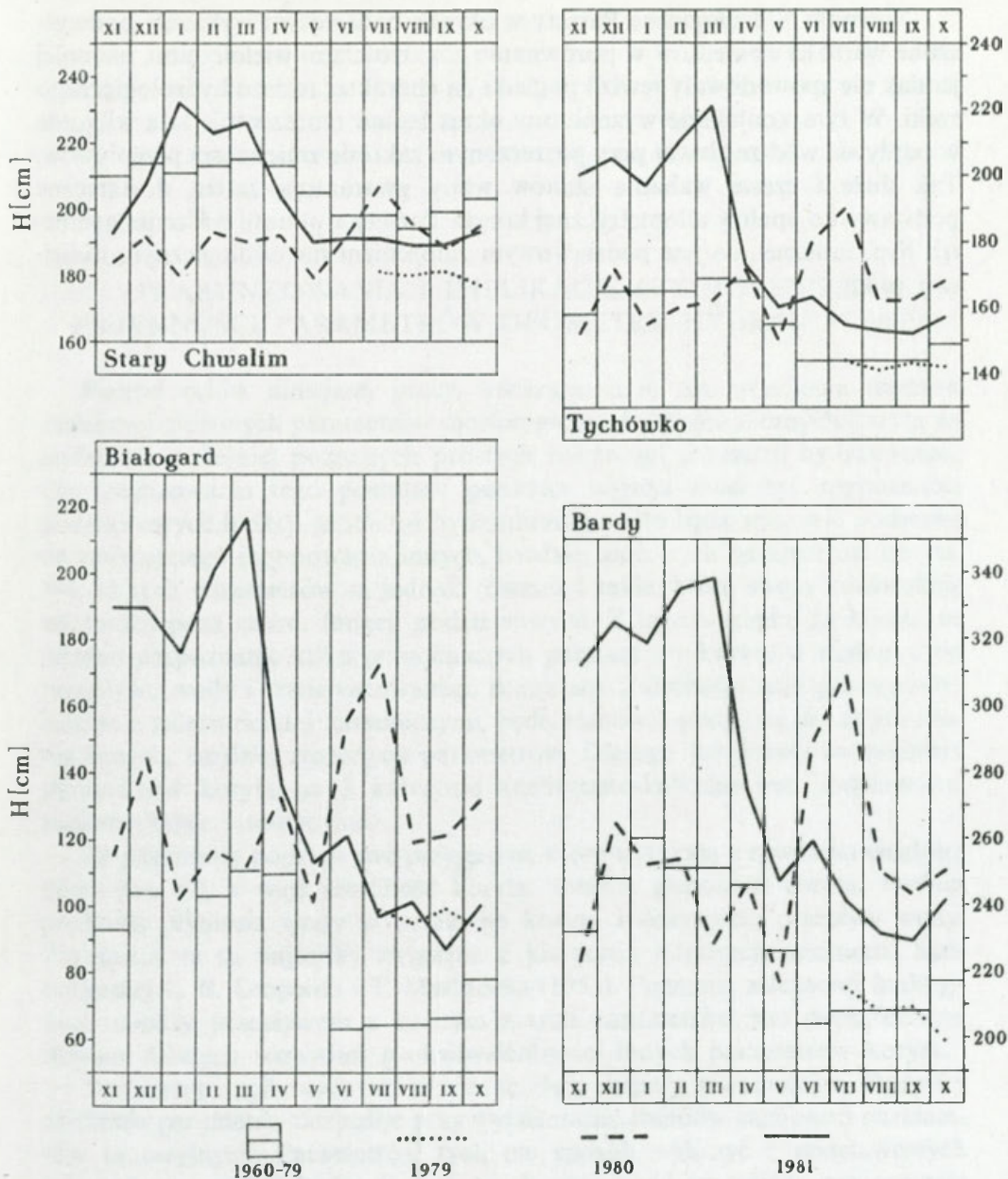


Ryc. 5. Codzienne przepływy wody Q Parsęty na posterunkach wodowskazowych IMGW w okresie badań

Liniami przerywanymi zaznaczono numery i daty pomiarów

Fig. 5 Daily water discharges Q of the Parsęta River at water level gauges of the Institute of Meteorology and Water Management during the research

period
<http://ciif.org.pl>
 Numbers and dates of measurements are marked with dotted lines



Ryc. 6. Średnie miesięczne stany wody H Parsęty w okresie badań (lipiec 1979 – październik 1981) na tle wielolecia 1960–1979 dla posterunków wodowskazowych IMGW

Fig. 6 Average monthly Parsęta water level H during the research period (July, 1979 – October, 1981) as compared to long-term records (1960–1979) at water level gauges of the Institute of Meteorology and Water Management

Warunki hydrologiczne Parsęty w okresie badawczym wykazały podwyższone wartości elementów w porównaniu z wartościami wieloletnimi, niemniej jednak nie spowodowały rewizji poglądu na charakter reżimu hydrologicznego rzeki. W tym kontekście wyznaczony okres badań reprezentuje lata wilgotne w odpływie wód ze zlewni przy poszerzonym zakresie zmienności przepływów. Tak duże i częste wahania stanów wody gwarantują zatem dostateczne podstawy do analizy allometrycznej koryta Parsęty z punktu widzenia geometrii hydraulicznej, co jest podstawowym założeniem metodologicznym niniejszej pracy.

UWARUNKOWANIA I IMPLIKACJE GEOMORFICZNE ZMIENNOŚCI PARAMETRÓW GEOMETRII HYDRAULICZNEJ

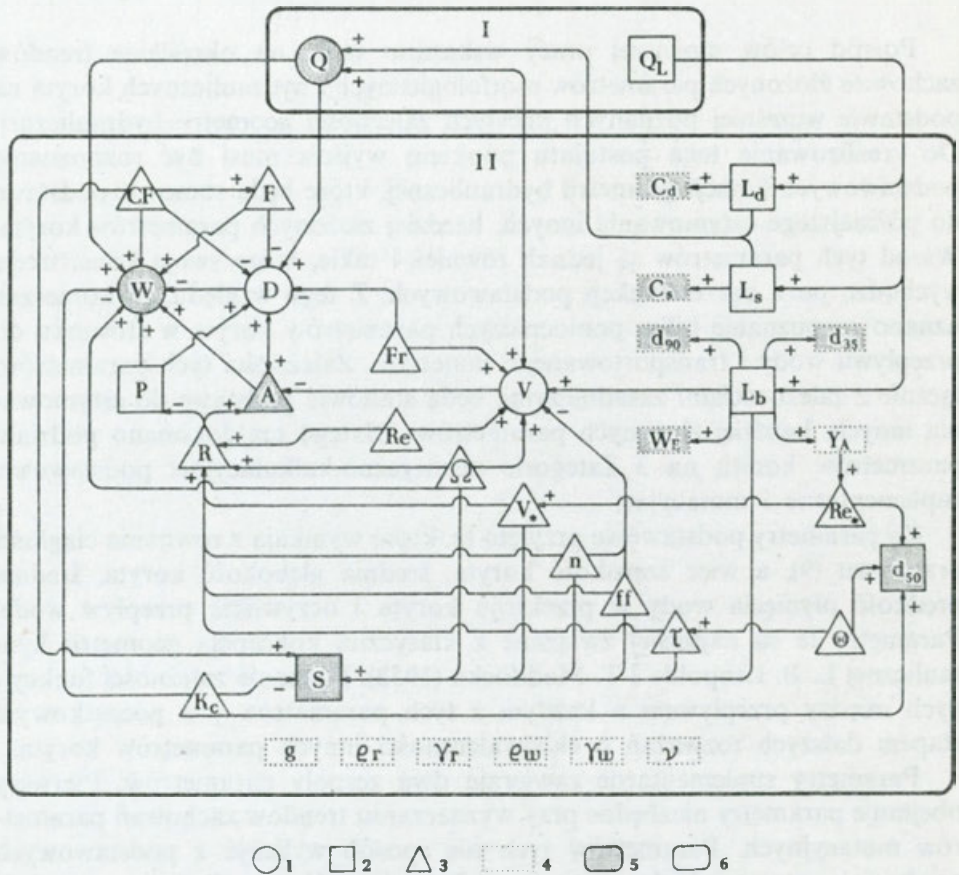
Pośród celów niniejszej pracy wskazano m.in. na określenie trendów zachowań złożonych parametrów morfologicznych i hydraulicznych koryta na podstawie wcześniej poznanych prostych zależności geometrii hydraulicznej. Do zrealizowania tego postulatu punktem wyjścia musi być rozpoznanie podstawowych funkcji geometrii hydraulicznej, które będą stanowić podstawę do późniejszego estymowania innych, bardziej złożonych parametrów koryta. Wśród tych parametrów są jednak również i takie, które swoją konstrukcją wychodzą poza zakres funkcji podstawowych. Z tego względu, za konieczne uznano rozpoznanie kilku pomocniczych parametrów koryta w stosunku do przepływu wody i transportowanego materiału. Zależności tych parametrów, łącznie z zależnościami zasadniczymi, będą stanowić podstawę do estymowania innych, bardziej złożonych parametrów. Dlatego też dokonano podziału parametrów koryta na 3 kategorie analityczno-kalkulacyjne: podstawowe, suplementarne i mutacyjne.

Za parametry podstawowe przyjęto te, które wynikają z równania ciągłości przepływu (9), a więc szerokość koryta, średnia głębokość koryta, średnia prędkość płynięcia wody w przekroju koryta i oczywiście przepływ wody. Parametry te są najściślej związane z klasyczną koncepcją geometrii hydraulicznej L. B. Leopolda i T. Maddocka (1953). Poznanie zależności funkcyjnych między przepływem a każdym z tych parametrów jest początkowym etapem dalszych rozważań o ekwiwalentności innych parametrów koryta.

Parametry suplementarne zawierają dwa zespoły parametrów. Pierwszy obejmuje parametry niezbędne przy wyznaczaniu trendów zachowań parametrów mutacyjnych. Parametrów tych nie sposób wyliczyć z podstawowych zależności geometrii hydraulicznej, a ich znajomość umożliwi oszacowanie innych parametrów koryta. W tym zespole mieszczą się takie parametry, jak: mediana średnicy ziarna, spadek, obwód zwilżony. Drugi zespół zawiera parametry wynikające z koncepcji niniejszej pracy, a mianowicie schummowskiego modelu dostosowywania się koryta. Chodzi tu o całkowity przepływ materiału: ładunki materiału rozpuszczonego, zawieszzonego i wleczonego.

Pozostałym parametrom koryta przypisano miano parametrów mutacyjnych. Najczęściej są to parametry wyrażone mniej lub bardziej skomplikowanymi wzorami, które dzięki ekwiwalencji można zapisać w kategoriach

geometrii hydraulicznej, zgodnie z sugestiami L. B. Leopolda i T. Maddocka (1953) oraz innych. Nowy zapis tych parametrów pozwala pominąć zawile niekiedy obliczanie oryginalnych wzorów, natomiast umożliwia poznanie kierunków i tempa zmian tych parametrów. Z tego względu mutacje parametryczne okazują się przydatne, pozwalają bowiem rozszerzyć zakres znajomości uwarunkowań i implikacji analizy geomorficznej. Do grupy parametrów mutacyjnych zaliczono stosunek szerokość/głębokość, wskaźnik kształtu koryta, pole powierzchni przekroju poprzecznego koryta, promień hydrauliczny, liczbę Frouda, liczbę Reynoldsa, prędkość ścinającą (dynamiczną), zdolność



Ryc. 7. System proporcjonalnych powiązań, wynikających z procedury obliczeniowej, pomiędzy parametrami geometrii hydraulicznej zastosowanymi do badania zachowań koryta Parsęty

I – układ niezależnych zmiennych systemowych; II – układ zależnych zmiennych systemowych; 1 – podstawowe parametry geometrii hydraulicznej; 2 – suplementarne parametry geometrii hydraulicznej; 3 – mutacyjne parametry geometrii hydraulicznej; 4 – pozostałe parametry wejściowe; 5 – parametry mierzalne; 6 – parametry obliczalne; „+” – zależności wprost proporcjonalne; „-” – zależności odwrotnie proporcjonalne

Fig. 7 The system of proportional connections between the hydraulic geometry parameters applied in the research into the Parsęta River channel behaviour resulting from the calculation procedures

I – the independent system variables pattern; II – the dependet system variables pattern; 1 – basic hydraulic geometry parameters; 2 – supplementary hydraulic geometry parameters; 3 – mutation hydraulic geometry parameters; 4 – remaining input parameters; 5 – measurable parameters; 6 – calculable parameters; „+” – direct interrelationships; „-” – inverse interrelationships

(kompetencje) rzeki, wskaźnik stabilności koryta, współczynnik szorstkości Manninga, współczynnik tarcia Darcy-Weisbacha, naprężenie styczne, bezwymiarowe naprężenie styczne, liczbę Reynoldsa ziarna.

Graficzne wyobrażenie związków matematycznych, wykazujących stosunki proporcjonalności pomiędzy wszystkimi użytymi parametrami przedstawia rycina 7. Należy wyraźnie podkreślić, że wykazane związki wynikają li tylko z procedury obliczeniowej poszczególnych parametrów i zasadniczo nie ukazują implikacji geomorficznych, np. $D = AW^{-1}$, co oznacza, że średnia głębokość jest wprost proporcjonalna do pola powierzchni przekroju poprzecznego, a odwrotnie proporcjonalna do szerokości. Innymi słowy, gdy wzrasta pole powierzchni przekroju wzrasta też średnia głębokość – jest to prawdą, natomiast dla koryt aluwialnych nieuzasadnionym stwierdzeniem byłoby wzrastanie głębokości przy zmniejszającej się szerokości koryta. Następnie prawdziwy jest wzór $F = WD^{-1}$, z którego wynika, że przy jednoczesnym wzroście szerokości i zmniejszaniu średniej głębokości wzrasta stosunek F . Tak się dzieje podczas wylewania wód wezbraniowych z koryta na terasę zalewową, a więc jest to sytuacja kiedy szerokość wzrasta w tak dużym tempie, że powoduje relatywne zmniejszanie głębokości. Jednak w przypadku nizinnych koryt aluwialnych zmiany obydwóch parametrów są zazwyczaj jednokierunkowe, a różnią się względnym przyrostem lub spadkiem ich wielkości. Przedstawione dwa proste wzory uświadamiają jak zgubne mogłyby być wnioski natury geomorficznej z ryciny 7. Rzecz jasna, że dla wzorów bardziej złożonych poruszane kwestie okazałyby się zawile w większym stopniu.

Proponowany system parametryczny został podzielony na dwa układy, a mianowicie układ parametrów niezależnych (I na ryc. 7) oraz układ parametrów zależnych (II na ryc. 7). W układzie parametrów niezależnych umieszczono przepływ wody i osadów (całkowity ładunek transportowanego materiału), albowiem te dwie zmienne systemu fluwialnego są kontrolowane i stymulowane przez zdarzenia i procesy geomorficzne zachodzące na obszarze zlewni (Gregory, Walling 1973; Schumm 1977; Li 1979; Simons, Li 1979, Simons, Ward, Li 1979; Froehlich 1982; Richards 1982; Knighton 1984). Natomiast pozostałe parametry są w mniejszym lub większym stopniu efektem indywidualnego oddziaływania parametrów niezależnych lub ich kooperacji.

Przedstawiony system proporcjonalnych powiązań ujawnia, że w stosowanych wzorach parametrów najczęściej używano następujących parametrów: szerokość, średnia głębokość, średnia prędkość, spadek oraz promień hydrauliczny. Wymieniony zestaw parametrów można uznać za stosunkowo wszechstronny i zalecany przy badaniach współczesnych koryt, jak i paleokoryt⁵, gdyż stwarza szansę oszacowania wielu innych parametrów, w tej liczbie głównie hydraulicznych.

W literaturze fluwialnej istnieją podobne schematy zależności między

⁵ Co prawda, w przypadku paleokoryt trudno jest wyznaczyć prędkość przepływu wody, ale ostatnio J. E. Costa (1983) i G. P. Williams (1984) dokonują przeglądu stosowanych metod odtwarzania (estymowania) tego parametru.

parametrami (Chorley 1967; Baker 1978; Graf 1979; Hey 1979; Morisawa, LaFlure 1979; Lewin 1981; Richards 1982; Maizels 1983b; Hey, Thorne 1984; Gonera 1986), lecz mają one dedukcyjny charakter i są nieporównywalne ze względu na różnorodność podejść merytorycznych oraz metodologicznych. Zaproponowany system proporcjonalnych powiązań parametrycznych może mieć znamiona uniwersalności, gdyż oparty jest na zależnościach matematycznych i jednocześnie nie jest skrępowany okolicznościami geomorficznymi. System ten, traktowany jako otwarty, może być zatem obowiązujący dla każdej dowolnej rzeki. Zastrzeżenie, jakie można mu postawić w odniesieniu do pełnej realizacji, wiąże się z dostępnością do wymiarowego określenia wszystkich mierzalnych parametrów.

PARAMETRY PODSTAWOWE

PRZEPIY WODY

Spośród parametrów geometrii hydraulicznej najistotniejszym parametrem jest przepływ. Jego rola wynika przede wszystkim z dwóch faktów. Przepływ jest efektem zjawisk i procesów odbywających się na obszarze zlewni, a także jest odpowiedzialny za charakter procesów fluwialnych, osadów i form w korycie rzeczonym. Te dwa stwierdzenia implikują, że przepływ decyduje o wielkości i kształcie przekroju poprzecznego koryta oraz o jego układzie.

W literaturze fluwialnej trwa niekończąca się dyskusja, jaki przepływ, o jakiej częstotliwości i wielkości wpływa na zdarzenia w korycie rzeczonym (Friedkin 1945; Wolman, Miller 1960; Leopold, Wolman, Miller 1964; Carlston 1965; Daniel 1971; Graf 1971; Gregory, Walling 1973; Pickup, Rieger 1979; Howard 1980). Zdecydowana większość badaczy preferuje przepływ pełnokorytowy (np. Leopold, Maddock 1953; Wolman 1955; Fahnstock 1963; Hey 1978; Park 1978b), lecz mając na uwadze bardzo różne sposoby określania stanu i przepływu pełnokorytowego (Woodyer 1968; Riley 1972; Richards 1977; Park 1978b; Williams 1978c) można podać w wątpliwość porównywalność otrzymanywnych wyników. Stąd w niniejszej pracy postanowiono uzyskać możliwie jak najszerszy zakres przepływów, który pozwoli lepiej prześledzić reakcje koryta na zmiany w przepływie wody i transportowany materiał. Na podstawie tak ujętych badań terenowych przeprowadzili swoje wnioski m.in. L. B. Leopold, J. P. Miller (1956), R. K. Fahnstock (1963), J. B. Thornes (1970), K. Nordseth (1973), A. D. Knighton (1974, 1975), C. C. Park (1981).

Pomierzone przepływy wody na kolejnych odcinkach obserwacyjnych zawierają się w granicach $2,89 - 10,86 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ dla Krosina, $7,82 - 25,24 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ dla Dębczyna i $21,27 - 47,82 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ dla Bard. Porównując te zakresy przepływów z krzywymi sum czasów trwania przepływów, średnimi przepływami rocznymi, przepływami modalnymi, minimalnymi i maksymalnymi należy stwierdzić, że zaobserwowane przepływy dobrze oddają charakter, a także zmienność przepływów rejestrowanych na poszczególnych odcinkach. Warto też zwrócić uwagę, że między odcinkami przepływy dla poszczególnych pomiarów wzrastają 2–3 krotnie.

Dużego znaczenia w spływie wód korytowych nabierają różnego rodzaju zaburzenia, z których jedne są związane z warunkami hydrodynamicznymi (np. strumienie drugorzędne), inne natomiast należy kojarzyć z wszelkimi przeszkodami istniejącymi w korycie rzecznym. Szczególna rola przypada roślinności wodnej korytowej i przybrzeżnej oraz roślinności brzegowej i terasowej.

Powszechnym zjawiskiem w korycie Parsęty jest występowanie stref zawirowań pionowych o różnej szerokości wzdłuż brzegów wklęsłych i prostych. Pojawienie się strefy zawirowania jest związane z obecnością różnych przeszkód, z których najczęstszymi są powalone drzewa oraz załamania w przebiegu linii brzegowej. Liczba powalonych drzew i związanych z nimi różnych przeszkód w spływie wody maleje wzdłuż rzeki. Jest to efekt nie tylko spadku lesistości zlewni i tempa migracji koryta, ale również, jak to zauważają E. A. Keller i T. Tally (1979), wzrostu możliwości przepływowych (spławialnych) rzeki. Za drzewami, które pozostają w korycie, tworzą się zstępujące wiry pionowe wędrujące w dół rzeki i skierowane w stronę brzegu lub ku osi koryta. Kierunek wędrowki wirów jest uzależniony od odległości przeszkody od brzegu, i w różnych miejscach odległość ta jest różna, co wynika z szerokości koryta. W przypadku mniejszych odległości wiry kierują się w stronę brzegów i droga, którą przebywają, zależy od morfologii brzegów. Niekiedy z takimi zawirowaniami stowarzyszone są prądy wsteczne, które mają wówczas znaczną siłę niszczącą. Spostrzeżenia to potwierdzają wyniki pomiarów tempa erozji bocznej (Zwołiński 1986e). Natomiast gdy przeszkoda położona jest dalej od brzegu, to wiry przesuwają się ku nurtowi rzeki, po czym wygasają. Droga jaką pokonują jest zazwyczaj krótka. Wynika to ze zdominowania zawirowań większymi prędkościami występującymi w nurcie.

Osobnego omówienia wymagają zawirowania tworzące się w cieniu załamania linii brzegowych koryta. Załamania te znajdują się w miejscach porośniętych roślinnością krzaczastą lub drzewami. Systemy korzeniowe tych roślin, tworzące naturalne ostrogi brzegowe, powodują wyraźne zaburzenia i opory w spływie wody, w wyniku czego powstają wiry wędrujące w stronę brzegu i dalej w górę rzeki. Najczęściej wiry te zataczają swoim torem elipsę, której dłuższa oś jest równoległa do linii brzegowej. Niekiedy wiry mogą odbyć drogę po obwodzie zarysowanej elipsy nawet dwukrotnie. Fakt ten wskazuje na dużą energię potencjalną takich zawirowań. Znaczne zdolności erozyjne wirów, wędrujących wzdłuż brzegów w górę rzeki, powodują powstawanie nisz erozyjnych, czasami dość znacznych rozmiarów (długość do 10 m, maksymalne cofnięcie brzegu do 3 m, a jednorazowo do 1,5 m). Z tych samych powodów na Parsęcie nie obserwuje się cieni piaszczystych ani w niszach erozyjnych, ani za „wyspami” powstałymi po oderwaniu kępy drzew, które opisuje A. Rachocki (1978). Nisze erozyjne pojawiają się zwykle szeregowo, tworząc kulisowy układ brzegu. Wydaje się, iż rozwój brzegów kulisowych jest najważniejszym sposobem niszczenia brzegów koryt na prostych lub prawie prostych odcinkach rzek nizinnych.

Odmienne jest oddziaływanie zielnej roślinności wodnej porastającej przybrzeżne strefy koryta. Powoduje ona silne zredukowanie przepływu wody

w przekroju poprzecznym koryta. Redukcja ta przejawia się w zmniejszeniu prędkości spływu wody na skutek oporów stawianych przez roślinność (Rachocki 1978; Shen 1979; Witt 1983; Hickin 1984). W miejscach występowania roślinności wodnej przy lekko wypukłych brzegach prostych lub na łachach meandrowych, odbywa się depozycja materiału zawieszonoego, transportowanego w korycie. Oprócz cząstek mineralnych odkładane są również części organiczne, które sprawiają charakterystyczne ciemne, szare zabarwienie osadów. Zdarzają się przypadki, w których morfologia koryta wymusza akumulację detrytusu roślinnego. Dzieje się tak w obrębie łach meandrowych oraz na rozszerzeniach koryta, gdzie występują łachy śródkorytowe lub wędrujące wzdłuż rzeki łachy poprzeczne.

Występowanie roślinności wodnej, systemów korzeniowych drzew i krzewów oraz złożonych pokryw detrytusu roślinnego na brzegach i łachach, poprzez stawianie oporów spływającej wodzie, powoduje jednocześnie ochronę brzegów przed procesami erozyjnymi. Generowana w ten sposób stabilność brzegów jest szczególnie widoczna w korytach o małym spadku (Smith 1976; Thorne, Lewin 1979; Hickin 1984). Taka tendencja obserwowana jest na Parsęcie w dolnym biegu oraz na prostych lub lekko zakrzywionych odcinkach rzeki. Z kolei brak roślinności przybrzeżnej i brzegowej przyczynia się do wzmożonej erozji bocznej (Klimek 1983; Hickin 1984). Takie sytuacje są typowe dla górnego i środkowego biegu Parsęty oraz na brzegach zewnętrznych odcinków zakolowych.

Na zakolach o bardzo małym promieniu krzywizny i kącie rozwarcia mniejszym od 90° , szczególnie w Krosinie, obserwowano przejawy istnienia strumieni drugorzędnych. Zaznaczyły się one na łachach meandrowych występowaniem koncentrycznie ułożonych ripplemarków w fazie. W centrum okręgów koncentrycznych zarysowanych ripplemarkami były widoczne wyraźne ślady wymywania materiału dennego. Oprócz przebiegu grzbiecików ripplemarków, strumienie te były uwidaczniane transportem części organicznych. Strumień drugorzędny, prostopadle uderzający w brzeg łachy meandrowej, rozdzielał się dalej w dwóch przeciwstawnych kierunkach. Taki układ strumieni drugorzędnych powstaje szczególnie w strefie niskich stanów wody, powodując lekkie podcinanie łachy meandrowej. R. G. Jackson (1975), badając analogiczne zakola rzeki Wabash (np. Pearl), stwierdził w tym miejscu zakola zerową średnią prędkość w pionie, co jest pośrednim dowodem na istnienie strumieni drugorzędnych.

Opisane przypadki zaburzeń w spływie wody nie wyczerpują zagadnienia, tym niemniej uświadamiają złożoność przepływu wody w korycie rzeczonym. Zachodzące w takich warunkach procesy erozyjne i depozycyjne są zdecydowanie modyfikowane przez wiele zakłóceń hydraulicznych i morfologicznych. Zakłócenia te mają swoje implikacje w tworzeniu przekrojów poprzecznych dalekich swym kształtem od wypracowanych modeli sedymentacyjnych tych przekrojów. Na przykład, wpływ roślinności korytowej, jak i pozakorytowej, jest w sposób znaczący odnotowywany w zależnościach geometrii hydraulicz-

nej (Thornes 1970; Richards 1973) lub zmienności jej parametrów (Keller, Tally 1979; Nanson, Young 1981).

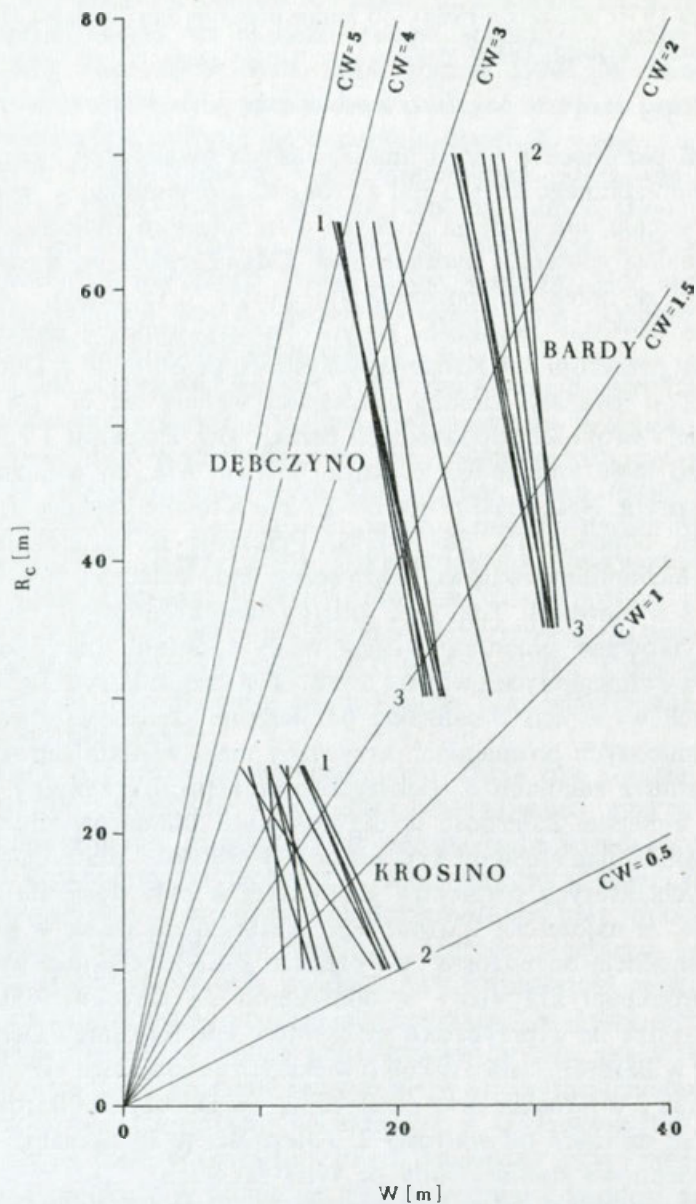
SZEROKOŚĆ KORYTA

Jedynym parametrem wśród analizowanych parametrów geometrycznych przekroju poprzecznego koryta jest szerokość, który mierzony wprost, bezpośrednio w terenie, nie podlega żadnym manipulacjom obliczeniowym przed właściwą analizą geometrii hydraulicznej. Odzwierciedla on szerokość zwierciadła wody w przekroju poprzecznym koryta przy danym stanie wody. Pomierzone wartości szerokości koryta Parsęty wynoszą ekstremalnie 8,4 i 32,9 m. Dla przekroju 3 w Krosinie, wszystkich przekrojów w Dębczynnie oraz przekroju 2 w Bardach zmiany szerokości wahają się do 1/4 zmierzonej maksymalnej szerokości odpowiednich przekrojów. Przekroje 1 i 3 w Bardach mają bardzo małą zmienność, zaledwie bowiem 6%, co wskazuje na dużą stabilność koryta. Natomiast przekroje 1 i 2 w Krosinie cechują się największą zmiennością: odpowiednio 36 i 42%. Przekroje te są zlokalizowane na zakolach z łachami: meandrową, poprzeczną bądź wsteczną. Podobnie jest na przekroju 2 w Bardach. Tak więc zmiany szerokości koryta są w głównej mierze implikowane zmianami stanów wody i kształtu (morfologii) koryta.

Drugie z wymienionych uwarunkowań, czyli kształt koryta, wymaga dwóch dodatkowych wyjaśnień. Analizując pomierzone szerokości stwierdzono, że zakola o mniejszych promieniach krzywizny mają większe szerokości koryta w porównaniu z zakolami o większych promieniach krzywizny, które mają szerokości mniejsze. Zależność tę dla kolejnych pomiarów zilustrowano na rycinie 8. Analizując stosunki krzywizny $CW = R_c W^{-1}$ dla ponad 800 zakoli meandrowych, których parametry geometryczne były dostępne z literatury, stwierdzono, że najczęściej wartość tego stosunku mieści się w granicach od 2 do 3 z tendencją do wzrostu⁶, co oznacza 2–3-krotny (lub więcej) wzrost wartości promienia krzywizny w odniesieniu do szerokości koryta. Taka relacja sprawdza się w przypadku przekrojów 1 w Krosinie i Dębczynnie oraz przekroju 2 w Bardach, a więc zakoli o większych promieniach krzywizny (ryc. 8). Dla przekroju 2 w Krosinie oraz przekrojów 3 w Dębczynnie i Bardach stosunki krzywizny są mniejsze od wartości 2. Zależności te są aktualne dla pełnego zakresu zmienności stanów wody na tych zakolach.

Szczególnym przypadkiem jest przekrój 2 w Krosinie, dla którego stosunek krzywizny waha się od 0,5 do 1 w zależności od stanów wody (ryc. 8). We wspomnianych 800 zakolach stosunek krzywizny mniejszy od 1 pojawił się tylko trzykrotnie: na rzece New w Kalifornii (Leopold, Wolman 1960), na zakolu Pearl w dolnym biegu rzeki Wabash (Jackson 1975) oraz na jednej

⁶ Według L. B. Leopolda, M. G. Wolmana (1960) zakres CW wynosi od 0,84 do 9,7, z czego 25% badanych zakoli mieści się w zakresie od 2 do 3. Z kolei G. P. Williams (1986) donosi o wielkości zakresu od 1,02 do 6,97 ze średnią 2,43, przy czym 42% zakoli zawartych jest w zakresie od 2 do 3.



Ryc. 8. Zmiany stosunku krzywizny CW (R_c/W) w czasie pomiarów (różnych wodostanów) na zakolach o mniejszych i większych promieniach krzywizny w obrębie odcinków obserwacyjnych Parsęty

1, 2, 3 – numery przekrojów poprzecznych koryta

Fig. 8 Changes of curvature ratios CW (R_c/W) during measurements (at various water levels) at bends with bigger and smaller curvature radiuses within the study reaches of the Parsęta River

1, 2, 3 – channel cross-section numbers

z rzek Zachodniej Kanady (Nanson, Hickin 1983). Wyjaśnienia tej nietypowej sytuacji, w której szerokość koryta jest większa od promienia krzywizny, należy upatrywać w hydraulice spływu wody. Chodzi tu o przesunięcie maksymalnych prędkości przepływu wody w stronę brzegu wypukłego oraz w implikacji hydraulicznych, sedymentacyjnych i morfologicznych takiego przesunięcia (por. Średnia prędkość przepływu).

W tym miejscu warto zwrócić uwagę na jeszcze jeden aspekt bardzo niskiej wartości stosunku krzywizny. Otóż badania E. J. Hickina (1974, 1977, 1978), E. J. Hickina, G. C. Nansona (1975, później zrewidowane — G. C. Nanson i E. J. Hickin (1983) wskazały, że przy stosunku krzywizny mniejszym od 2 następuje całkowity zanik migracji koryta. Prowadzone badania erozji bocznej na Parsęcie (Zwoliński 1986e) wykazują, że na zakolach o mniejszych promieniach krzywizny obserwowane jest mniejsze tempo erozji bocznej w porównaniu z zakolami o większych promieniach. Dla zakoli w Bardach tempo erozji bocznej wynosi $0,07 \text{ ma}^{-1}$ w przypadku $CW = 1,1$ i $0,73 \text{ ma}^{-1}$ dla $CW = 2,7$.

Powyższe zróżnicowanie tempa erozji bocznej wynika, oprócz uwarunkowania litologicznego, z charakteru hydraulicznego spływu wody wzdłuż wymienionych krawędzi brzegowych. Szczególną rolę odgrywają tu prądy powrotne, które występują w różnym natężeniu na poszczególnych zakolach. Na zakolach o większym stosunku krzywizny prądy powrotne są bardziej efektywne erozyjnie w czasie stanów niskich i średnich. Na zakolach o mniejszych stosunkach krzywizny powszechnie występujące prądy powrotne właściwie nigdy nie wpływają na przebieg i wielkość erozji bocznej. Na skutek silnego przesunięcia prędkości maksymalnych ku brzegowi wewnętrznemu prądy powrotne wzdłuż brzegu zewnętrznego mają wręcz minimalną energię potencjalną, która zmniejsza się jeszcze bardziej w miarę wzrostu stanów wody. Ponadto różne są przejawy erozji bocznej na analizowanych zakolach. W przypadku zakoli o większych stosunkach krzywizny cofanie krawędzi brzegowych przebiega mniej więcej równomiernie na całej ich długości. Natomiast zakola o mniejszych stosunkach krzywizny charakteryzują się punktowo rozwijającymi się formami erozyjnymi, których pochodzenie nie jest związane ze spływem wody w korycie rzeczonym, lecz z procesami grawitacyjnymi.

Drugie wyjaśnienie odnośnie do kształtu koryta, jednego z uwarunkowań szerokości koryta, obejmuje zagadnienie podatności materiału brzegowego na procesy erozji bocznej. Zostanie tu jedynie zwrócona uwaga na związki występujące między litologią brzegu a jego nachyleniem. Brzegi zbudowane z materiału spoistego mają krawędzie pionowe lub bardzo strome. Natomiast brzegi zbudowane z materiału niespoistego mają powierzchnie nachylone pod kątem zbliżonym do kąta naturalnego spoczynku ziarn piaszczystych, a niekiedy trochę większym.

Pomijając brzegi wypukłe z łachami, większość brzegów badanych przekrojów poprzecznych jest zbudowana z materiału spoistego. Najczęściej są to

piaski drobno- lub średnioziarniste, pylaste, rzadziej osady mułkowe. Jedynie na przekrojach 2 w Dębczynie i Bardach, ich lewe brzegi są zbudowane z luźnych piasków różnoziarnistych. Fakt ten przyczynił się do rozwoju w miarę intensywnych różnych ruchów masowych, co pociągnęło za sobą stosunkowo łagodne nachylenie tych brzegów. W konsekwencji, przy zmianach stanów wody szerokość koryta ulega gwałtowniejszym zmianom aniżeli na podobnych przekrojach, których brzegi są zbudowane z materiału spoistego. Reakcja szerokości koryta na zmiany stanów wody jest zatem w takich przypadkach zbliżona, choć w mniejszej skali, do zmian szerokości zachodzących na brzegach z łachami meandrowymi.

Należy odnotować, że brzegi zakoli o mniejszych stosunkach krzywizny odznaczają się materiałem spoistym. Stwierdzenie to dobrze koresponduje z podanym poglądem o braku procesów erozji bocznej na takich zakolach lub o znacznym ograniczeniu tych procesów.

ŚREDNIA GŁĘBOKOŚĆ KORYTA

W zdecydowanej większości opracowań średnią głębokość koryta oblicza się z zależności, jaka zachodzi między polem powierzchni przekroju poprzecznego koryta a szerokością koryta $D = AW^{-1}$. Obliczone wartości średniej głębokości wszystkich przekrojów w okresie badawczym mieszczą się w granicach 0,62–2,36 m. Najmniejsze średnie głębokości notowane są na przekrojach usytuowanych na prostych odcinkach rzeki. Różnice między zakolami o różnych promieniach krzywizny są zasadniczo nieistotne, przeciętnie bowiem sięgają 10 cm. Niemniej większe średnie głębokości obserwuje się częściej na zakolach o większych promieniach krzywizny.

W analizie głębokości przekroju poprzecznego koryta warto zwrócić uwagę na głębokość maksymalną przekroju lub na strefę największych głębokości (określenie bardziej adekwatne). Nie chodzi w tym przypadku o wartość liczbową głębokości, lecz o charakter geomorficzny tej strefy, obejmujący procesy erozyjne, transportowe i akumulacyjne. Procesy te można rozpatrywać w dwóch aspektach: morfologicznym i sedymentologicznym.

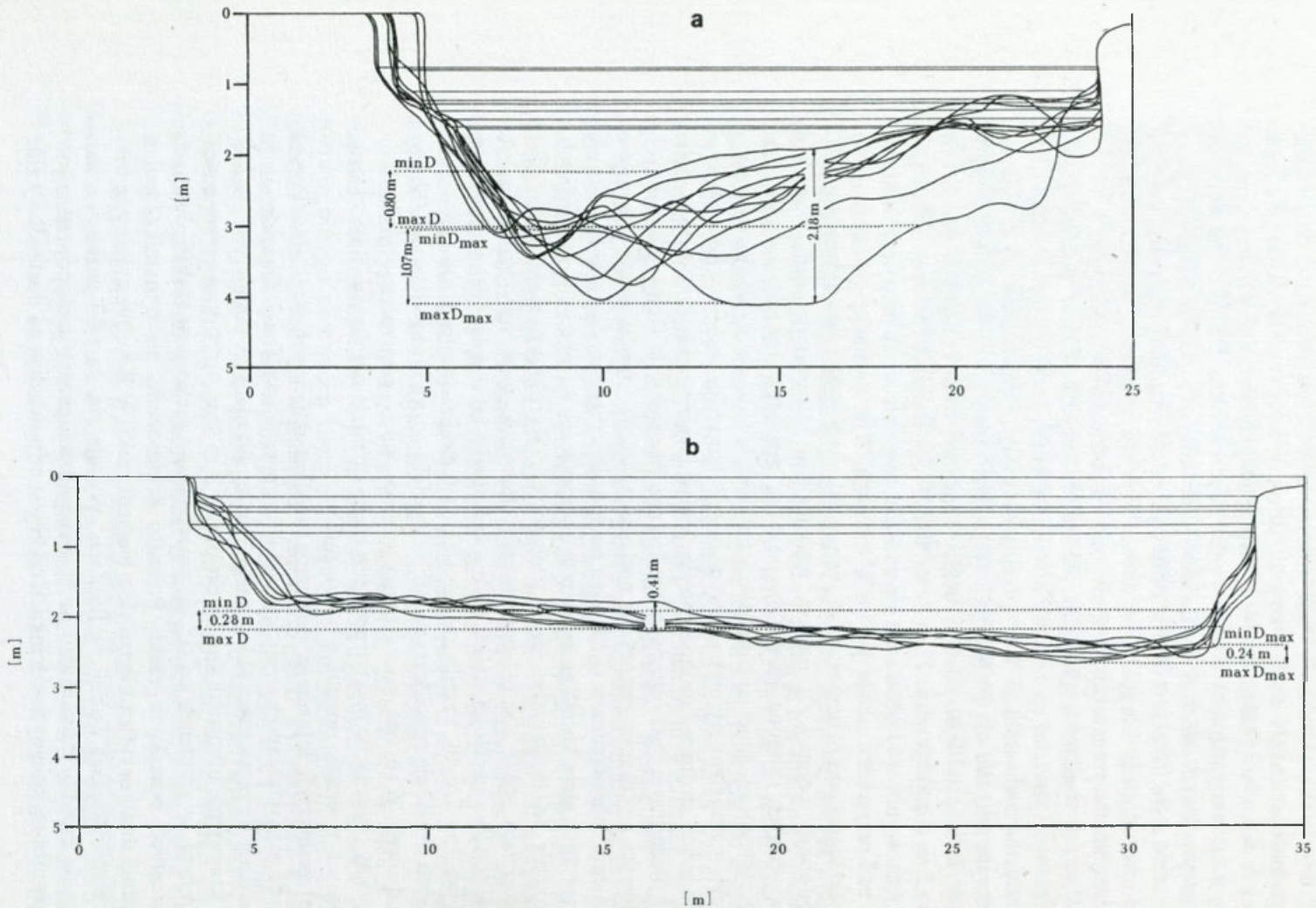
Akumulacyjny charakter strefy największych głębokości przejawia się płaskim dnem stanowionym przez materiał słabo upakowany⁷. Proces transportu w obrębie omawianej strefy odzwierciedla występowanie ripplmarków różnego rodzaju zarówno w fazie, jak i nie w fazie oraz występowanie wydym. Parametry geometryczne wydym dochodziły maksymalnie do 1,5 m długości i 0,4 m wysokości. Trzeba zaznaczyć, że wydmy najczęściej występowały na odcinku w Bardach, natomiast w Dębczynie i Krosinie nie rejestrowano ich na badanych przekrojach poprzecznych, ale za to obserwowano je pomiędzy nimi.

⁷ Specjalnych badań upakowania nie prowadzono, a jedynie w czasie pobierania próbek materiału wleczonego oceniano w sposób względny oporność dna rzeki na wbijanie kolektora cylindrycznego. Pomiary upakowania i ich interpretację w warunkach rzeki nizinnej przedstawił Z. Młynarczyk (1985).

Erozyjny charakter opisywanej strefy największych głębokości odróżniano na podstawie dwóch cech. Pierwsza dotyczy rozmywania zastanych form dennych w korycie aż do momentu utworzenia płaskiego dna piaszczystego, na którym czasami można było obserwować miecenie ziarn. Druga cecha wiąże się z występowaniem osadów podłoża w dnie koryta, o czym świadczą glazy i kamienie o średnicach do 0,5 m oraz wychodnie rozmokniętej gliny. Podłoże morenowe w dnie koryta stwierdzono w wielu miejscach wzdłuż Parsęty, a szczególnie wyraźnie ujawnia się ono na odcinku w Dębczynie.

W czasie badań terenowych nie zauważono związków pomiędzy poszczególnymi strefami erozyjnymi a stanami wody, zaobserwowano natomiast uzależnienie tych stref od fazy przepływu wody. Uzależnienie to polega na zmiennym zakresie strefy erozyjnej. Najszersze strefy zarejestrowano na zakolach w Dębczynie i Bardach w czasie opadania wód, osiągające przeciętnie około 5 m, a maksymalnie 12 m na przekroju 3 w Bardach (listopad 1980). Dla fazy wznoszenia wód obserwuje się znaczne zwężenie strefy erozyjnej, w skrajnym zaś przypadku nawet jej zanik (przekrój 2 w Bardach; grudzień 1979). Zmiany szerokości i charakteru strefy największych głębokości należy najprawdopodobniej kojarzyć z ruchem zstępującym lub wstępującym strumieni drugorzędnych (Simons 1979). Związek ten przejawia się ruchem materiału piaszczystego w postaci ripplemarków prostych w fazie po części dna stowarzyszonego z brzegiem wypukłym. W czasie podnoszenia stanów wody, efektem zstępujących strumieni drugorzędnych ponad powierzchnią podwodnej części łachy meandrowej jest obserwowane boczne zasypywanie strefy największych głębokości w korycie. Natomiast podczas opadania stanów wody zstępujące strumienie drugorzędne w osi koryta powodują wyruszenie materiału ze strefy największych głębokości i generowanie wstępujących strumieni drugorzędnych. Strumienie te, odsłaniając dno, transportują wyruszony materiał w górę podwodnego stoku łachy meandrowej. Powstaje wówczas szeroka strefa największych głębokości, którą można traktować jako powierzchnię (poziom) erozyjną dna koryta. Przedstawione układy funkcjonowania strumieni drugorzędnych implikują równocześnie obraz morfologiczny podwodnej części łachy meandrowej. W czasie podnoszenia stanów wody poprzeczny profil morfologiczny przez łachę meandrową przybiera kształt prostoliniowy lub wklęsły, natomiast w czasie opadania – wypukły.

Interesujących informacji dostarcza analiza zmian położenia dna koryta w czasie różnych stanów wody, czyli chwilowej erozji wgłębnej. Okazało się, że najbardziej dynamiczne zmiany zachodzą na zakolach o mniejszych stosunkach krzywizny, albowiem sięgały do ponad 2 m (ryc. 9). Natomiast najmniejsze zmiany, w granicach do 0,5 m, powstają na przekrojach zlokalizowanych na prostych odcinkach rzeki. Ponadto stwierdzono, że dynamika zmian położenia dna koryta zmniejsza się z biegiem rzeki. W Krosinie zmiany te były dwukrotnie większe aniżeli w Bardach. Wydaje się, że taki rozkład zmian położenia dna koryta zarówno na poszczególnych przekrojach poprzecznych, jak również na kolejnych odcinkach rzeki jest odpowiedzią na dostosowywanie



Ryc. 9. Zmiany położenia dna koryta rzecznego przy różnych stanach wód Parsęty

a – przekrój 2 na zakolu o małym stosunku krzywizny w Krosinie; b – przekrój 1 na prostym odcinku koryta w Bardach

Fig. 9 Changes of the river bottom situation at various water levels of the Parsęta River

a – cross-section 2 at a bend of a low curvature ratio at Krosino

b – cross-section 1 at a straight channel reach at Bardy

dna koryta do dynamiki zmian w przepływie wody. Wskazywałyoby to na lepsze przystosowanie koryta w Bardach oraz na odcinkach prostych rzeki do przyjmowania dużych przepływów, w porównaniu z korytem w Krosinie oraz na odcinkach zakolowych rzeki.

Na nieprzystosowanie koryta w Krosinie do przyjmowania przepływów wezbraniowych wskazywano już wcześniej (Zwoliński 1980, 1985a) przy omawianiu efektów sedymentacyjnych i morfologicznych wezbrania wiosennego 1979 r. na terasie zalewowej Parsęty. Zmiany w położeniu dna koryta na odcinkach prostych rzeki mogą być z powodzeniem tłumaczone migracją form dennych, szczególnie wydm. Natomiast nieprzystosowanie koryta na odcinkach zakolowych wynika z różnej konfiguracji dna w czasie wzrastania lub opadania stanów wody. Konfiguracja dna w przypadku zakoli o większych stosunkach krzywizny jest determinowana rozwojem łańcuch meandrowych, a w przypadku zakoli o mniejszych stosunkach krzywizny – łańcuch wstecznych.

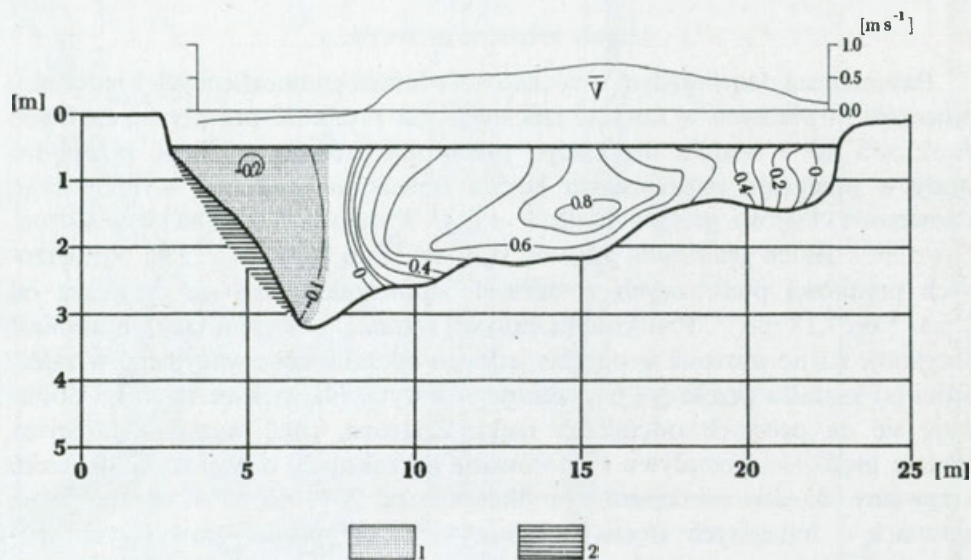
ŚREDNIA PRĘDKOŚĆ PRZEPŁYWU

Parametrem decydującym o większości zdarzeń geomorficznych i natężeniu procesów fluwialnych w korycie rzeczonym jest prędkość przepływu, zarówno punktowa jak i średnia dla całego przekroju. Średnią prędkość przepływu wody w przekroju poprzecznym koryta obliczono ze wzoru, wynikającego z równania ciągłości przepływu (9): $V = QA^1$. Parametr ten waha się w stosunkowo niewielkich granicach, gdyż od $0,22 \text{ ms}^{-1}$ do $0,66 \text{ ms}^{-1}$. Dla pomierzonych prędkości punktowych w okresie badań zakres ten się rozszerza od 0 ms^{-1} do $1,18 \text{ ms}^{-1}$. Prędkość przepływu wzrasta z biegiem rzeki, natomiast przyjmuje różne wartości w obrębie jednego odcinka obserwacyjnego w zależności od kształtu przekroju poprzecznego koryta. Największe wartości obserwuje się na prostych odcinkach rzeki. Zbliżone, choć wyraźnie mniejsze, średnie prędkości przepływu są notowane na zakolach o większym stosunku krzywizny. Bardzo zmniejszone prędkości, o od 20% do 33%, występują na zakolach o mniejszych stosunkach krzywizny. Wyjaśnienie powyższych spostrzeżeń należy upatrywać w hydraulice spływu wody w poszczególnych rodzajach przekrojów.

Analiza rozkładu izotach dla 84 przekrojów pozwala na ustalenie pewnych wyjaśnień. W przekrojach reprezentujących proste odcinki rzeki rejestrowano w miarę równomierny rozkład prędkości na całej szerokości koryta, a dopiero przy brzegach zachodziły istotniejsze zmiany w wielkościach prędkości punktowych. Maksymalne prędkości mierzono w środkowej części koryta lub nieco przesunięte w kierunku jednego z brzegów, co zależy od lekkiego zakrzywienia przebiegu koryta, na którym wybrano przekrój. Na zakolach o większym stosunku krzywizny maksymalne prędkości występują w niedalekim sąsiedztwie brzegu zewnętrznego, nie więcej niż 1/3 szerokości koryta. W miarę przesuwania się ku brzegowi wewnętrznemu oraz zmniejszania głębokości koryta, prędkości ulegały w różnym stopniu redukcji zależnie od morfologii dna, zarośnięcia strefy brzegowej, cyrkulacji strumieni drugorzędnych, fazy

splywu wody itp. Minimalnie mniejsze średnie prędkości przepływu na tych przekrojach, w porównaniu z przekrojami na odcinkach prostych, są spowodowane głównie kształtem przekroju i zróżnicowanym rozkładem prędkości w stosunku do szerokości i głębokości koryta. Większe maksymalne prędkości punktowe rejestrowano na przekrojach zakolowych w miejscach przegłębień. Reasumując należy stwierdzić, że omówione rozkłady prędkości w przekrojach nie różnią się od powszechnie przyjętych schematów hydraulicznych (Leopold, Wolman 1960; Leopold, Wolman, Miller 1964; Hickin 1978; Bathurst 1979; Bathurst, Thorne, Hey 1979).

Odmienne rysuje się sytuacja dla przekrojów na zakolach o mniejszym stosunku krzywizny. Rozkłady prędkości punktowych i kształt izotach nie mieszczą się w klasycznych schematach. Zaobserwowano bowiem wyraźne przesunięcie maksymalnych prędkości w przekroju ku brzegowi wewnętrznemu w stosunku do głębokości maksymalnej (ryc. 10). Konsekwencją tego



Ryc. 10. Rozkład prędkości przepływu wody [ms^{-1}] na przekroju poprzecznym 2 koryta Parsęty na zakolu o małym stosunku krzywizny w Krosinie (1981.06.26)

1 - przepływ powrotny, 2 - osady łachy wstecznej, \bar{V} - średnia prędkość przepływu wody w pionie hydrometrycznym

Fig. 10 The water flow velocity distribution [ms^{-1}] at cross-section 2 of the Parsęta River channel at a bend with a low curvature ratio at Krosino on June 26, 1981

1 - back flow, 2 - counterpoint deposits, \bar{V} - average water flow velocity in the hydrometric vertical

przesunięcia jest powstanie w miarę szerokiego pasa prądu powrotnego wzdłuż brzegu zewnętrznego. Wśród implikacji sedymentacyjnych i morfologicznych takiego charakteru splywu wody znajduje się pogłębienie dna przy brzegu wypukłym, erodowanie tego brzegu, brak typowej depozycji łachy meandrowej, zahamowanie erozji bocznej na brzegu wklęsłym i deponowanie w jego sąsiedztwie osadów drobnoziarnistych. Przesunięcie maksymalnej prędkości powoduje odwrócenie funkcji morfodynamicznych koryta w odniesieniu do

zakolowego kształtu przekroju poprzecznego. Należy dodać, że na zakolach o większym stosunku krzywizny można zaobserwować podobną rewersyjność procesów, jednakże jej występowanie jest sporadyczne i ograniczone do wysokich stanów wody, a ponadto nie dochodzi do pełnego rozwoju wszystkich wyżej wymienionych procesów.

Identyczne obserwacje dotyczące przesuwania maksymalnych prędkości w przekroju ku brzegowi wypukłemu udokumentowali na różnych rzekach m.in. E. J. Hickin (1978), J. S. Bridge i J. Jarvis (1982), H. J. De Vriend i H. J. Geldof (1983). Wymienieni badacze, a także M. R. Leeder i P. H. Bridges (1975) i E. J. Hickin (1977) jednoznacznie tłumaczą ten fakt powstawaniem strefy separacji nurtu na zbyt mocno zakrzywionym zakolu. Strefa ta rozdziela wodę w korycie rzeczonym na dwa zasadnicze pasy. Pierwszy pas wody to właściwy nurt zepchnięty w stronę brzegu wewnętrznego. Stąd brak łachy meandrowej i erozyjne modelowanie brzegu wypukłego. Drugi pas, rozwijający się wzdłuż brzegu zewnętrznego, to przepływ powrotny, niosący z osiowej części koryta znaczną ilość materiału zawieszono (Taylor, Woodyer 1978). W efekcie następuje depozycja materiału przez prądy powrotne w górę rzeki wzdłuż brzegu wklęsłego. Ten nietypowy układ sedymentacyjny jako pierwszy opisał W. C. Carey (1969), następnie zaś rozwinęli tę koncepcję K. D. Woodyer (1975), E. J. Hickin (1979), K. D. Woodyer, G. Taylor i K. A. W. Crook (1979), K. Page i G. C. Nanson (1982), G. C. Nanson i K. Page (1983), określając go mianem *concave-bank bench*. Badania J. Lewina (1978, a także C. R. Thorne i J. Lewin 1979) pozwoliły mu na wprowadzenie bodaj najzręczniejszego określenia na ten typ depozycji, a mianowicie *counterpoint sedimentation/bar* (Lewin 1983). Pojęcie to zawiera w sobie pierwiastki lokalizacyjne i genetyczne. Szczegółową dyskusję o treściach morfogenetycznych oraz terminologicznych przedstawił wcześniej (Zwoliński 1986a, b). W nazewnictwie polskim zaproponowano termin – *łacha wsteczna*.

W środkowym biegu Parsęty, szczególnie na odcinku w Krosinie, stwierdzono występowanie łach wstecznych w różnym stadium rozwoju w obrębie kilku zakoli. Formy te są zbudowane z materiału drobnopiaszczystego i mułkowego, dobrze i bardzo dobrze wysortowanego, o rozkładach symetrycznych i mezokurtycznych. W spągowych i środkowych segmentach osadów łach wstecznych zaobserwowano występowanie warstwowania przekątnego w małej skali. Nadbudowywanie osadów łach wstecznych odbywa się przede wszystkim w czasie przepływów blisko pełnokorytowych oraz ponadpełnokorytowych.

Problem sedymentacji osadów wzdłuż brzegu zewnętrznego, w postaci łach wstecznych, nabiera ważnego znaczenia z punktu widzenia geometrii hydraulicznej i hydrauliki splywu wody w zakolach o mniejszym stosunku krzywizny. Występowanie i rozwój łach wstecznych powoduje zdecydowanie mniejszy wzrost szerokości koryta w stosunku do wzrostu przepływu oraz zepchnięcie strefy separacji nurtu i zawirowań wstecznych ku osi koryta.

Efektom tych dwóch zdarzeń jest zmniejszenie pola powierzchni przekroju poprzecznego, przez który efektywnie spływa woda w dół rzeki w pobliżu

brzegu wewnętrznego. Mając na uwadze równanie ciągłości przepływu (9), zmniejszaniu pola powierzchni przekroju poprzecznego koryta musi towarzyszyć zwiększenie średniej prędkości przepływu. Implikacją hydrauliczną rozwoju łach wstecznych zatem jest przesuwanie maksymalnych prędkości płynięcia wody w kierunku brzegu wewnętrznego, co wykazano wcześniej. Jednak wzrost wartości prędkości maksymalnych nie rekompensuje istnienia stosunkowo szerokich stref separacji nurtu i prądu powrotnego. Obliczone zatem wartości średniej prędkości przepływu dla całego przekroju poprzecznego koryta są zaniżane przez „martwą” część pola powierzchni przekroju, przez którą *de facto* nie splywa woda w dół rzeki. Jest to uzasadnienie spostrzeżenia przytoczonego na początku niniejszego fragmentu pracy, iż najmniejsze średnie prędkości przepływu wody są notowane na przekrojach zlokalizowanych na zakolach o mniejszym stosunku krzywizny, w porównaniu z przekrojami na odcinkach prostych i zakolach o większym stosunku krzywizny.

PARAMETRY SUPLEMENTARNE

SPADEK

Na ogół spadek rozumiany jako gradient energii rzeki można pomierzyć w terenie lub na mapie. W niniejszej pracy za wystarczające przyjęto spadki obliczone z map topograficznych w skali 1:10000, których wartości dla poszczególnych odcinków obserwacyjnych podano wcześniej (tab. 1). Takie postępowanie obrano zgodnie z sugestiami C. C. Parka (1976), że spadki pomierzone w terenie mogą być z powodzeniem zastąpione spadkami wyliczonymi z map⁸. Wykazane przez tego autora równanie regresji jest bardzo zbliżone do linii 1:1 przy współczynniku korelacji $r = 0,64$. Znacznie wyższe i istotniejsze współczynniki korelacji ($r = 0,74 \pm 0,89$, $\alpha = 0,01$) dla zależności między spadkami pomierzonymi w terenie a obliczonymi z mapy podaje D. M. Mark (1983).

OBWÓD ZWILŻONY

Obwód zwilżony jest parametrem osiągalnym w dwojaki sposób. Pierwszy z nich polega na zmierzeniu wyrysowanej linii przekroju poprzecznego koryta, znajdującej się pod linią zwierciadła wody. Drugi sposób polega na obliczeniu wzoru: $P = 2D + W$. W niniejszej pracy oparto się na wyliczeniach powyższego równania. Wartość tego parametru jest silnie zdeterminowana przez wartości szerokości koryta, stąd może on być niekiedy używany jako przybliżenie szerokości (Richards 1982). Opinia ta znajduje potwierdzenie nie tylko w obliczonych wartościach obwodu zwilżonego (10,52 – 37,09 m), ale też w tendencjach zmian tego parametru takich samych, jak zmiany szerokości koryta. O ile

⁸ Spadki obliczane z map stosowane są także w badaniach paleohydrologicznych, np. J. E. Costa (1983) wykorzystuje takie spadki przy paleohydraulicznej rekonstrukcji kulminacji nagłych powodzi w strumieniach między Denver a Fort Collins. Podobnie czyni P. Gonera (1986), estymując przepływy dla zakoli różnych generacji Warty.

związku tych dwóch parametrów świadczą współczynniki korelacji dla poszczególnych przekrojów koryta wahające się od 0,86 do 1,00 (średnio 0,96) na poziomie $\alpha = 0,01$.

Największe wartości obwodu zwilżonego notowano dla przekrojów na zakolach o mniejszych stosunkach krzywizny, mniejsze – na przekrojach prostych odcinków rzeki, a najmniejsze – dla przekrojów na zakolach o większych stosunkach krzywizny. Identyczne relacje obserwowane w przypadku szerokości koryta. Obwód zwilżony zatem reaguje tak samo na zmiany promienia krzywizny jak szerokość.

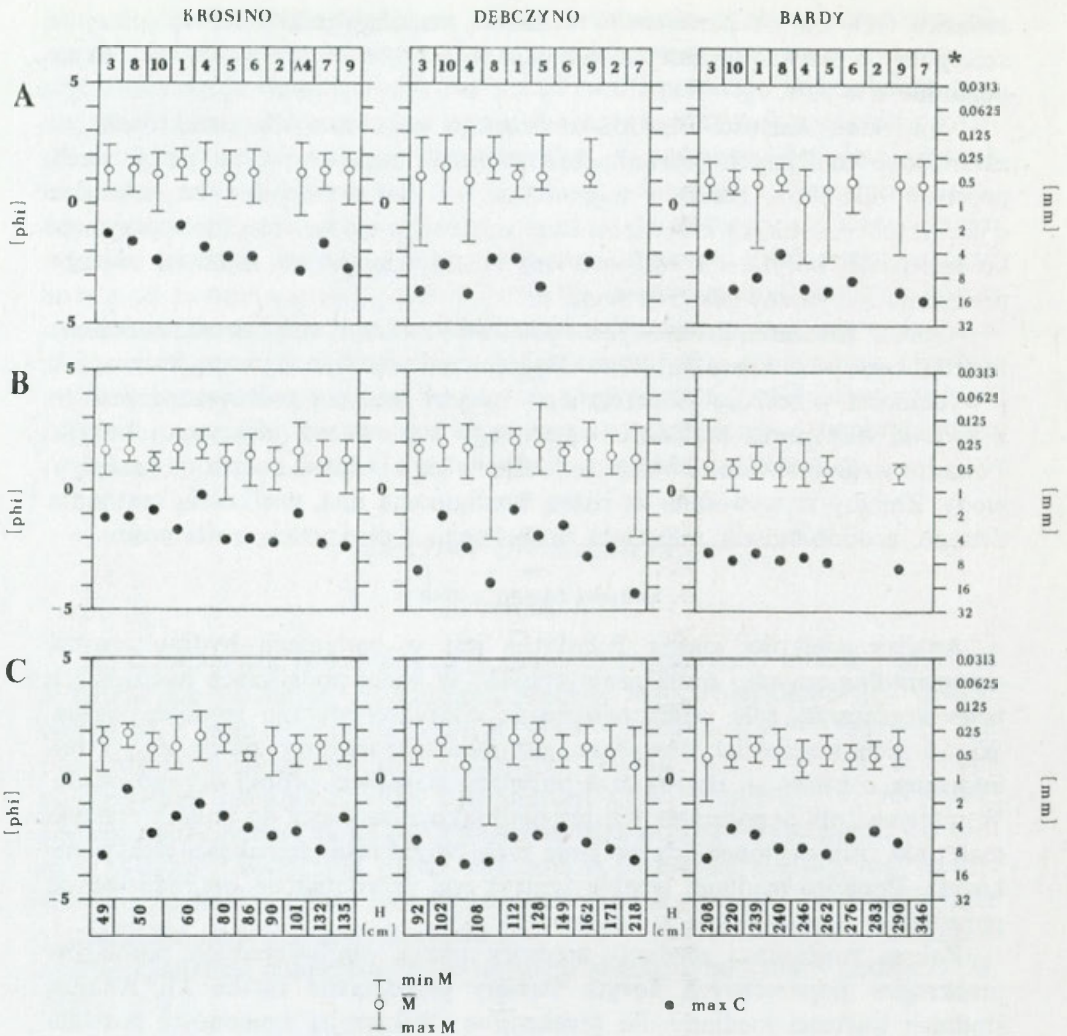
Oprócz znaczenia geometrycznego obwód zwilżony ma również znaczenie hydrauliczne jako miara zarówno długości zetknięcia wody z podłożem, jak i wydajności przekroju poprzecznego koryta rzecznego. Związane jest to z kwestią transportu materiału wlezonego i szerokości efektywnej koryta. Ponadto wzdłuż obwodu zwilżonego zmienia się oporność koryta na przepływ wody. Zmiany te wywołane są różną konfiguracją dna, wielkością materiału denngo, erodobilnością materiału brzegowego i obecnością roślinności.

MEDIANA ŚREDNICY ZIARNA

Analiza wielkości ziarna przydatna jest w badaniach hydraulicznych, sedimentologicznych i morfogenetycznych. W wielu podejściach badawczych pierwszoplanową rolę odgrywają różne charakterystyczne średnice ziarna. Wśród nich najczęściej stosowana jest mediana średnicy ziarna d_{50} , która informuje o głównym charakterze populacji ziarnowej próbki danego osadu. W niniejszej pracy parametr ten przyjęto jako zasadniczy do charakterystyki materiału transportowanego po dnie rzeki w zakresie szerokości efektywnej koryta. Ponadto mediana średnicy ziarna jest przydatna do obliczeń innych parametrów stosowanych w tej pracy.

Zakres zmienności mediany średnicy ziarna dla wszystkich pomiarów przekrojów poprzecznych koryta Parsęty przedstawia rycina 11. Analiza średnich wartości mediany dla przekrojów i zakres jej zmienności pozwala stwierdzić bardzo małe jej zróżnicowanie, gdyż w granicach $0,24 \div 0,81$ mm. Wartości mediany mieszczą się w głównej mierze we frakcji piasku średnioziarnistego, a w kilkunastu przypadkach we frakcji piasku gruboziarnistego. Przeciętne wartości median dla odcinka w Bardach (średnio 0,53 mm) dobrze korespondują z wartością mediany dla tego samego odcinka podaną przez J. Dynus-Angiel (1981). Małe zróżnicowanie osadów wleczonych w korycie Parsęty wynika z obecności takiego, a nie innego, dostępnego materiału dla procesów denudacyjnych, erozyjnych i transportowych w zlewni, dolinie i korycie rzeczonym. Ponadto z diagramów na rycinie 11 można zauważyć:

- 1) brak prawidłowości zmian mediany w zależności od wzrastających stanów wody;
- 2) brak zróżnicowania mediany względem lokalizacji przekrojów poprzecznych koryta;
- 3) różne zakresy zmienności mediany na poszczególnych przekrojach niezależnie od stanów wody, lokalizacji przekrojów i odcinków obserwacyj-



Ryc. 11. Charakterystyki teksturalne osadów wleczonych na zróżnicowanych morfologicznie przekrojach poprzecznych koryta Parsęty, uporządkowane według wzrastających stanów wody H i lokalizacji przekrojów na kolejnych odcinkach obserwacyjnych

A – zakola o większych stosunkach krzywizny; B – proste odcinki rzeki; C – zakola o mniejszych stosunkach krzywizny; M – mediana średnicy ziarna; C – pierwszy, najgrubszy percentyl; * – numery pomiarów

Fig. 11 Textural characteristics of bed load at morphologically diversified cross-sections of the Parsęta River channel ordered according to the increasing water levels H and location of cross-sections at consecutive study reaches

A – bends with a higher curvature ratio; B – straight reaches of the river; C – bends with a lower curvature ratio; M – grain diameter median; C – first, coarser percentile; * – measurement numbers

nych; stosunkowo najmniejsze rozpiętości notowano na przekrojach położonych na zakolach o mniejszym stosunku krzywizny (ryc. 11C) oraz na prostych odcinkach rzeki (ryc. 11B).

Zaobserwowano jednoczesność zmian mediany średnicy ziarna z pięcioma parametrami hydraulicznymi: zdolnością rzeki, naprężeniem stycznym, bez-

wymiarowym naprężeniem stycznym, współczynnikiem szorstkości Manninga i współczynnikiem tarcia Darcy-Weisbacha. Przegląd wzorów służących do obliczania tych parametrów pozwala skonstatować, iż jedynym wspólnym parametrem składowym tych wzorów (oprócz spadku, który można uznać za wartość stałą w obrębie jednego odcinka) jest promień hydrauliczny przekroju poprzecznego koryta. Postanowiono zatem prześledzić związki, jakie zachodzą między medianami pojedynczych próbek osadów wleczonych a głębokościami, z których te próbki zostały pobrane. Dla odcinka obserwacyjnego w Bardach⁹ zestawiono te związki graficznie (ryc. 12), rozdzielając próbki dla różnych typów przekrojów poprzecznych.

Z diagramów MD_x wynika, że dla przekroju na zakolu o większym stosunku krzywizny (ryc. 12A) mediana ziarn wzrasta wprost proporcjonalnie do głębokości ich występowania. W przypadku przekroju zlokalizowanego na prostym odcinku rzeki (ryc. 12B), mediana ziarna przyjmuje małą zmienną wartość w określonym przedziale jej wielkości, niezależnie od zmian głębokości. Z kolei dla przekroju na zakolu o mniejszym stosunku krzywizny (ryc. 12C) mediana ziarna zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do zwiększającej się głębokości. Przeciwnostawne zależności na przekrojach zakolowych są ściśle skorelowane z rozkładami prędkości w przekrojach. A zatem:

1) zakole o większym stosunku krzywizny:

wzrasta głębokość \Rightarrow wzrasta prędkość \Rightarrow wzrasta mediana ziarna;

2) zakole o mniejszym stosunku krzywizny:

wzrasta głębokość \Rightarrow zmniejsza się prędkość \Rightarrow zmniejsza się mediana ziarna;

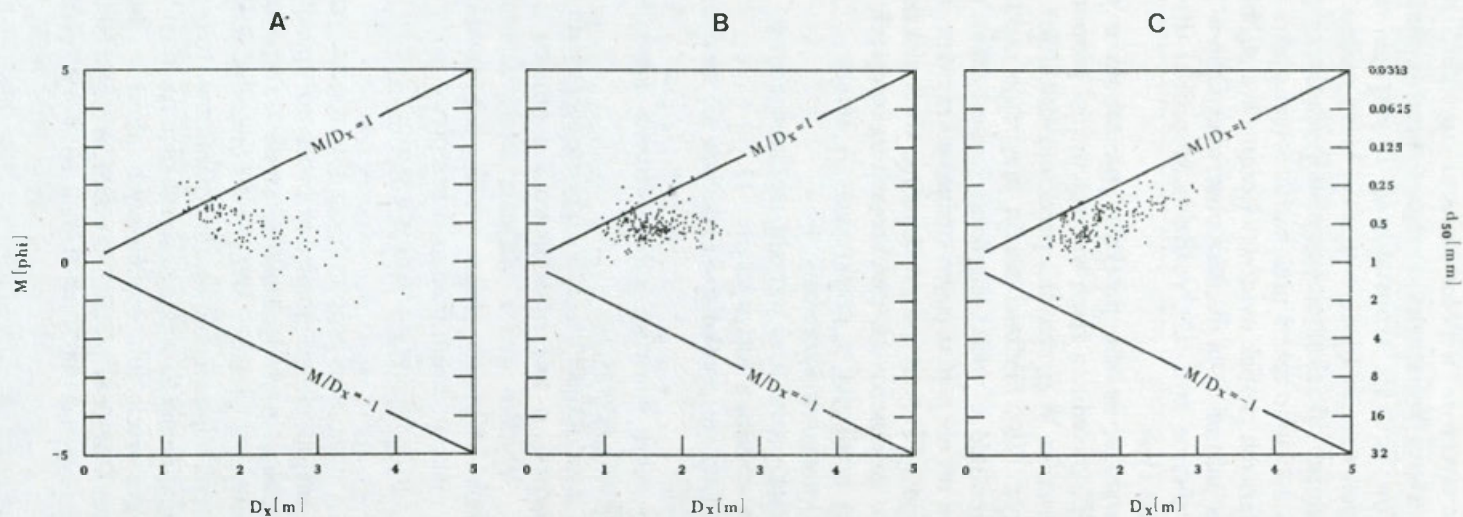
3) prosty odcinek rzeki:

wszystkie trzy parametry mają właściwe sobie wartości nie różniące się zasadniczo na całej szerokości przekroju.

O ile prawidłowości z punktów 1 i 3 wydają się oczywiste i zgodne z dotychczasowymi poglądami, o tyle prawidłowość z punktu 2 wymaga dodatkowego wyjaśnienia. Wynika ona z istnienia strefy separacji nurtu w pasie największych głębokości koryta oraz z implikacji hydraulicznych tej separacji, tzn. przesunięcia maksymalnych prędkości przepływu wody w kierunku brzegu wewnętrznego i przepływów powrotnych wzdłuż brzegu zewnętrznego.

Konstrukcję diagramów oparto na próbkach osadów wleczonych. Można zatem wnosić, że próbki znajdujące się pomiędzy prostymi opisanymi równaniami $M/D_x = \pm 1$ wskazują morfodynamiczną strefę transportu. Wobec tego próbki będące powyżej prostej $M/D_x = 1$ oraz poniżej prostej $M/D_x = -1$ mogą wyznaczać odpowiednio morfodynamiczne strefy akumulacji i erozji. Jednakowoż zagadnienie to wymaga weryfikacji na innych rzekach, albowiem w przypadku grubszych lub drobniejszych aluwii analizowane chmury punktów mogą przesuwać się w pionie. Na obecnym etapie badań można zasugerować przydatność diagramu MD_x w badaniach koryt piaszczystych.

⁹ Na odcinku tym zebrano największą liczbę próbek osadów wleczonych ze względu na największe szerokości koryta rzeczne.



Ryc. 12. Diagramy zależności mediany średnicy ziarna M pojedynczej próbki osadów wleczonych od głębokości D_x , na której próbka została pobrana (odcinek obserwacyjny w Bardach)

A – zakole o większym stosunku krzywizny, B – prosty odcinek rzeki, C – zakole o mniejszym stosunku krzywizny

Fig. 12 Diagrams of dependencies between the grain diameter median M of a single sample of bed load and the depth D_x at which the sample was collected at the study reach at Bardy

A – a bend with a higher curvature ratio, B – a straight reach of the river, C – a bend with a lower curvature ratio

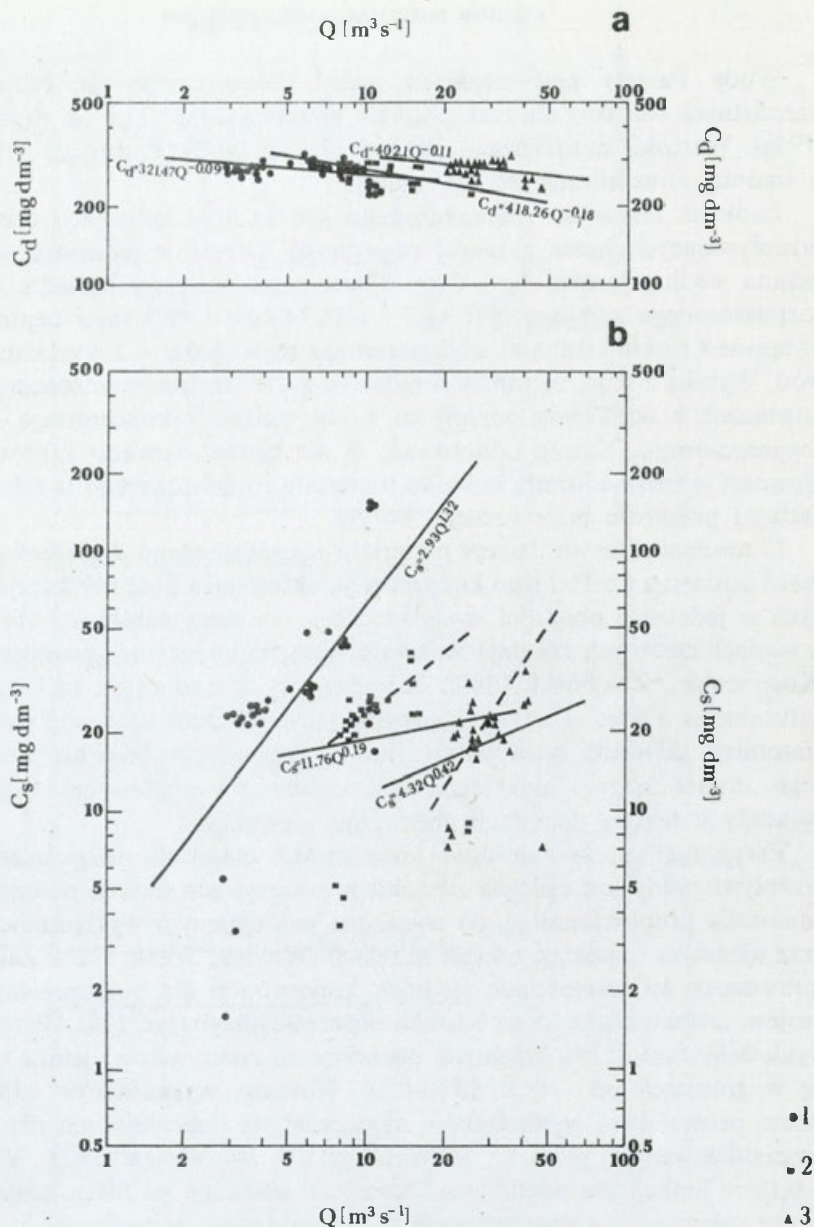
Wody Parsęty pod względem składu chemicznego nie odbiegają od przeciętnych wartości dla rzek polskich wyznaczonych przez M. Stangenberg (1958). Wartości mineralizacji ogólnej plasują wody Parsęty w grupie wód o średniej mineralizacji do 500 mgdm^{-3} .

Ładunek materiału rozpuszczonego jest to ilość substancji chemicznych przepływających przez przekrój poprzeczny koryta w jednostce czasu, obliczana według wzoru: $L_d = C_d Q$. Ekstremalne wartości ładunku materiału rozpuszczonego wynoszą $0,78 \text{ kgs}^{-1}$ i $11,74 \text{ kgs}^{-1}$. Wartości najmniejsze są związane z niskimi stanami wód, natomiast największe – z wysokimi stanami wód. Wynika z tego, że wartości ładunku materiału rozpuszczonego są ściślej powiązane z wielkością przepływu wody, aniżeli z koncentracją materiału rozpuszczonego. Należy odnotować, że nie zaobserwowano żadnych prawidłowości w zróżnicowaniu ładunku materiału rozpuszczonego w zależności od kształtu przekroju poprzecznego koryta.

O mechanizmie transportu materiału rozpuszczonego dodatkowych informacji dostarcza analiza jego koncentracji, określająca ilość substancji chemicznych w jednostce objętości wody rzecznej. Na sumę substancji chemicznych w wodach rzecznych składają się komponenty denudacyjne i pozadenudacyjne (Kostrzewski, Zwoliński 1985). Komponenty denudacyjne są pochodzenia naturalnego, a więc związane są z rozpuszczaniem podłoża zlewni *sensu stricto*. Natomiast składniki pozadenudacyjne są pochodzenia głównie atmosferycznego, organicznego i ludzkiego. Ilość składników pochodzenia naturalnego świadczy o tempie denudacji chemicznej zlewni.

Przyjmuje się, że zależność koncentracji materiału rozpuszczonego od przepływu wody jest opisana związkiem inwersyjnym funkcji potęgowej, czyli odwrotnie proporcjonalnej, co wyrażone jest ujemnym wykładnikiem potęgi oraz ujemnym współczynnikiem korelacji (Walling, Webb 1983). Zależność tę sprawdzono na wartościach średnich koncentracji dla poszczególnych przekrojów, osobno dla każdego odcinka obserwacyjnego (ryc. 13a). Okazało się, że wykładniki funkcji dla kolejnych odcinków są rzeczywiście ujemne i mieszczą się w granicach od $-0,09$ do $-0,18$. Wartości wykładników odpowiadają zatem przedziałowi wykładników najczęściej się pojawiających dla 370 rzek przeanalizowanych przez D. E. Wallinga i B. W. Webba (1983). Wykładnik $-0,18$ w funkcji dla odcinka w Dębczynie wskazuje na nieznacznie większy udział spływów powierzchniowych w zasilaniu rzeki w porównaniu z dwoma pozostałymi odcinkami rzeki.

Zaobserwowano, że wyższe wartości koncentracji materiału rozpuszczonego występują w półroczu letnim aniżeli w zimowym. Fakt ten należy korelować z odwrotną relacją dla wielkości przepływów w półroczach. Uwzględniając wnioski W. Froehlich (1975) można przypuszczać, że wyższe koncentracje przy niższych przepływach półroczu letniego wskazują na przewagę zasilania gruntowego, natomiast dla półroczu zimowego mniejsze koncentracje przy



Ryc. 13. Związki między koncentracją materiału rozpuszczonego C_d (a) i zawieszonego C_s (b) a przepływem wody Q na odcinkach obserwacyjnych Parsęty

1 – Krosino, 2 – Dębczyno, 3 – Bardy

Fig. 13 Relations between concentration of the dissolved material C_d (a) and the suspended material C_s (b) and the water discharge Q at the study reaches of the Parsęta

1 – Krosino, 2 – Dębczyno, 3 – Bardy

wyższych przepływach odpowiadają zwiększonemu udziałowi spływów powierzchniowych w zasilaniu rzeki. Spływy powierzchniowe pochodzenia roztopowego i opadowego powodują rozcieńczenie roztworu wodnego w korycie rzeczonym (Kostrzewski, Zwoliński 1986).

Analizując ładunki materiału rozpuszczonego, można zauważyć wzrost ich wartości w profilu podłużnym rzeki. Mając na uwadze fakt, że wartości koncentracji materiału rozpuszczonego z biegiem rzeki utrzymują się mniej więcej na tym samym poziomie można raz jeszcze uwypuklić uprzedni wniosek o zdeterminowaniu wielkości ładunku materiału rozpuszczonego wielkościami przepływu wody. Potwierdzają to bardzo wysokie współczynniki korelacji między tymi dwoma parametrami obliczone dla każdego przekroju poprzecznego koryta osobno, a mieszczące się w zakresie 0,95–0,99 na poziomie istotności $\alpha = 0,01$. Równie wysoką istotność tego związku wykazują badania B. Fal (1965), A. Kotarby (1972) i W. Froehlich (1975).

LADUNEK MATERIAŁU ZAWIESZONEGO

Badania materiału zawieszonego dostarczają informacji nie tylko o mechanizmie transportu fluwialnego (Nilsson 1972; Froehlich 1975; Calles 1977; Walling, Kane 1982; Walling, Webb 1982), ale także wskazują na wiele implikacji geomorficznych w odniesieniu do obszaru dorzecza, na przykład pochodzenia osadów i natężenia denudacji mechanicznej (Brański 1975; Sedimentation Seminar 1977; Grimshaw, Lewin 1980; Froehlich 1982; Webb, Walling 1982; Walling 1983; Lach 1984; Maruszczak 1984a, b; Walling, Kane 1984). Obecność materiału zawieszonego powoduje zmiany cech fizycznych wody, głównie lepkości (Simons, Richardson, Nordin 1965; Simons, Richardson 1966), które wpływają na właściwości mieszaniny woda–osad (por. Maizels 1983b, c), implikujące natężenie transportu osadów. Poza tym, transport materiału zawieszonego może być determinowany zmianami w składzie chemicznym wód rzecznych (Imeson 1978, Imeson, Verstraten 1981, Lam 1984).

Ładunek materiału zawieszonego, przepływającego przez przekrój poprzeczny koryta, obliczono według wzoru: $L_s = C_s Q$. Ekstremalne ładunki wynoszą 0,01 kgs^{-1} i 1,73 kgs^{-1} . Stwierdzono identyczność lub niewielkie różnicowanie ładunków między przekrojami poprzecznymi w obrębie jednego odcinka obserwacyjnego, a tym samym ich niezależność od kształtu przekroju. Wartości ładunków wzrastają z biegiem rzeki, co oznacza ich uzależnienie od wielkości przepływów.

Dodatkowych informacji o ładunku materiału zawieszonego dostarcza analiza koncentracji tego materiału. Stwierdzono zmniejszanie się koncentracji w profilu podłużnym rzeki (ryc. 13b). Jest to zrozumiałe, jeśli wziąć pod uwagę energię rzeźby, która w górnej części zlewni (północny skłon pomorskiego ciągu morenowego) jest większa aniżeli w dolnej (równiny zastoiskowe, powierzchnie sandrowe, wysoczyzny dennomorenowe). Podobnie B. Calles

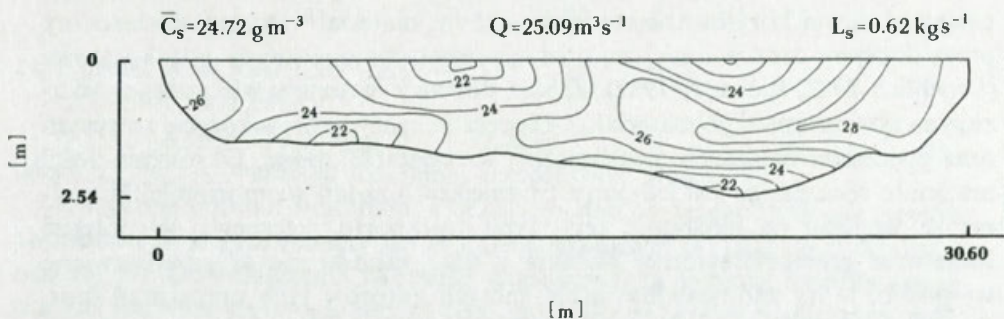
(1980) analizując materię zawieszoną wzdłuż rzeki Vasterdalalven stwierdza jej wyższe koncentracje w górnym biegu, co tłumaczy stromym opadaniem profilu rzecznoego. Z kolei rozważania M. Kleina (1982) sugerują, iż spadek koncentracji w dół rzeki zachodzi w zlewniach średniej wielkości, a za taką właśnie można uznać zlewnię Parsęty. Przytoczone dane oraz fakt zmniejszania się zakresu zmienności ładunków w profilu podłużnym rzeki wskazują na wzrost incydentalnej produktywności zlewni w górę rzeki.

Obserwacje wielu badaczy (Hjorth 1972; Gregory, Walling 1973; Froehlich 1975, 1982; Calles 1977; Finlayson 1978; Grimshaw, Lewin 1980; Walling, Webb 1981a, b; Richards 1982, Tanaka i in. 1983) dowodzą generalnego wzrostu koncentracji materiału zawieszonego wraz ze wzrostem wielkości przepływu wody. Zależność ta najczęściej opisywana jest dodatnim związkiem funkcji potęgowej, dla której wykładnik waha się zwykle w granicach od 1 do 2 (Gregory, Walling 1973; Wolman 1977; Walling, Webb 1981a, 1982). Sprawdzono te związki dla 3 odcinków Parsęty (ryc. 13b). Okazało się, że zależności te są dodatnie, lecz tylko dla odcinka w Krosinie wykładnik wynosi 1,32, natomiast dla pozostałych odcinków – wykładniki są mniejsze od 1. Przyczyną zaniżenia wykładników były dwa pomiary (7 i 10), w czasie których zarejestrowano najniższe koncentracje. Pomiar 7 był wykonywany w fazie opadania przepływu wody po wezbraniu roztopowym, jednym z największych w okresie badań, natomiast pomiar 10 dokonany był po dłuższym okresie ustabilizowanych warunków hydrologicznych w korycie Parsęty. Jeśliby z wykresu C_sQ odrzucić wartości tych dwóch pomiarów, to wówczas nachylenie linii dla odcinków w Dębczynie i Bardach wzrosłoby i miałyby one przebieg równoległy lub zbliżony do przebiegu linii, charakteryzującej odcinek w Krosinie (por. linie przerywane na ryc. 13b). W opinii D. E. Wallinga i B. W. Webba (1981a) niskie wartości wykładników świadczą o zlewniach nizinnych zbudowanych ze skał podatnych na procesy denudacyjne. Pogląd ten zatem dobrze koresponduje z warunkami litologicznymi zlewni Parsęty.

Zaniżone wartości koncentracji materiału zawieszonego w czasie pomiarów 7 i 10 w Dębczynie i Bardach są rezultatem wyczerpania źródeł dostawy materiału zawieszonego. Fakt wyczerpania materiału zawieszonego w korycie rzecznoym z upływem czasu jest związany z efektem histereicznym relacji koncentracja – przepływ (Gregory, Walling 1973; Finlayson 1978; Grimshaw, Lewin 1980; Froehlich 1982; Walling, Webb 1982; Tanaka i in. 1983; Webb, Walling 1984). Histereza tej zależności i związane z nią wyczerpywanie dostawy materiału zawieszonego może być rozważane także w kontekście skali czasowej wyrażonej zmiennością sezonową okresu letniego i zimowego (Walling, Webb 1981a, 1982). Zaobserwowano bowiem, że wartości koncentracji materiału zawieszonego Parsęty są nieco większe w półroczu letnim niż zimowym. Jest to związane z typem zasilania rzeki, głównie przez gwałtowne ulewy. Sytuacje takie były obserwowane w czasie pomiarów 1 i 9.

Dotychczasowe badania rozkładu koncentracji w przekroju poprzecznym koryta podkreślają jego nierównomierność (Brański 1968a, Church 1967,

Froehlich 1975, 1982, Jasiewicz 1973). Podobne sugestie w tej kwestii przynoszą prace B. Fal (1965), B. Nilssona (1971) i K. S. Richardsa (1982). W celu ustosunkowania się do tego zagadnienia, w badaniach koryta Parsęty zastosowano wielopunktowy pobór próbek wody w przekroju poprzecznym. Na podstawie analizy rozkładu koncentracji materiału zawieszonego w 84 skontrolowanych przekrojach, można wnosić o potwierdzeniu istniejącego poglądu o nieregularnym rozkładzie koncentracji (ryc. 14) tak w pionie (głębokość), jak i w poziomie (szerokość), niezależnie od stanów wody, fazy i wielkości przepływu wody, kształtu jak też wielkości przekroju poprzecznego koryta. Pomimo tych stwierdzeń, zauważono trzy specyficzne sytuacje, w których może występować podwyższona koncentracja materiału zawieszonego w strefach brzegowych koryta:



Ryc. 14. Rozkład koncentracji materiału zawieszonego C_s [g m^{-3}] na przekroju poprzecznym 3 koryta Parsęty w Bardach (1979.07.29)

Fig. 14 Distribution of the suspended material concentration C_s [g m^{-3}] at the cross-section 3 of the Parsęta River channel at Bardy on July 29, 1979

1) występowanie brzegowej roślinności wodnej, która stawia opory w sypływie wody (Rachocki 1978; Shen 1979; Witt 1983; Hickin 1984), powoduje wytrącanie materiału zawieszonego w strefie jej występowania; ponieważ dostawa tego materiału z centralnych partii koryta przewyższa tempo jego depozycji, która musi mieć zapewnione spokojne warunki, stąd w miejscach zarośniętych obserwowany jest wzrost koncentracji (ryc. 14, brzeg lewy);

2) po okresie niskich i/lub ustabilizowanych przepływów, w czasie podnoszenia stanów wody, zalewane brzegi bez roślinności dostarczają do koryta materiał (zresztą nie tylko zawieszony), który w okresie poprzedzającym wzrost stanów wody ulegał transformacji subaerycznej – przygotowaniu do transportu fluwialnego przez, najogólniej ujmując, procesy wietrzeniowe i ruchy masowe (Zwoliński 1986e); o wzmożonych procesach erozji bocznej na brzegach nieporośniętych donoszą także K. Klimek (1983) i E. J. Hickin (1984); powyższy mechanizm generowania podwyższonej koncentracji materiału zawieszonego w strefie brzegowej koryta jest niezależny od rodzaju materiału brzegowego (spójnego lub niespójnego), a jedynie obserwuje się różne natężenie tego zjawiska;

3) przy omawianiu charakteru spływu wody oraz prędkości przepływu wskazano na szczególną rolę prądów powrotnych; w obrębie stref takich przepływów rejestrowano podwyższone koncentracje materiału zawieszonoego (ryc. 14, brzeg prawy); na fakt wzbogacania prądów wstecznych materiałem zawieszonym zwracają również uwagę G. Taylor i K. D. Woodyer (1978), K. D. Woodyer, G. Taylor i K. A. W. Crook (1979) oraz K.S. Richards (1982); zjawisko to zachodzi szczególnie na zakolach o małych stosunkach krzywizny w czasie podwyższonych stanów wody, a efektem morfologicznym jest formowanie łachy wstecznej.

ŁADUNEK MATERIAŁU WLECZONEGO

Na materiał wleczony w korycie rzeczonym składają się rozmywane osady podłoża, aluwia korytowe, materiał brzegowy, materiał wleczony dostarczany przez dopływy oraz w mniejszej mierze powierzchniowe osady pozakorytowe (Froehlich 1982, Richards 1982). Źródła dostawy materiału wlezonego wskazują na powiązania tego materiału z procesami erozyjnymi w korycie rzeczonym oraz procesami denudacji mechanicznej na obszarze zlewni. Określenie ilości materiału wlezonego jest jednym z trudniejszych zadań geomorfologii fluwialnej ze względu na złożoność tego typu transportu rzecznoego. W polskiej literaturze geomorfologicznej badania z tego zakresu nie są przedstawiane w sposób, który zadowalałby nawet samych autorów tych opracowań (por. Froehlich 1982). Stan badań intensywności wleczenia ukazują znacznie lepiej prace hydrologiczne i hydrotechniczne.

Ze względu na brak możliwości wykonania bezpośrednich pomiarów natężenia transportu wlezonego w korycie Parsęty zdecydowano się na wyselekcjonowanie wzoru, który pozwoliłby oszacować wielkość tego transportu. Przegląd bogatej literatury skłonił do wyboru formuły szwajcarskiej (ETH) podanej przez E. Meyer-Petera i R. Müllera (1948). Formuła ta jest uważana za najlepiej uzasadnioną teoretycznie (Chien 1954; Scheidegger 1970; Graf 1971; Bogardi 1974) i doświadczalnie (Graf 1971; Dąbkowski 1972; Yalin 1977; Dąbkowski, Skibiński, Żbikowski 1982). Prostota koncepcyjna i stosunkowa łatwość zastosowania tej empirycznej formuły (Richards 1982) przyczyniła się do jej praktycznego sprawdzenia na wielu rzekach środkowej Europy (Graf 1971; Yalin 1977; Sibiga 1980), w tej liczbie również na polskich rzekach nizinnych (Gładki, Myczka 1968; Dąbkowski 1972; Jasiewicz 1974; Skibiński 1976; Manthey, Gilewski 1980; Sibiga 1980; Manthey 1981; Przedwojski, Tschuschke 1982).

Ogólna postać zależności E. Meyer-Petera i R. Müllera (1948) wyrażona jest wzorem:

$$\gamma_w \cdot \frac{Q_{D_x}}{Q} \cdot \left[\frac{k_s}{k_r} \right]^{3/2} \cdot D_x \cdot S = A \cdot \gamma_s \cdot d_m + B \cdot \left[\frac{\gamma_w}{g} \right]^{1/3} \cdot q_b^{2/3}, \quad (11)$$

gdzie q_b – ciężar materiału wlezonego wzdłuż jednostki szerokości koryta

i w jednostce czasu zmniejszony o wielkość wyporu (krócej: ciężar mierzony pod wodą) [$\text{Ns}^{-1}\text{m}^{-1}$] oraz $\gamma_s = \gamma_r - \gamma_w$. Aby poznać ciężar materiału w stanie suchym, należy dokonać przeliczenia (Dąbkowski, Skibiński, Żbikowski 1982):

$$q_b = \gamma_r (g (\gamma_r - \gamma_w))^{-1} q_b, \quad [\text{kgs}^{-1}\text{m}^{-1}]. \quad (12)$$

Wzór (11) E. Meyer-Petera i R. Müllera (1948) został skonstruowany według badań w laboratorium eksperymentalnym, stąd za konieczne uznano przystosowanie jego postaci do warunków badanej rzeki. Szczegółowy tryb modyfikacji przedstawiono odrębnie (Zwoliński 1985b). Ostatecznie, formułę Meyer-Petera, Müllera można przedstawić w prostszej postaci, gotowej do wyliczenia ładunku materiału wlezonego w przekroju poprzecznym koryta, L_b , w kgs^{-1} :

$$L_b = W_E X (YV^{1.5} (d_{90}S)^{0.25} - AZd_{35})^{1.5}, \quad (13)$$

przy czym: $X = 2080 (20397,832 - \gamma_w)^{-1}$,

$$Y = 0,296 \varrho_w^{2/3},$$

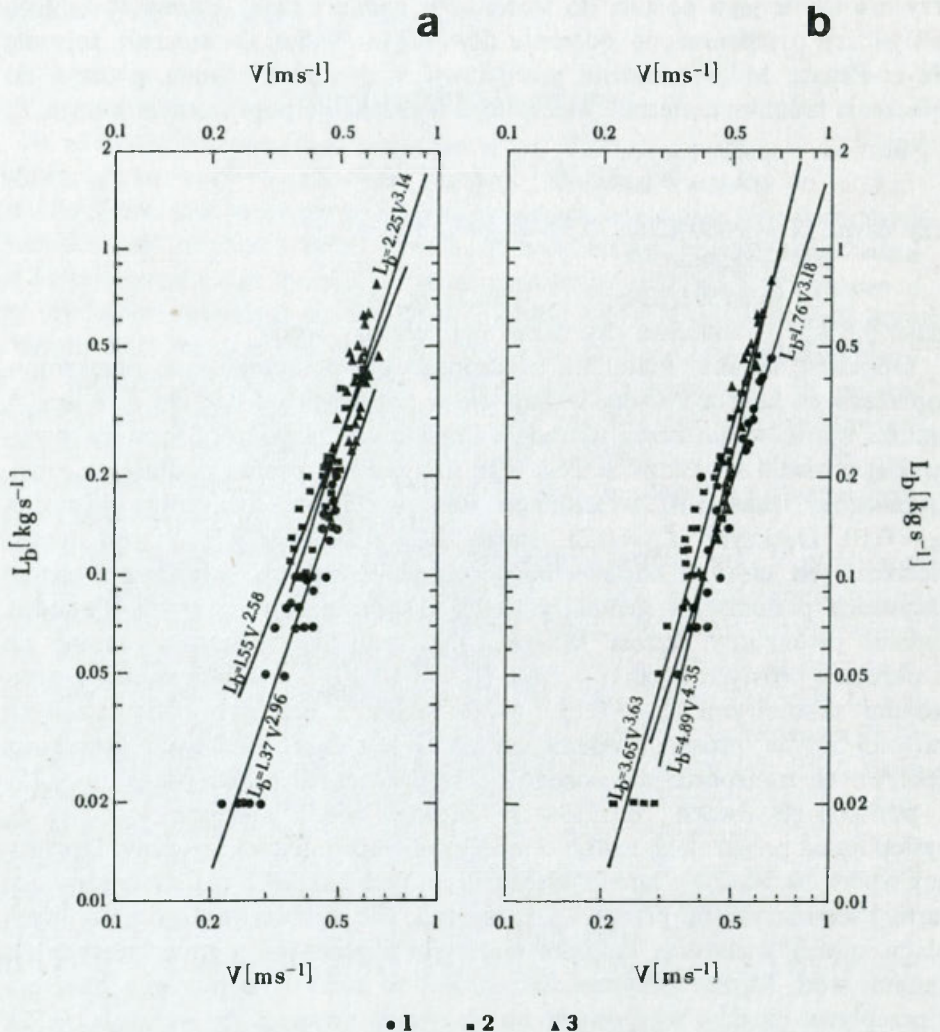
$$Z = 81591,328 \varrho_w^{-1/3} - 39,227 \varrho_w^{2/3},$$

gdzie: γ_w , ϱ_w – właściwe dla danej temperatury wody.

Obliczone ładunki materiału wlezonego dla poszczególnych przekrojów poprzecznych koryta Parsęty wahają się w granicach od 0,02 do 0,78 kgs^{-1} . Analiza wyników natężenia wleczenia uzyskanych za pomocą formuły szwajcarskiej pozwala stwierdzić wzrost tego natężenia w profilu podłużnym rzeki. Zwiększenie transportu wlezonego jest przeciętnie dwukrotne (Krosino $\bar{L}_b = 0,10$, Dębczyno $\bar{L}_b = 0,21$, Bardy $\bar{L}_b = 0,39$ [kgs^{-1}]). Wzrost tempa wleczenia jest efektem odpowiedniego zmniejszania lub zwiększania niemal wszystkich parametrów geometrycznych i hydraulicznych koryta. Ponadto, również dwukrotny wzrost ładunku materiału wlezonego występuje na przekrojach prostych odcinków rzeki ($\bar{L}_b = 0,31$ kgs^{-1}) w porównaniu z przekrojami zakolowymi ($\bar{L}_b = 0,18$ kgs^{-1}). Jedną z przyczyn podwyższonych wartości L_b na prostych odcinkach rzeki jest fakt zbliżonych szerokości efektywnych transportu wlezonego do szerokości całego koryta ($\bar{E}_w = 0,75$). Z pozostałych dwóch rodzajów przekrojów nieco mniejsze wartości L_b występują na przekrojach zakoli o mniejszych stosunkach krzywizny. Decydujący wpływ na wielkość tempa wleczenia na tych zakolach ma strefa separacji nurtu i stowarzyszone przepływy powrotne. Nie zaobserwowano jednolitych relacji między wielkością ładunku materiału wlezonego a zmieniającymi się stanami wód. Można przypuszczać, iż jest to efekt występowania histerezy w przepływie osadów wleczonych, na co zwraca uwagę K. S. Richards (1982).

Analiza korelacji wielokrotnej wszystkich podstawowych i suplementarnych parametrów geometrii hydraulicznej wykazała, że ładunek materiału wlezonego jest zasadniczo skorelowany tylko z jednym parametrem, a mianowicie ze średnią prędkością przepływu (por. ryc. 19). Współczynniki korelacji dla poszczególnych przekrojów koryta Parsęty (zróżnicowanie przestrzenne) wahają się od 0,88 do 0,99 ($\bar{r} = 0,93$) na poziomie $\alpha = 0,01$. Natomiast dla

kolejnych przeprowadzonych pomiarów (zróznicowanie czasowe) współczynniki korelacji mieszczą się w podobnym przedziale od 0,88 do 0,97 ($\bar{r} = 0,94$) przy poziomie istotności jak wyżej. Prześlędzono zatem zależności wielkości ładunku materiału wlezonego od średniej prędkości przepływu wody w odniesieniu do odcinków obserwacyjnych i różnych kształtów przekrojów (ryc. 15). Wysoka istotność i wartości współczynników korelacji tych zależności przeświadcza, że zmiany średniej prędkości przepływu dobrze objaśniają



Ryc. 15. Ładunek materiału wlezonego L_b jako funkcja średniej prędkości przepływu V w korycie Parsęty

a – dla odcinków obserwacyjnych: 1 – Krosino, 2 – Dębczyno, 3 – Bardy; b – dla różnych kształtów przekrojów poprzecznych: 1 – zakola o większych stosunkach krzywizny, 2 – zakola o mniejszych stosunkach krzywizny, 3 – proste odcinki rzeki

Fig. 15 The bed load L_b as a function of the average flow velocity V in the Parsęta River channel a – for study reaches: 1 – Krosino, 2 – Dębczyno, 3 – Bardy; b – for various cross-section shapes: 1 – bends with a higher curvature ratio, 2 – bends with a lower curvature ratio, 3 – straight reaches of the river

zmiany ładunku materiału wlezonego. Równie wysokie współczynniki korelacji dla tych zależności uzyskali także B. Przedwojski i W. Tschuschke (1982), którzy 13 wzorami empirycznymi obliczyli ładunek materiału wlezonego.

B. R. Colby (1964) na podstawie własnych badań oraz prac innych autorów stwierdza, że wykładnik funkcji potęgowej opisywanych zależności wynosi w przybliżeniu 3. Podobne wartości wykładników uzyskano dla Parsęty. Obliczone wykładniki oznaczają większą zmienność ładunku materiału wlezonego w porównaniu ze stosunkowo mniejszą zmiennością średniej prędkości przepływu. Zawyżona wartość wykładnika (4,35) w funkcji dla przekrojów zlokalizowanych na prostych odcinkach rzeki jest rezultatem powszechnego transportu wlezonego na prawie całej szerokości koryta. Potwierdza to też wyższe ładunki materiału wlezonego na tym typie przekrojów.

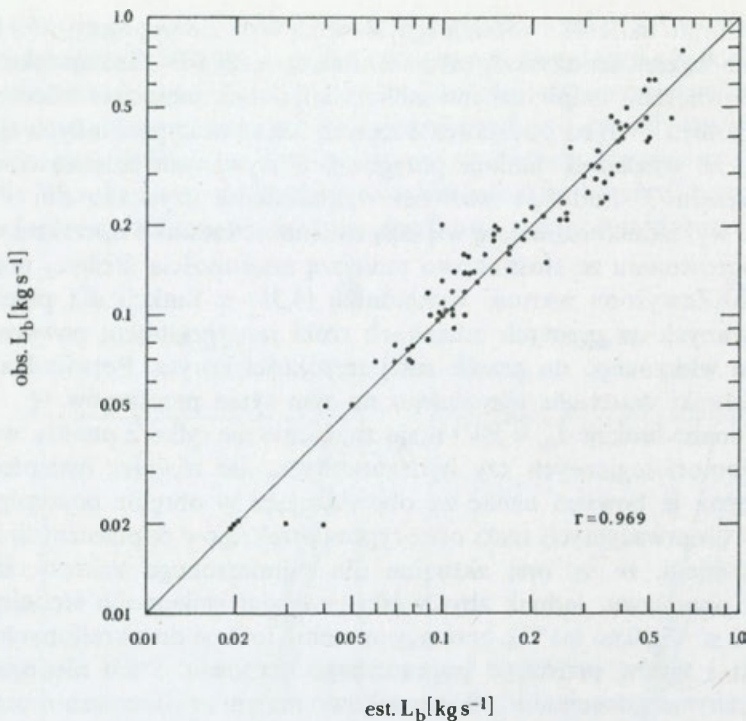
Otrzymane funkcje $L_b = f(V)$ mają znaczenie nie tylko z punktu widzenia badań geomorfologicznych czy hydraulicznych, ale również hydrotechnicznych. Można je bowiem uznać za obowiązujące w obrębie poszczególnych odcinków obserwacyjnych rzeki oraz typów przekrojów poprzecznych koryta, z zastrzeżeniem, że są one aktualne dla pomierzonego zakresu średnich prędkości przepływu. Jednak zbyt wąski przedział zmienności średniej prędkości ($0,22 \leq V \leq 0,66 \text{ ms}^{-1}$), oraz ograniczenie funkcji do określonych odcinków rzeki i typów przekroju poprzecznego stanowią o ich niedogodności w praktycznym zastosowaniu. O stosunkowo małym zróżnicowaniu prędkości w odniesieniu do tempa transportu wlezonego donosi wielu autorów, m.in. B. R. Colby (1964), L. B. Leopold i W. W. Emmet (1977), E. D. Andrews (1979), B. Przedwojski i W. Tschuschke (1982). W celu znalezienia w miarę uniwersalnej formuły tempa transportu materiału wlezonego w korycie Parsęty przebadano zależność ładunku materiału wlezonego od podstawowych i pozostałych suplementarnych parametrów geometrii hydraulicznej, oprócz spadku. Zweryfikowano zatem następującą funkcję: $L_b \approx f(Q, W, D, V, P, d_{50}, L_d, L_s, Q_t)$. Zależność tę poddano analizie regresji wielokrotnej z eliminacją zmiennych dla wszystkich 84 skontrolowanych przekrojów poprzecznych koryta Parsęty. Okazało się, że optymalne dopasowanie można uzyskać z funkcji:

$$\ln L_b = 0,085 + 3,047 \ln Q - 3,013 \ln D - 2,746 \ln P, \quad (14)$$

dla $r = 0,968$ i $R = 93,6$. Obliczone wzorem (14) ładunki materiału wlezonego porównano z ładunkami obserwowanymi (obliczonymi zmodyfikowaną formułą szwajcarską (13) – ryc. 16). Z diagramu wynika duża zgodność ładunków estymowanych z obserwowanymi. Oznacza to, że otrzymana funkcja może być stosowana dla dowolnego przekroju poprzecznego koryta Parsęty, spełniającego następujące warunki:

$$\begin{aligned} 2,89 &\leq Q \leq 47,82 \text{ [m}^3\text{s}^{-1}\text{]}, \\ 0,62 &\leq D \leq 2,36 \text{ [m]}, \\ 10,52 &\leq P \leq 37,62 \text{ [m]}, \end{aligned}$$

mając szersze zastosowanie praktyczne.



Ryc. 16. Obserwowane (obs. L_b – równanie (13)) i estymowane (est. L_b – równanie (14)) ładunki materiału wlezonego w korycie Parsęty

Fig. 16 Observed (obs. L_b – equation [13]) and estimated (est. L_b – equation [14]) bed loads in the Parsęta River channel

Należy zwrócić uwagę, że w świetle funkcji (14) ładunek materiału wlezonego zależy od przepływu, średniej głębokości i obwodu zwilżonego koryta. Przepływ kryje w sobie informacje, jakie niesie średnia prędkość przepływu. Związki ładunku materiału wlezonego i średniej prędkości omówiono wcześniej. Parametry morfometryczne, D i P , należy interpretować w kategoriach hydraulicznych. Mianowicie średnia głębokość koryta decyduje o wielkości prędkości ścinającej i naprężeniu stycznym dla danego przekroju poprzecznego koryta¹⁰. Te dwa parametry hydrauliczne określają warunki do wyruszenia i włączenia ziarn do transportu wlezonego. Natomiast obwód zwilżony jest ściśle powiązany z szerokością koryta – a więc i szerokością efektywną transportu wlezonego – oraz stanowi pośrednio o oporności dna i brzegów koryta w stosunku do przepływającej wody i transportowanych osadów. Omawiana funkcja zatem jest nie tylko istotna statystycznie, ale również uzasadniona hydraulicznie.

¹⁰ Spadek bowiem dla danego przekroju poprzecznego jest wówczas wartością stałą.

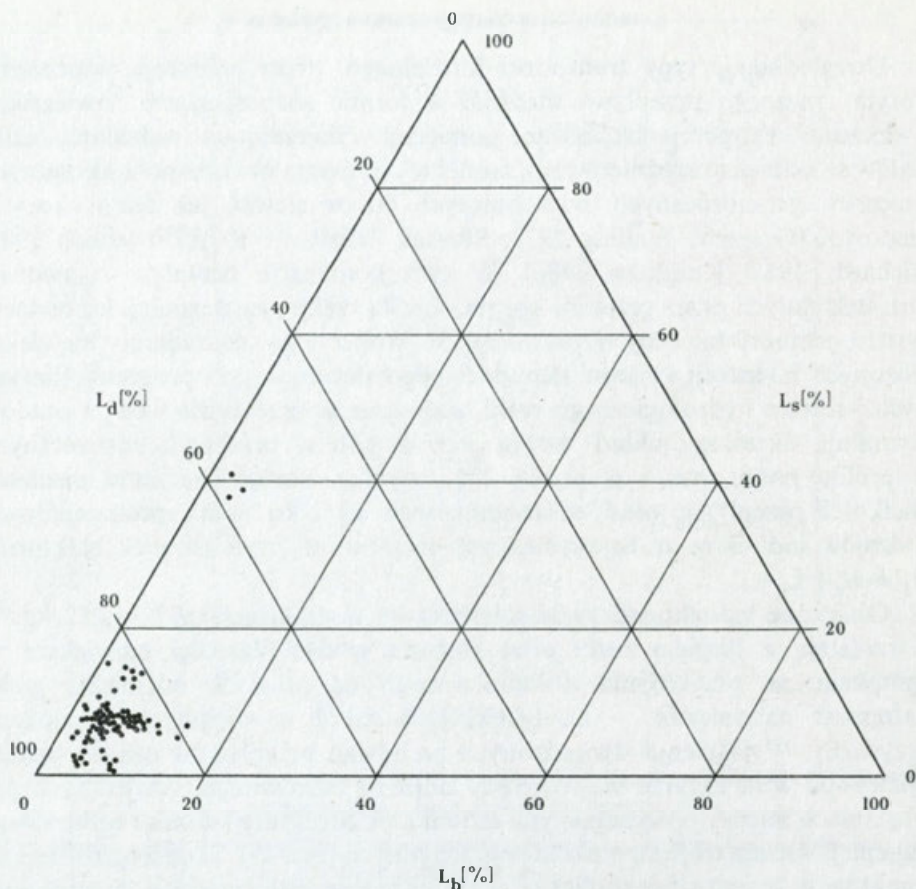
Uwzględniając typy transportu fluwialnego, przez przekroje poprzeczne koryta rzeczne przepływa materiał w formie rozpuszczonej, zawieszanej i wlezionej. Proporcje zachodzące pomiędzy wymienionymi rodzajami materiałów są odbiciem zróżnicowania źródeł ich zasilania oraz zespołu aktualnych procesów geomorficznych, występujących tak w zlewni, jak też w korycie rzeczonym (Gregory, Walling 1973; Simons, Ward, Li 1979; Froehlich 1982; Richards 1982; Knighton 1984). W tym kontekście przepływ roztworów i cząstek stałych przez przekrój koryta określa rzekę i jej zlewnię jako otwarty system geomorfologiczny (Howard 1965). Wobec tego, nakładające się efekty złożonych interakcji systemu denudacyjnego zlewni, w tym procesów fluwialnych i reżimu hydrologicznego rzeki, zespolone w przepływie wody i osadów stymulują określony układ koryta, jego kształt w przekroju poprzecznym, w profilu podłużnym i w planie. Stąd wynika istotne znaczenie poznania wielkości przepływu osadów, rozumianego tu jako suma poszczególnych rodzajów ładunków transportowanych materiałów, czyli ładunek całkowity:

$$Q_L = L_d + L_s + L_b.$$

Obliczone ładunki całkowite mieszczą się w granicach $0,92 - 12,82 \text{ kgs}^{-1}$ i wzrastają z biegiem rzeki oraz stanami wody. Wartości największe są spotykane na przekrojach zlokalizowanych na prostych odcinkach rzeki, natomiast najmniejsze – na przekrojach zakoli o większych stosunkach krzywizny. Wyjaśnienia stwierdzonych zachowań przepływów osadów należy upatrywać w strukturze wewnętrznej ładunku całkowitego, wzajemnych powiązaniach między poszczególnymi ładunkami. Strukturę ładunku całkowitego najlepiej ukazuje trójkątny układ współrzędnych (ryc. 17). Skoncentrowanie 81 punktów w lewym wierzchołku trójkąta wskazuje jednoznacznie na zdominowanie ładunku całkowitego przez ładunek materiału rozpuszczonego. Dolną wartością progową ładunku materiału rozpuszczonego jest jego 80% udział w ładunku całkowitym. Trzy odosobnione punkty pochodzą z 9 pomiaru wykonanego w czasie kulminacji wezbrania opadowego w Krosinie. Pozycja tych punktów jest efektem wysokich wartości ładunku zawieszanego, spowodowanego intensywnymi procesami splukiwania oraz zaniżonej wartości ładunku rozpuszczonego na skutek rozcieńczenia wód rzecznych słabo zmineralizowanymi wodami deszczowymi.

Badania struktury przepływu całkowitego osadów są rzadko ogłaszane w literaturze ze względu na spore trudności wykonania pomiarów poszczególnych typów transportu fluwialnego. Ponadto w zależności od strefy morfoklimatycznej udział poszczególnych typów transportu jest zróżnicowany (Gregory, Walling 1973). Pomiaru wykonane na Parsęcie wskazują na następującą zmienność udziału ładunków (bez pomiaru 9 w Krosinie):

$$\begin{aligned} 78,93 &\leq L_d \leq 94,82 \text{ [%]}, \\ 0,98 &\leq L_s \leq 14,59 \text{ [%]}, \\ 0,73 &\leq L_b \leq 14,72 \text{ [%]}. \end{aligned}$$



Ryc. 17. Struktura wewnętrzna ładunku całkowitego transportowanych materiałów (rozpuszczonego L_d , zawieszonego L_s i wleczonego L_b) w korycie Parsęty

Fig. 17 Internal structure of the total transported material load (dissolved L_d , suspended L_s and bed L_b) in the Parsęta River channel

Z zestawienia poszczególnych ładunków na kolejnych przekrojach poprzecznych i odcinkach obserwacyjnych oraz dla całej rzeki wynika spadek udziału ładunku zawieszonego, jak też wzrost ładunku rozpuszczonego wzdłuż biegu rzeki przy mniej więcej jednakowym poziomie ładunku wleczonego (tab. 3). Ogólny model udziałów poszczególnych rodzajów transportu fluwialnego dla całej Parsęty przyjmuje postać $L_d:L_s:L_b = 86,7:8,0:5,3$ [%], natomiast przy założeniu $L_s = 1$ wygląda on następująco: $10,75:1:0,66$. Analizując 84 stosunki udziałów transportu stwierdzono, że przy stanach wysokich wzrasta udział transportu zawieszonego, maleje zaś udział transportu wleczonego, natomiast przy stanach niskich tendencja jest odwrotna. Nie zaobserwowano charakterystycznych zmian udziału transportu rozpuszczonego w zależności od stanów wody, aczkolwiek należy potwierdzić mniejszy udział ładunku rozpuszczonego przy wysokich stanach wody. Przytoczone cechy ładunku całkowitego po-

Tabela 3

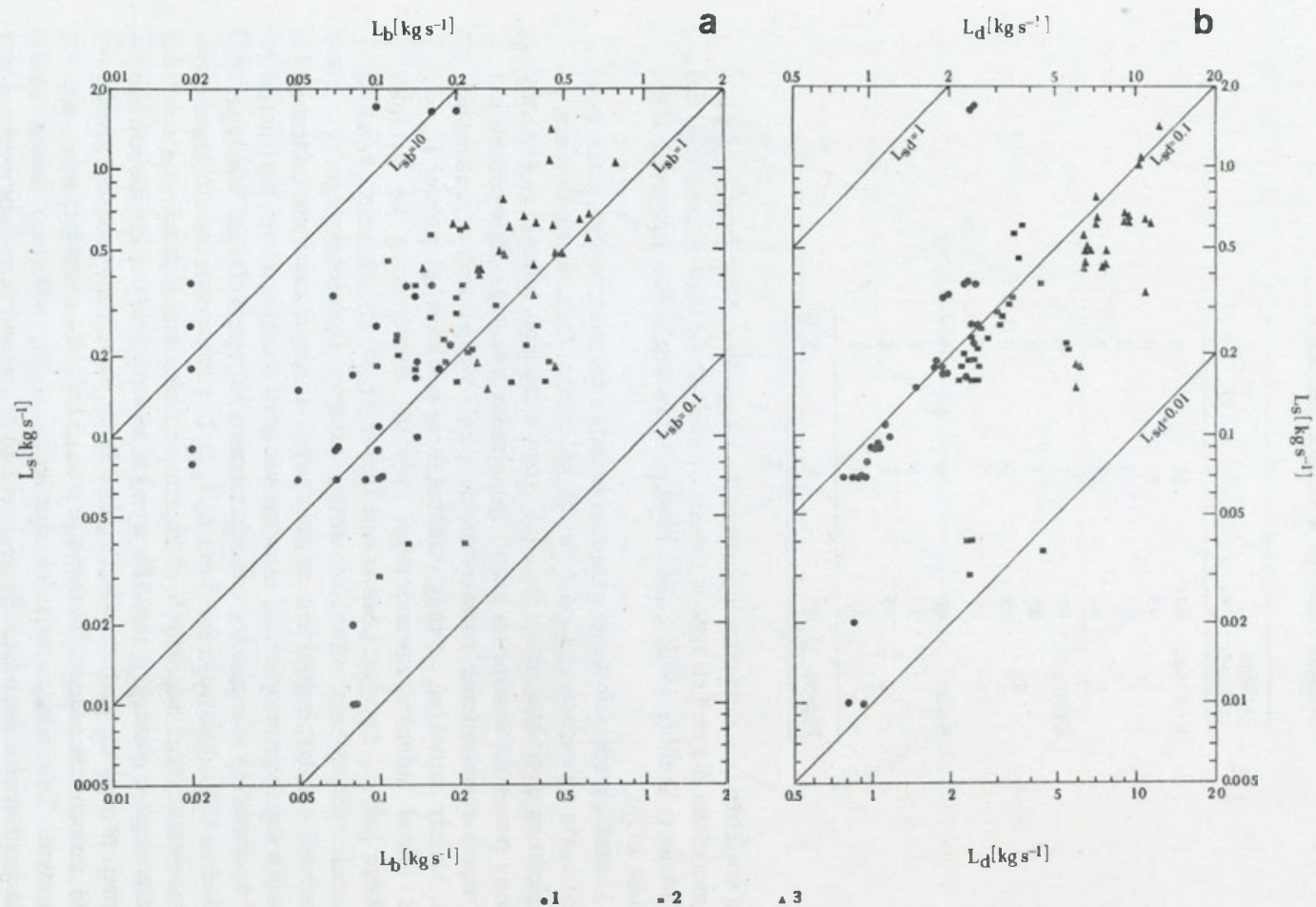
Modele transportu fluwialnego Parsęty w świetle procentowego udziału poszczególnych ładunków materiału rzecznoego w ładunku całkowitym

Odcinek Przekrój	L_d	:	L_s	:	L_b
Krosino	84	:	11	:	5
1	83	:	11	:	6
2	85	:	12	:	3
3	82	:	11	:	7
Dębczyno	87	:	7	:	6
1	88	:	7	:	5
2	85	:	6	:	9
3	89	:	7	:	4
Bardy	90	:	6	:	5
1	87	:	6	:	7
2	90	:	6	:	4
3	91	:	6	:	3
Parsęta	87	:	8	:	5

zwalają stwierdzić, że model transportu całkowitego Parsęty dobrze koresponduje z modelami dla innych rzek w umiarkowanej strefie klimatycznej (np. Fal 1965; Gregory, Walling 1973; Calles 1980; a także częściowo Jaworska 1968; Froehlich 1975).

W kontekście zdecydowanej przewagi ładunku rozpuszczonego, interesująco przedstawia się zachowanie pozostałych ładunków. Okazuje się bowiem, że bez względu na charakter zmian ładunku rozpuszczonego, ładunki zawieszony i włączony pozostają w swoistej proporcjonalności (ryc. 18a). Jej wyrazem jest mniej więcej równomierne rozmieszczenie punktów po obu stronach linii $L_{sb} = 1$. Należy zauważyć, że przy oddalaniu się punktów od prostej $L_{sb} = 1$ wzrasta udział ładunku zawieszony kosztem zmniejszania się ładunku włączonego (gdy $L_s/L_b > 1$), i odwrotnie (gdy $L_s/L_b < 1$). Oznacza to pewną niezależność tych dwóch ładunków wobec ładunku rozpuszczonego.

Zależność między ładunkiem zawieszonym a rozpuszczonym informuje o ważnej kwestii geomorficznej, a mianowicie o wydajności (efektywności) procesów denudacji chemicznej i mechanicznej. W opinii D. E. Wallinga i B. W. Webba (1981a) wartości stosunku $L_s/L_d > 1$ są stowarzyszone z obszarami zbudowanymi ze skał odpornych chemicznie i niską koncentracją materiału rozpuszczonego w rzece. Z ryciny 18b wynika, że wszystkie punkty ulokowane są poniżej prostej $L_{sd} = 1$ (a więc $L_s/L_d < 1$), a przeciętnie poniżej prostej $L_{sd} = 0,1$, co oznacza ponad 10-krotną przewagę ładunku rozpuszczonego nad zawieszonym. Tak niskie wartości stosunków L_s/L_d wskazują zatem na supremację procesów denudacji chemicznej nad procesami denudacji mechanicznej w zlewni Parsęty. Związane jest to z dużą podatnością podłoża na



Ryc. 18. Zależności między ładunkiem materiału zawieszonego L_s , a ładunkami materiału wlezonego L_b (a) i rozpuszczonego L_d (b) w korycie Parsęty

1 - Krosino, 2 - Debczyno, 3 - Bardy

Fig. 18 Dependencies between the suspended load L_s and the bed load L_b (a) and the dissolved load L_d (b) in the Parsęta River channel

1 - Krosino, 2 - Debczyno, 3 - Bardy

procesy rozpuszczania oraz zdolnościami retencyjnymi zlewni, które wydłużają drogi i czas krążenia wód w zlewni. Pogląd o dominacji procesów denudacji chemicznej na Nizinie Polskiej nie jest poglądem nowym, jeśli się weźmie pod uwagę wcześniejsze spostrzeżenia J. Tricarta (1960) dla umiarkowanej strefy klimatycznej oraz np. wyniki badań M. Jaworskiej (1968) dla Pilicy i Wieprza.

Jak wynika z przedstawionych rozważań, wzrost ładunku całkowitego z biegiem rzeki oraz ze wzrostem stanów wody determinowany jest głównie przez zachowanie identycznych relacji dla ładunku materiału rozpuszczonego. Największe wartości ładunku całkowitego na prostych odcinkach rzeki są efektem podwyższonych ładunków materiału wlezonego na tych przekrojach, albowiem ładunki rozpuszczone i zawieszony nie różnią się pod względem kształtu koryta.

PARAMETRY MUTACYJNE

Grupa parametrów mutacyjnych nie jest objęta nurtem analitycznym opracowania. Stąd w tabeli 4 zamieszczono ekstremalne wartości tych parametrów dla ogólnej orientacji o ich wielkości. Ponadto surogatami literowymi zaznaczono ważniejsze tendencje ich zachowań.

Poza komentarzami tabelarycznymi warto zwrócić uwagę, że liczba Reynoldsa wskazuje na przepływy turbulenty w korycie Parsęty, liczba Frouda – na spokojny spływ wody (ruch podkrytyczny), a naprężenie styczne

Tabela 4

Zakresy zmienności mutacyjnych parametrów geometrii hydraulicznej badanych przekrojów poprzecznych koryta Parsęty

Lp.	Parametr	Formuła	Jednostka	Min	Max	Uwagi
1	A	WD	m^2	7,37 ^a	77,82 ^c	d, f
2	F	WD^{-1}	—	7,25 ^b	36,36 ^a	d, (f), g
3	CF	SWD^{-1}	$\times 10^{-3}$	2,62 ^b	14,91 ^a	e, (g)
4	K_c	$d_{50}S^{-1}N^{-1}$	—	26,29	149,85 ^b	
5	R	AP^{-1}	m	0,57 ^a	2,07 ^b	d, f
6	Re	VRv^{-1}	$\times 10^2$	1 506,47 ^c	10 736,30 ^b	d, f
7	Fr	$V(gD)^{-0,5}$	—	0,05 ^c	0,23 ^a	(g)
8	V_*	$(gRS)^{0,5}$	ms^{-1}	0,05 ^a	0,10 ^{b,c}	(e), f
9	Ω	$\gamma_w RWVS$	Ns^{-1}	14,38 ^(b)	90,38 ^(a)	d, f
10	n	$R^{2/3}S^{1/2}V^{-1}$	$\times 10^{-2}$	2,48 ^a	14,54 ^c	(e), (f)
11	ff	$8gRSV^{-2}$	$\times 10^{-2}$	5,69 ^a	86,62 ^c	e
12	τ	$\gamma_w RS$	Nm^{-2}	2,37 ^a	10,62	e, f
13	Θ	$\tau((\rho_r - \rho_w)gd_{50})^{-1}$	—	0,38	2,69	e, (f)
14	Re_*	$V_*d_{50}v$	—	10,79 ^a	48,32 ^(b)	(d)

Uwaga: indeksy literowe w trzech ostatnich kolumnach oznaczają następujące komentarze geomorficzne: a – dla prostych odcinków rzeki; b – dla zakoli o większych stosunkach krzyżownicy; c – dla zakoli o mniejszych stosunkach krzyżownicy; d – wartości wzrastają z biegiem rzeki; e – wartości maleją z biegiem rzeki; f – wartości wzrastają wraz ze wzrostem przepływu wody; g – wartości maleją wraz ze wzrostem przepływu wody

Wzory według: F – S. A. Schumm (1960); CF – H. Ikeda (1973); K_c – N. I. Makkaveev, S. G. Shataeva, M. N. Mityakova (1967); Ω – R. A. Bagnold (1966); Θ – M. Inokuchi (1982)

– na dolny reżim przepływu. Te cechy hydrauliczne można uznać za charakterystyczne dla nizinnych koryt naturalnych.

Stosunek szerokość/głębokość określa tendencje agradacyjną lub degradacyjną rzek przy stanie pełnokorytowym (Schumm 1960). Ryzykowne byłoby jednak stosowanie takiej interpretacji morfodynamicznej dla poszczególnych przekrojów czy odcinków koryta Parsęty, ponieważ przy przyjętych założeniach metodologicznych opracowania, parametr ten jest ściśle uzależniony od fluktuacji stanów wody.

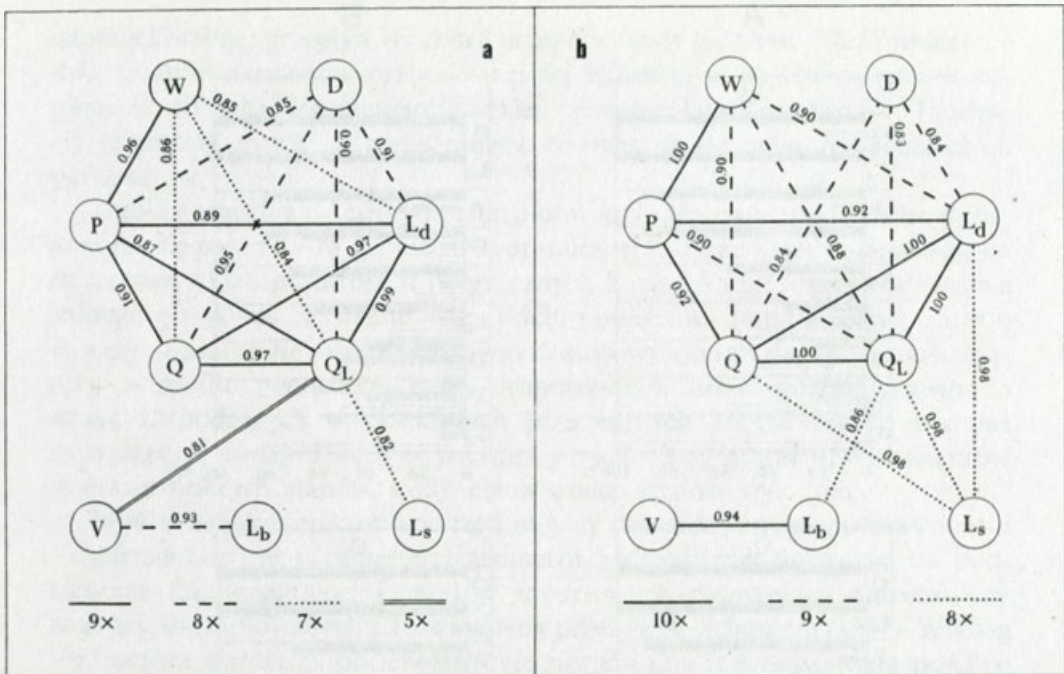
W wielu formułach hydraulicznych promień hydrauliczny bywa zastępowany średnią głębokością koryta przy spełnieniu warunku, że $F > 10$. Stosowanie głębokości powoduje jednak dość istotne błędy w obliczeniach tych parametrów, np. L. Dąbkowski, J. Skibiński i A. Żbikowski (1982) podają błędy do 20% przy obliczaniu prędkości wzorem Chezy dla przekrojów prostokątnych. Dlatego też do obliczeń parametrów używano wartości promienia hydraulicznego.

W uzupełnieniu analizy ładunku materiału wlezonego można dodać, że wartości bezwymiarowego naprężenia stycznego dokumentują duże zróżnicowanie warunków niezbędnych do włączenia ziarn do ruchu tak na poszczególnych przekrojach, jak też w profilu podłużnym rzeki. Natomiast wartości liczby Reynoldsa ziarna, określającej warunki w warstwie przysciennej, wskazują, że na wszystkich przekrojach odbywał się ruch ziarn – przy założeniu początku ruchu zgodnie z przebiegiem krzywej Shieldsa – ponieważ $Re_* > 10$.

EMPIRYCZNE MODELE PARAMETRYCZNE

W przedstawianych badaniach zachowań koryta Parsęty został spełniony warunek (wymiarowe określenie parametrów mierzalnych) dla weryfikacji zaproponowanego systemu proporcjonalnych powiązań parametrów geometrii hydraulicznej (por. ryc. 7). Stało się zatem możliwe zilustrowanie empirycznych modeli powiązań parametrycznych dla poszczególnych przekrojów poprzecznych koryta oraz dla kolejnych pomiarów w profilu podłużnym rzeki. Weryfikację schematu oparto na analizie korelacyjnej parametrów podstawowych i suplementarnych, wykluczając spadek jako parametr zbyt mało zróżnicowany. Otrzymano 9 macierzy korelacyjnych dla przekrojów oraz 10 macierzy – dla pomiarów, gdyż tyle było obiektów badawczych i powtórzeń ich badań. Modele opisano dwoma cechami (ryc. 19): siłą związków, określoną ze średniej arytmetycznej współczynników korelacji pary parametrów, dla których $\alpha \in (0,001; 0,05)$, oraz częstotliwością istotnych związków, oznaczającą liczbę współczynników korelacji pary parametrów, dla których $\alpha \in (0,001; 0,05)$.

Zasadniczych różnic w sieci powiązań parametrycznych między modelami nie ma, pomimo że pierwszy ukazuje powiązania w obrębie przekrojów poprzecznych koryta (ryc. 19a), natomiast drugi – dla chronologicznych pomiarów wzdłuż rzeki (ryc. 19b). W pierwszym modelu zwraca uwagę znacznie słabsze powiązanie średniej prędkości z przepływem osadów. Cechą indywidualizującą model drugi jest bardziej rozbudowana sieć powiązań pomiędzy parametrami opisującymi transport fluwialny. Ponadto, model ten



Ryc. 19. Empiryczne modele powiązań parametrów geometrii hydraulicznej koryta Parsęty w obrębie przekrojów poprzecznych (a) i dla pomiarów w profilu podłużnym (b)

Zróżnicowane linie obrazują częstotliwość istotnych związków korelacyjnych; linie opisano średnią wartością istotnych współczynników korelacji

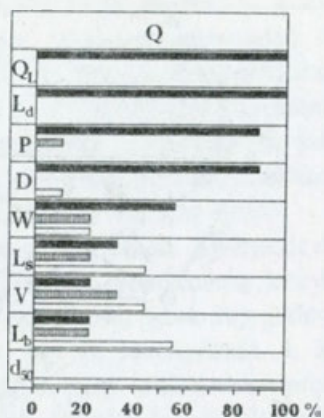
Fig. 19 Empirical models of relations between hydraulic geometry parameters of the Parsęta River channel in the cross-sections (a) and longitudinal profile measurements (b)

The diversified lines represent frequency of significant correlations; the average value of significant correlation coefficients is indicated on the lines

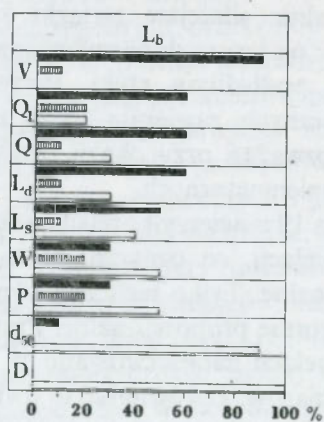
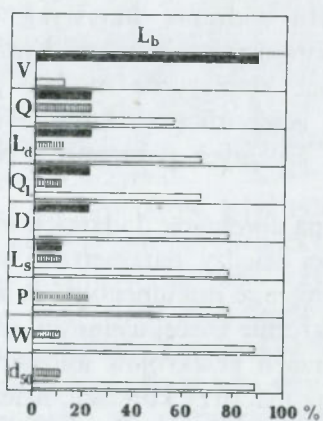
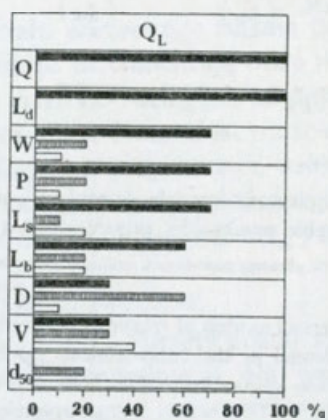
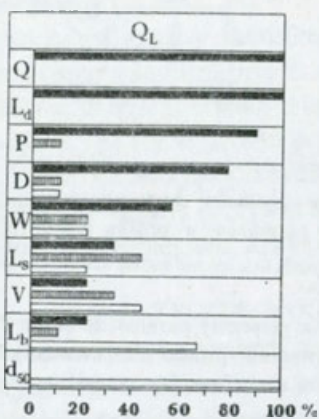
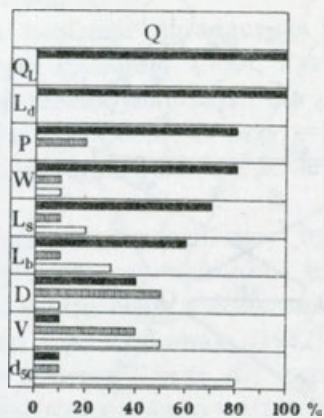
ma generalnie silniejsze związki z punktu widzenia statystyki, co może wskazywać na lepsze dopasowywanie się parametrów geometrii hydraulicznej w profilu podłużnym rzeki. Prezentowane empiryczne modele powiązań parametrycznych zawierają treści natury geomorficznej, które były przedmiotem rozważań przy okazji omawiania kolejnych parametrów podstawowych i suplementarnych.

Analiza 19 macierzy korelacji wskazuje na dominację dodatnich współczynników korelacji, co oznacza, że zależności między parametrami są wprost proporcjonalne. Tylko nieliczne korelacje ujemne dokumentują, że zależności te są odwrotnie proporcjonalne. Prawie 4-krotnie więcej ujemnych współczynników korelacji zaobserwowano w macierzach przekrojów aniżeli w macierzach pomiarów. Porównując te dwie grupy macierzy korelacji, należy stwierdzić zdecydowanie wyższe wartości współczynników korelacji dla pomiarów niż dla przekrojów. Ilustracją tej kwestii może być liczba współczynników $r = 1,00$, którą w pierwszym przypadku zaobserwowano dla 50 związków, a w drugim – tylko dla 4. Parametrem, który najrzadziej bierze udział w istotnych związkach, jest mediana średnicy ziarna, natomiast najczęściej

A



B



$\alpha = \begin{cases} 0.01 & \text{■} \\ 0.05 & \text{▨} \\ >0.05 & \text{□} \end{cases}$

istotnie korelują: przepływ osadów i przepływ wody (por. ryc. 20). Wymienione dwa ostatnie parametry znacznie częściej wchodzi w istotne związki w odniesieniu do kolejnych pomiarów aniżeli poszczególnych przekrojów. Tendencję tę można uznać za przeważającą również w stosunku do pozostałych parametrów.

Ogólny przegląd macierzy korelacji dowodzi jednoznacznie lepszego dopasowania się parametrów geometrii hydraulicznej w czasie pojedynczego pomiaru na wszystkich przekrojach poprzecznych koryta Parsęty aniżeli w obrębie jednego przekroju w czasie wszystkich pomiarów. Innymi słowy, koryto Parsęty odznacza się pierwszorzędym dostosowywaniem do zmian zachodzących w profilu podłużnym rzeki, drugorzędym zaś dostosowywaniem do zmian zachodzących w przekrojach poprzecznych koryta. Należy również zaznaczyć, że dopasowujące się parametry mają więcej istotniejszych związków w czasie niższych stanów wody niż w czasie stanów wyższych.

Studia współczynników korelacji między prezentowanymi podstawowymi i suplementarnymi parametrami geometrii hydraulicznej pozwalają na podniesienie fundamentalnej kwestii w modelowych równaniach metamorfozy rzecznej, sformułowanych i rozwiniętych przez S. A. Schumma (1977). Według tego autora wyrażenia po lewej stronie równań (2–5) przedstawiają zmienne niezależne w przemianach rzek. Zmienne te to przepływ wody – Q oraz ładunek materiału wlezonego – L_b . Analiza współczynników korelacji ujawnia, że ładunek materiału wlezonego wykazuje jednakowoż stosunkowo małą liczbę istotnych związków statystycznych z pozostałymi podstawowymi i suplementarnymi parametrami geometrii hydraulicznej koryta Parsęty (ryc. 20). Załączone diagramy procentowych relacji częstotliwości istotnych związków statystycznych dla przepływu wody – Q , przepływu osadów (całkowity ładunek transportowanych materiałów) – Q_L oraz ładunku materiału wlezonego – L_b z analizowanymi parametrami dowodzą znacznego odchylenia ładunku materiału wlezonego od dwóch pozostałych parametrów zarówno w podejściu analitycznym przekrojów poprzecznych koryta, jak i pomiarów. Właściwe winno być zatem kojarzenie Q z Q_L , a nie Q z L_b , dla współcześnie płynących rzek¹¹ i zaproponowanie zastąpienia parametru schummowskiego

¹¹ Należy jednak podkreślić, że formuła schummowska QL_b pozostaje nadal żywotna w odniesieniu do paleokoryt, według których w głównej mierze została ona zdefiniowana, albowiem wyznaczenie ładunków materiału zawieszzonego, a szczególnie rozpuszczonego w przypadku paleokoryt, jest rzeczywiście trudne, jeśli w ogóle możliwe.

Ryc. 20. Częstotliwości związków korelacyjnych o różnych poziomach istotności α w układzie hierarchicznym parametrów geometrii hydraulicznej w stosunku do przepływu wody Q , przepływu osadów Q_L i ładunku materiału wlezonego L_b , oraz w odniesieniu do przekrojów poprzecznych koryta (A) i pomiarów w profilu podłużnym (B)

Fig. 20 Frequency of correlations of various significance levels α in the hydraulic geometry hierarchy pattern in relation to the water discharge Q , the total load discharge Q_L and the bed load L_b , and in relation to the channel cross-sections (A) and the longitudinal profile measurements (B)

L_b parametrem przepływu osadów Q_L . Oprócz rozważań statystycznych, powyższy pogląd zdają się potwierdzać także wcześniejsze ustalenia natury geomorficznej, m.in. to, że przepływające wody i transportowane ładunki materiałów przez przekrój poprzeczny koryta rzecznego są odbiciem aktualnych zdarzeń i procesów denudacyjnych oraz morfogenetycznych na obszarze całej zlewni.

ZMIANY ALLOMETRYCZNE KORYTA PARSEŃY

GEOMETRIA HYDRAULICZNA A ALLOMETRIA

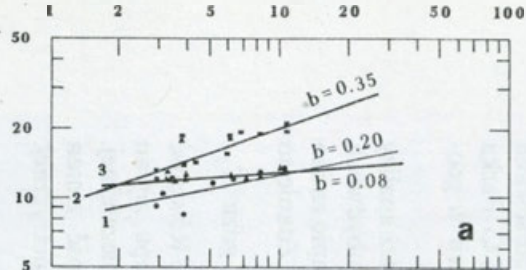
W badaniach geomorfologicznych powszechnym podejściem metodologicznym jest poszukiwanie i wyjaśnianie zależności między dwoma lub wieloma odpowiednio dobranymi, uzasadnionymi i analizowanymi cechami procesów, osadów i/lub form. Jednym z takich podejść jest analiza allometryczna otwartych systemów geomorfologicznych. W kategoriach geomorfologicznych¹² wyraża ona ustosunkowanie się części systemu w porównaniu do zmiany całego systemu lub innej jego części (Bull 1975). Miarami tego ustosunkowania są proste lub złożone równania, w tym funkcja potęgowa o postaci $Y = aX^b$, która w kręgach geomorfologów znalazła liczne zastosowania. Właśnie ta funkcja legła u podstaw m.in. koncepcji geometrii hydraulicznej zaproponowanej przez L. B. Leopolda i T. Maddocka (1953), rozwiniętej później przez L. B. Leopolda, M. G. Wolmana i J. Millera (1964), a używanej i modyfikowanej przez wielu badaczy¹³. Szeroko stosowana koncepcja geometrii hydraulicznej, w opinii W. B. Bulla (1975) i C. C. Parka (1978a), jest jednym z najbardziej obrazowych przykładów allometrii w geomorfologii.

Z punktu widzenia zarówno analizy geometrii hydraulicznej, jak też analizy allometrycznej kluczowe znaczenie ma wykładnik potęgi, czyli b . W obydwóch przypadkach znak i wielkość wykładnika informują o kierunku i tempie zmian zmiennej zależnej Y w stosunku do zmian zmiennej niezależnej X . Zdanie to można zapisać równaniem o następującej postaci: $b = \frac{\ln Y_2 - \ln Y_1}{\ln X_2 - \ln X_1}$, gdzie X_1 , X_2 , Y_1 , i Y_2 – zmienne systemowe z dwóch momentów czasowych. Równość ta, przy założeniu stałej wartości b , wyraża zatem stosunek tempa zmian zmiennej zależnej w odniesieniu do stałego tempa zmian zmiennej niezależnej. Stałość tych dwóch temp, odzwierciedlających pewną regularność zmian zmiennych systemowych, jest głównym założeniem analizy allometrycznej.

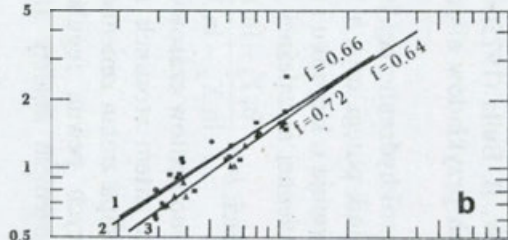
¹² Analiza allometryczna jest adaptowana z dziedziny nauk biologicznych.

¹³ Przegląd prac dotyczących zastosowań geometrii hydraulicznej przedstawiono osobno (Zwoliński 1985b).

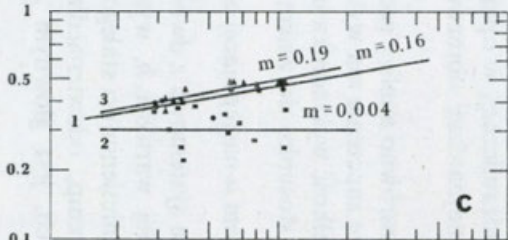
W [m]



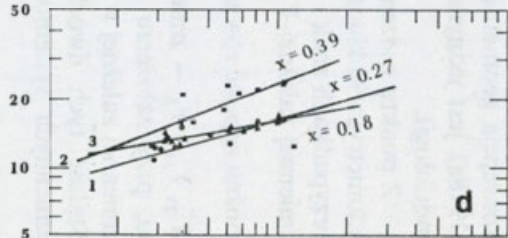
D [m]



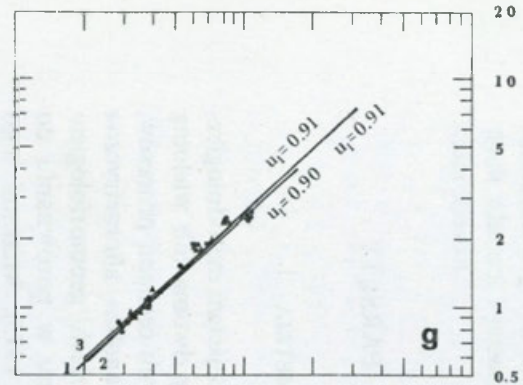
V [m s^{-1}]



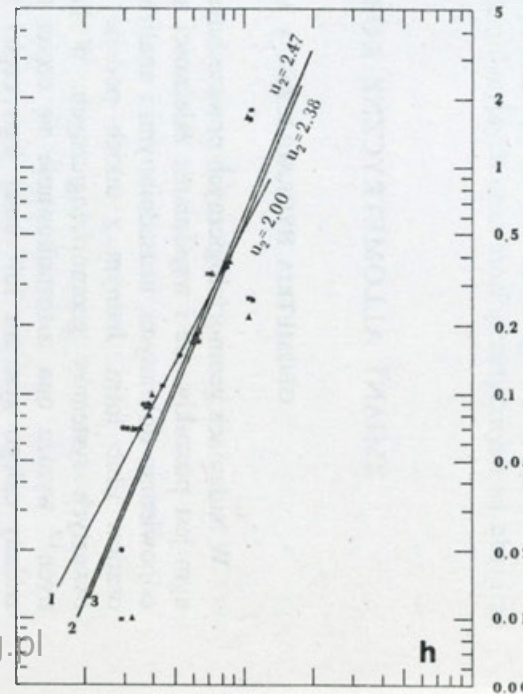
P [m]



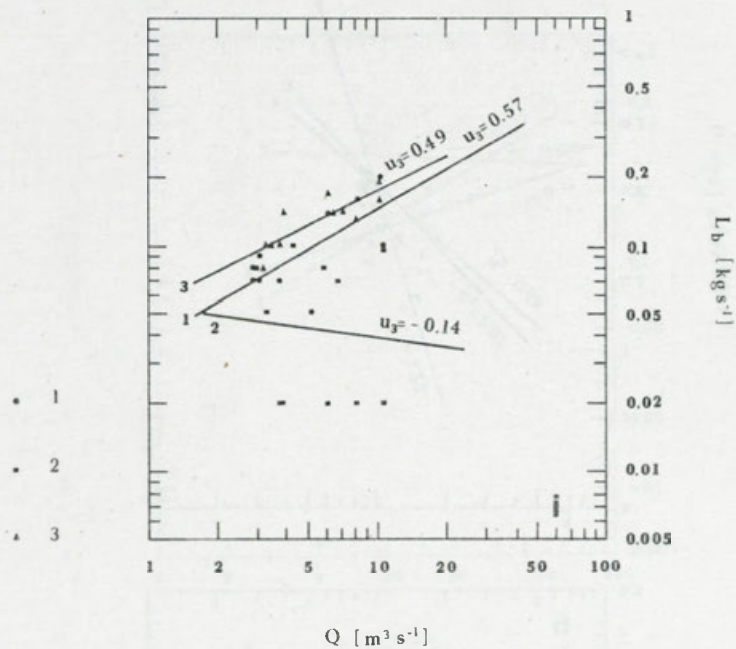
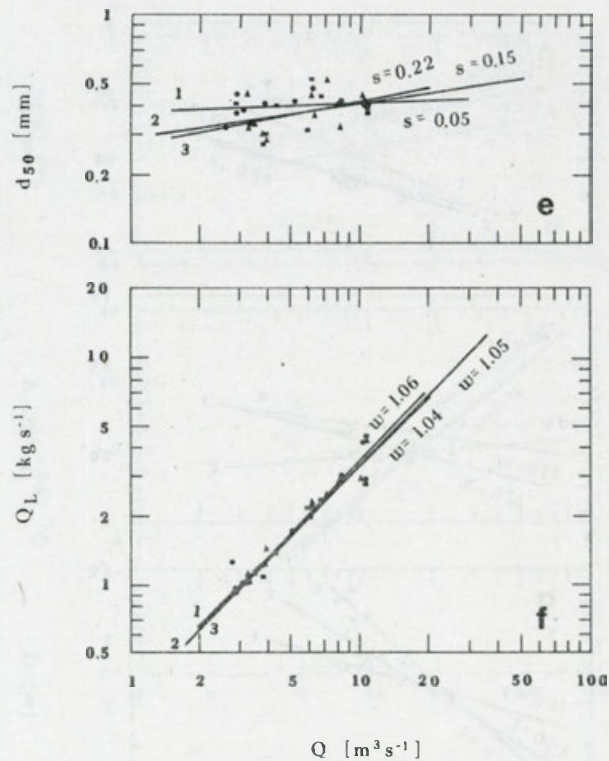
1 2 5 10 20 50 100



L_d [kg s^{-1}]

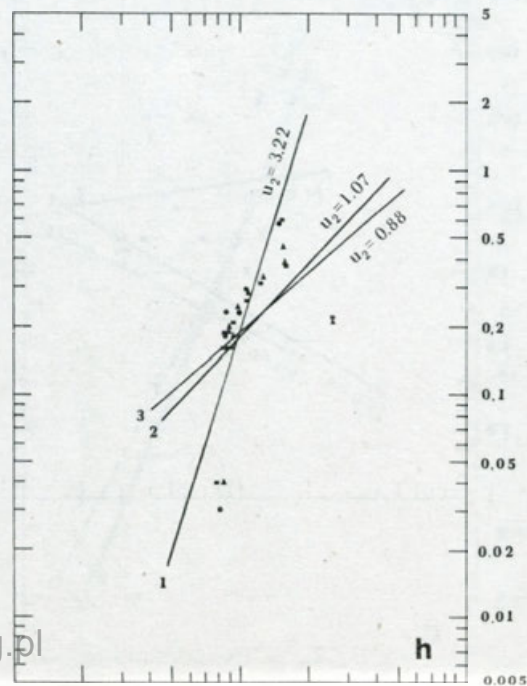
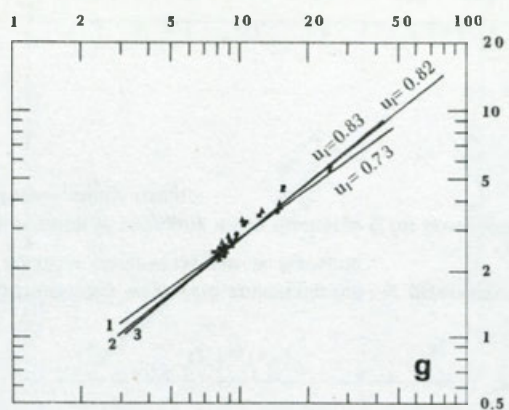
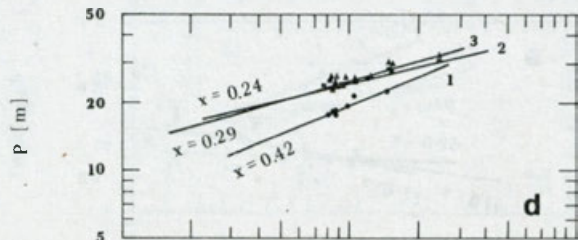
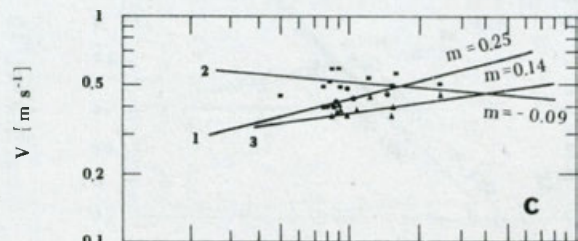
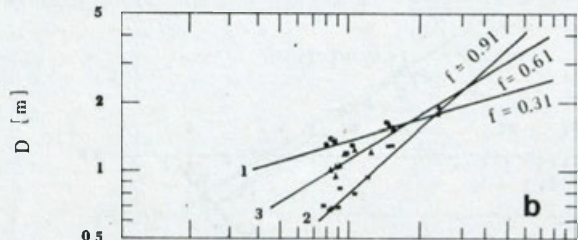
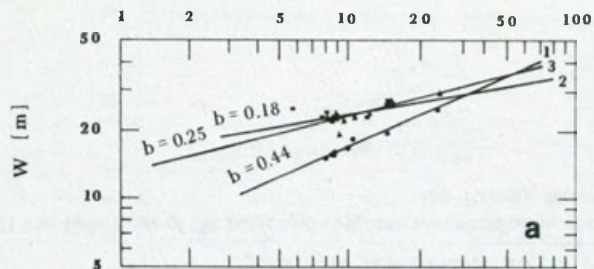


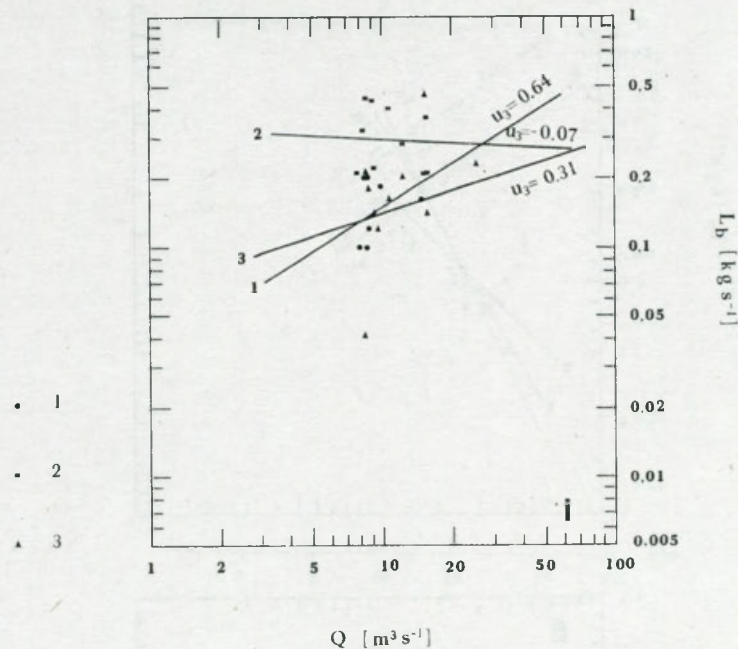
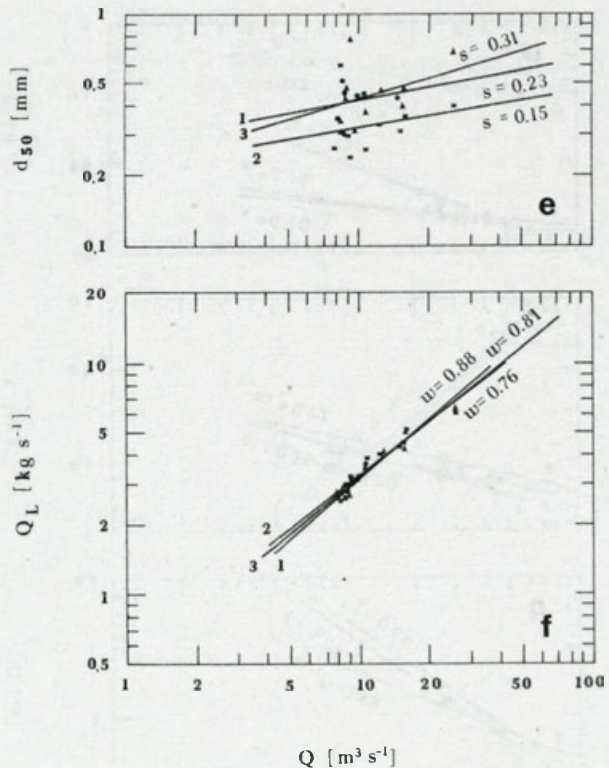
L_s [kg s^{-1}]



Ryc. 21. Zachowanie się podstawowych i suplementarnych parametrów geometrii hydraulicznej względem zmieniających się przepływów wody Q dla przekrojów poprzecznych koryta Parsęty (1, 2, 3) na odcinku obserwacyjnym w Krosinie

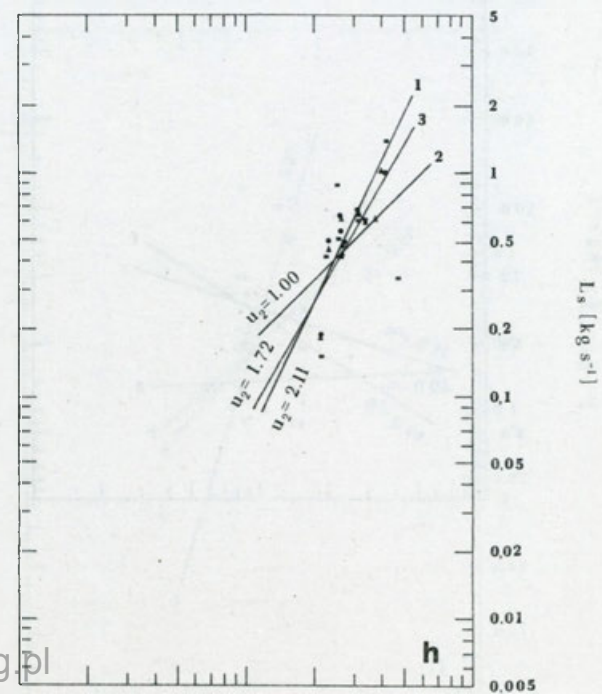
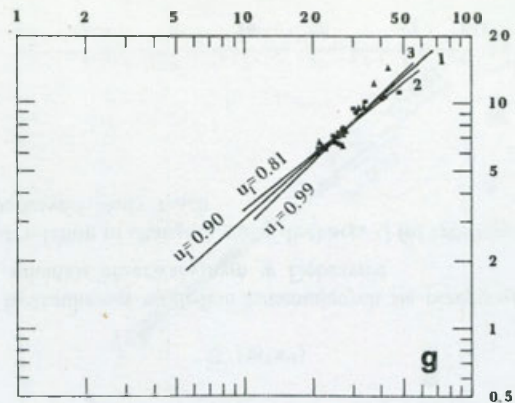
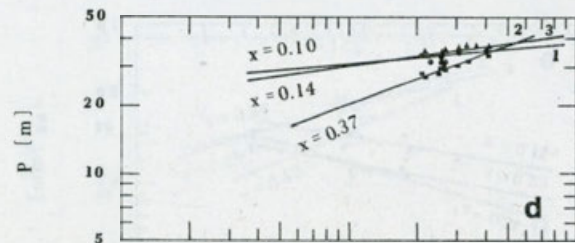
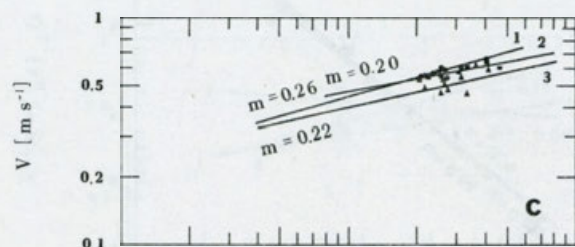
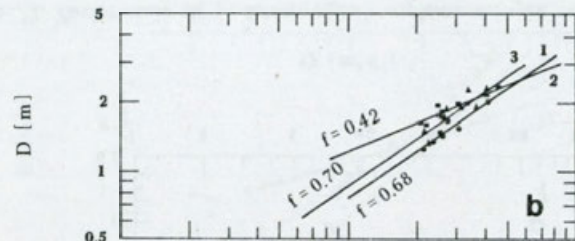
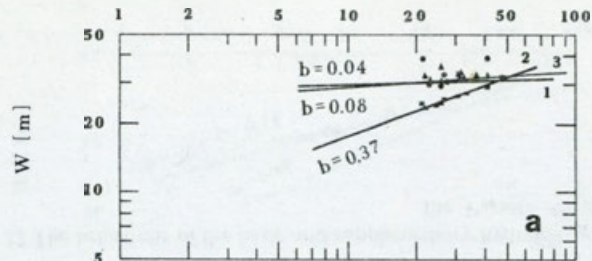
Fig. 21 The behaviour of the basic and supplementary hydraulic geometry parameters in relation to changing water discharge Q for cross-sections (1, 2, 3) of the Parsęta River channel at the Krosino study reach

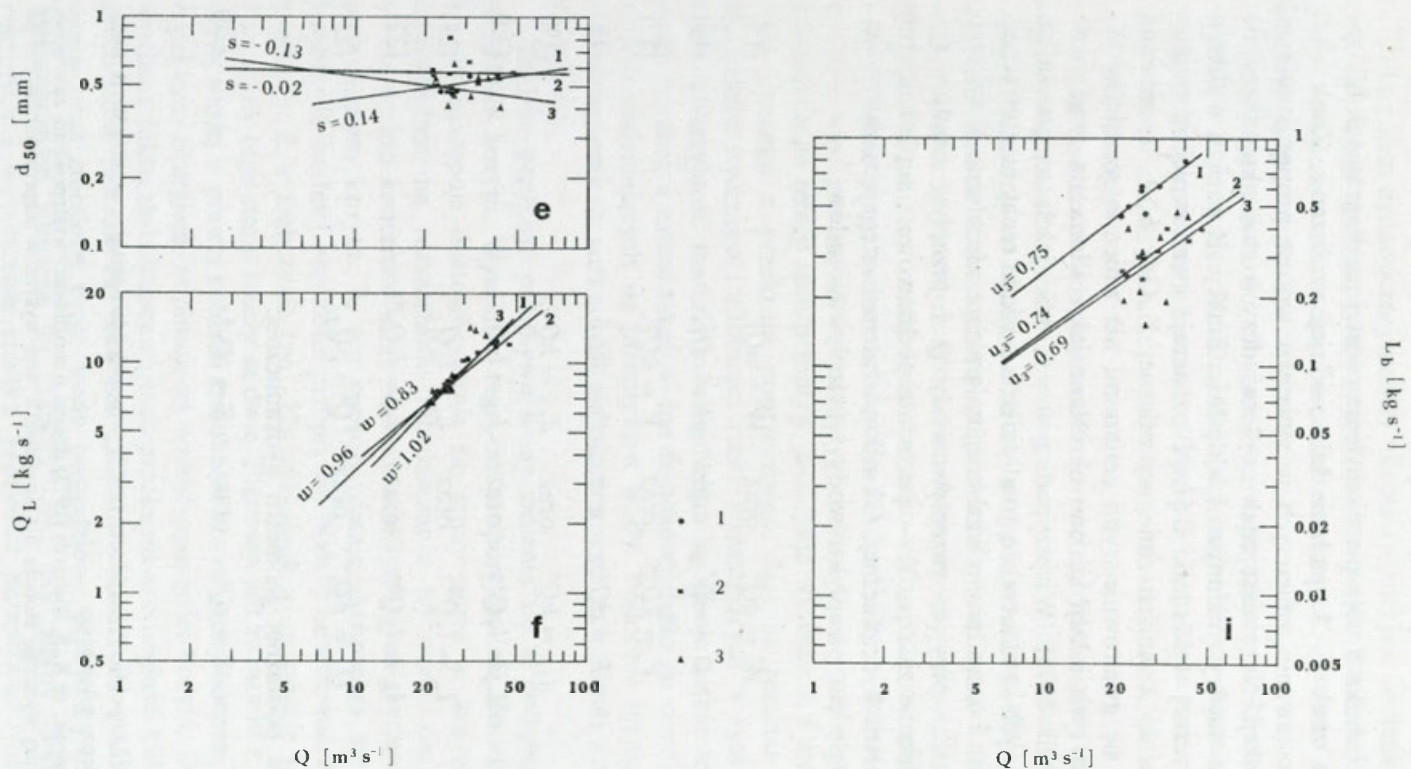




Ryc. 22. Zachowanie się podstawowych i suplementarnych parametrów geometrii hydraulicznej względem zmieniających się przepływów wody Q dla przekrojów poprzecznych koryta Parsęty (1, 2, 3) na odcinku obserwacyjnym w Dębczynie

Fig. 22 The behaviour of the basic and supplementary hydraulic geometry parameters in relation to changing water discharge Q for cross-sections (1, 2, 3) of the Parsęta River channel at the Dębczyno study reach





Ryc. 23. Zachowanie się podstawowych i suplementarnych parametrów geometrii hydraulicznej względem zmieniających się przepływów wody Q dla przekrojów poprzecznych koryta Parsęty (1, 2, 3) na odcinku obserwacyjnym w Bardach

Fig. 23 The behaviour of the basic and supplementary hydraulic geometry parameters in relation to changing water discharge Q for cross-sections (1, 2, 3) of the Parsęta River channel at the Bardy study reach

Oznacza ona bowiem możliwość określania stanu równowagi dynamicznej¹⁴ systemu lub subsystemu, np. korytowego, na dowolnym poziomie wielkości zmiennej niezależnej.

Wartość wykładnika b objaśnia nachylenie prostej na diagramach bilogarytmicznych¹⁵, a znak „-” opadanie lub „+” jej wznoszenie. Znak „+” świadczy o pozostawaniu zmiennych w stosunku wprost proporcjonalnym i wypukłości funkcji. Natomiast znak „-” świadczy o stosunku odwrotnie proporcjonalnym między zmiennymi i wklęsłości funkcji. Z punktu widzenia analizy allometrycznej wykładniki $0 < b < 1$ oznaczają gwałtowniejsze zmiany zmiennej niezależnej X aniżeli zmiennej zależnej Y . Gdy $b > 1$, to zmienna zależna cechuje się gwałtowniejszymi zmianami niż zmienna niezależna X . Odpowiednio do tych relacji są one określane jako allometria negatywna i pozytywna (Bull 1975). W przypadku $b = 1$, tzn. jeżeli tempa zmian obydwóch zmiennych są identyczne, to allometria posiada cechy izometryczne.

Jak wykazano i uzasadniono wcześniej, za zmienne niezależne X systemu (\rightarrow koryta) Parsęty przyjęto przepływ wody Q i przepływ osadów Q_L , natomiast za zmienne zależne Y — pozostałe podstawowe i suplementarne parametry geometrii hydraulicznej. Określono zatem następujące zależności, odpowiednio względem przepływu wody i przepływu osadów:

$$W = aQ^b \quad \text{oraz} \quad W = aQ_L^b, \quad (15)$$

$$D = cQ^f \quad \text{oraz} \quad D = cQ_L^f, \quad (16)$$

$$V = kQ^m \quad \text{oraz} \quad V = kQ_L^m, \quad (17)$$

$$P = dQ^x \quad \text{oraz} \quad P = dQ_L^x, \quad (18)$$

$$d_{50} = hQ^s \quad \text{oraz} \quad d_{50} = hQ_L^s, \quad (19)$$

$$L_d = l_1 Q^{u_1} \quad \text{oraz} \quad L_d = l_1 Q_L^{u_1}, \quad (20)$$

$$L_s = l_2 Q^{u_2} \quad \text{oraz} \quad L_s = l_2 Q_L^{u_2}, \quad (21)$$

$$L_b = l_3 Q^{u_3} \quad \text{oraz} \quad L_b = l_3 Q_L^{u_3}, \quad (22)$$

$$Q_L = pQ^w \quad \text{oraz} \quad Q = pQ_L^w \quad (23)$$

i dodatkowo dla podłużnej geometrii hydraulicznej:

$$S = tQ^z \quad \text{oraz} \quad S = tQ_L^z. \quad (24)$$

¹⁴ Według L. B. Leopolda, T. Maddocka (1953) — prawie-równowagi, a według W. B. Bulla (1975) — stanu stałego, ustalonego.

¹⁵ Należy nadmienić, że K. S. Richards (1973) donosi o możliwości występowania zależności geometrii hydraulicznej wyższego stopnia niż drugiego, a więc wykresów nieprostoliniowych na diagramach log-log.

ANALIZA DYNAMICZNA

Założeniem dynamicznej analizy allometrycznej jest śledzenie zmian zmiennych zależnych w stosunku do zmian zmiennej niezależnej w jednym punkcie przestrzeni, lecz w różnych momentach czasowych. Jest ono spełniane przez poprzeczną geometrię hydrauliczną.

Analizując zależności dla przekrojów poprzecznych koryta na kolejnych odcinkach Parsęty (ryc. 21, 22, 23), należy stwierdzić, że znaczna ich większość cechuje się negatywną allometrią. Oznacza to gwałtowniejsze zmiany przepływu wody aniżeli parametrów koryta, wskazując na ich uzależnienie od wielkości przepływu.

Wśród podstawowych parametrów geometrii hydraulicznej (diagramy a, b, c) należy odnotować szybsze wzrastanie średniej głębokości koryta wraz ze wzrostem przepływu wody aniżeli w przypadku szerokości koryta. Stwierdzenie to można tłumaczyć większą erodowalnością luźnych osadów dennych w porównaniu ze zwięzłym materiałem brzegowym, wyłączając aluwia aktualnie deponowane, np. osady łąch. Ponadto szybszy wzrost głębokości koryta związany jest bezpośrednio ze stanami wody. Podczas wzrastających stanów wody, a więc generalnie wzrastających przepływów, przy pominięciu efektu histerycznego relacji stan/przepływ, następuje wyruszenie i wynoszenie materiału dennego z przekroju poprzecznego. Jest to rezultat oddziaływania naprężenia stycznego i zdolności rzeki, wzrastających w tym samym czasie. Duża kohezynność materiału brzegowego implikuje niskie tempo procesów erozji bocznej, a zatem także wolne dostosowywanie się szerokości koryta do szybko zmieniających się przepływów wody. Podobnie reaguje obwód zwilżony (diagramy d), aczkolwiek ma nieco wyższe wykładniki x dzięki zmianom głębokości.

Średnia prędkość przepływu wody zmienia się w podobnym tempie jak szerokość koryta. Wynika z tego, że proporcjonalnie do zmian szerokości koryta następuje dostosowywanie się strefy nurtu w korycie. Polega ono odpowiednio na rozszerzaniu lub zwężaniu tej strefy, co powoduje rozpraszanie lub koncentrowanie obszaru maksymalnych prędkości w przekroju poprzecznym koryta. W ten sposób zostaje zachowana stosunkowo mała zmienność średniej prędkości przepływu. Należy odnotować, że w przypadku przekroju 2 w Dębczynie (ryc. 22) wykładnik m przyjmuje wartość ujemną. Przyczyny tego stanu rzeczy są dwie. Pierwsza jest związana z występowaniem mniej więcej w prawej połowie szerokości koryta łąchy bocznej, stowarzyszonej z prawym brzegiem, implikującej wzrost oporności koryta. Druga natomiast wynika z faktu zlokalizowania tego przekroju w odległości kilkunastu metrów przed dużą przeszkodą, jaką jest „zapora”, utworzona z kilku powalonych drzew oraz zniesiony przez wody powodziowe drewniany mostek. Efektem hydraulicznym istnienia tej „zapory” jest, jak gdyby, podpiętrzenie wód rzecznych i wymuszenie spadku prędkości przepływu. Natomiast efektem

morfolologicznym jest wzmożona erozja boczna niekohezyjnych piasków na lewym brzegu.

Pośród parametrów suplementarnych zwraca uwagę ładunek materiału zawieszonoego, który wzrasta szybciej od przepływu (diagramy h). Jest to cecha pozytywnej allometrii, która w tym przypadku jest spowodowana gwałtownym charakterem dostawy materiału zawieszonoego, co wiąże się z okresową aktywnością procesów denudacji mechanicznej na obszarze zlewni. Właściwościami quasi-izometrycznymi odznaczają się ładunek materiału rozpuszczonego (diagramy g) oraz ładunek całkowity transportowanych materiałów (diagramy f). Zbieżność cech tych dwóch parametrów wynika z tego, że ładunek materiału rozpuszczonego stanowi w blisko 90 % ładunek całkowity. Transport materiału rozpuszczonego ma charakter ciągły, tak jak przepływ wody w korycie rzeczonym. Stała dostawa materiału rozpuszczonego do wód rzecznych jest odbiciem znacznego udziału zasilania gruntowego Parsęty oraz ciągłości procesów denudacji chemicznej w podłożu zlewni. Ładunek materiału wlezonego wykazuje największe zróżnicowanie w stosunku do zmieniającego się przepływu (diagramy i), a jednocześnie bardzo ściśle nawiązuje do zmian prędkości. Tę ostatnią kwestię najlepiej ilustrują przekroje 2 w Krosinie (ryc. 21i) i Dębczynie (ryc. 22i). Z analizowanych ładunków, ładunek materiału wlezonego dostosowuje się w najmniejszym stopniu do zmian w przepływie. Jest to efekt dużego uzależnienia tego ładunku od warunków hydraulicznych i morfolologicznych koryta. Należy podkreślić, że mediana średnicy ziarna (diagramy e) nie wpływa zasadniczo na zmienność wielkości tych ładunków, co implikowane jest homogenicznością dostępnego materiału do transportu wlezonego.

Omówione ryciny 21–23 dostarczają także informacji o przestrzennym zróżnicowaniu poprzecznej geometrii hydraulicznej koryta Parsęty. Okazuje się bowiem, że tempa zmian poszczególnych parametrów względem zmian przepływu na kolejnych odcinkach obserwacyjnych rzeki nie są równe i nie wykazują wyraźnych tendencji do wzrostu lub spadku. Odpowiednie średnie wartości wykładników dla odcinków zestawiono w tabeli 5A. Przyjmując że odcinki Parsęty w Krosinie i Bardach reprezentują skrajne sytuacje w rozwoju koryta w profilu podłużnym rzeki, można wnosić, że środkowy odcinek w Dębczynie wprowadza pewne zaburzenia w przebiegu wyraźnych tendencji w zmienności wykładników. Oprócz braku dobrze wykształconej doliny rzecznej, zapewne miała rolę w tym miejscu odgrywa także użytkowanie terenu, wyrażające się zmniejszoną lesistością, zwiększonymi arealami rolniczymi oraz gęstszą siecią osadniczą (choć jeszcze nie typu miejskiego). Jeśli przyjąć, że optymalny rozkład wartości wykładników spełnia równość $b = f = m = 0,33$, określając najlepsze przystosowanie koryta do przepływów, to trzeba stwierdzić, że koryto Parsęty w Krosinie odznacza się najsłabszym przystosowaniem do przepływów wody, gdyż $\bar{b} = 0,21$, $\bar{f} = 0,67$, $\bar{m} = 0,12$. Wskazuje to na znaczną świeżość (młodość) i żywotność rzeki na tym odcinku. Na pozostałych odcinkach przystosowanie to nie ulega wyraźnej poprawie.

Transponując wykresy funkcji geometrii hydraulicznej z rycin 21–23, zestawiono je dla przekrojów poprzecznych koryta Parsęty położonych na prostych odcinkach rzeki (ryc. 24) oraz na zakolach o mniejszym (ryc. 25) i większym promieniu krzywizny (ryc. 26). Odpowiednie średnie wartości wykładników dla typów przekrojów przedstawiono w tabeli 5B. Pobieżny przegląd wykresów funkcji nie wykazuje istotnych różnic między przekrojami. Dopiero szczegółowe prześledzenie przebiegów funkcji i analiza wykładników uwidacznia odrębne reakcje parametrów na zmiany w przepływie wody.

Parametrami najlepiej różnicującymi przekroje poprzeczne są szerokość i głębokość koryta, które determinują kształt koryta. Wykładniki tych para-

Tabela 5

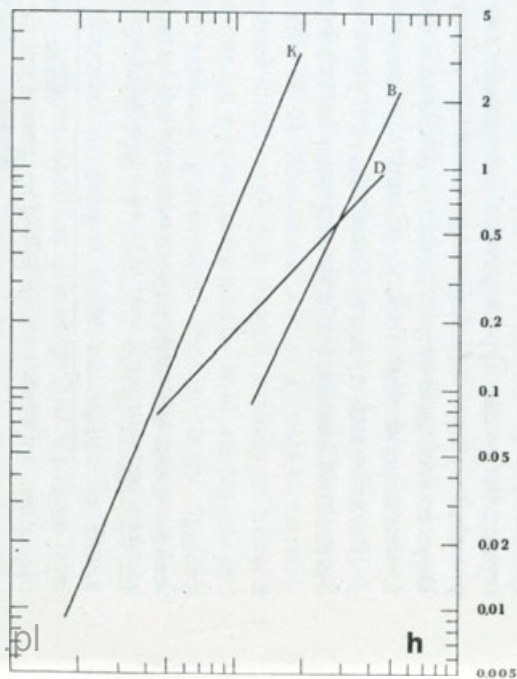
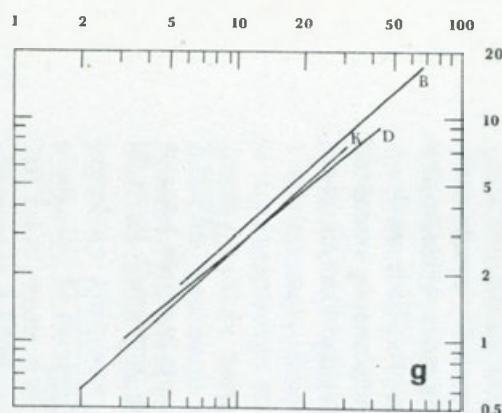
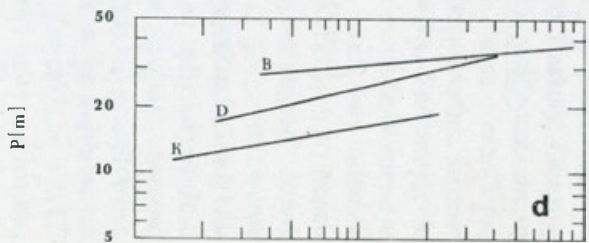
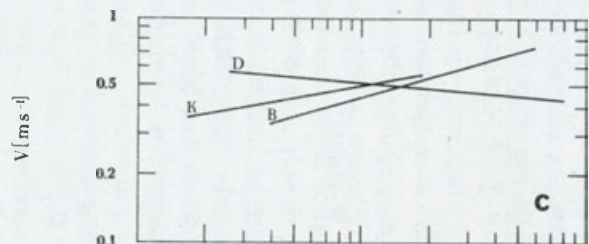
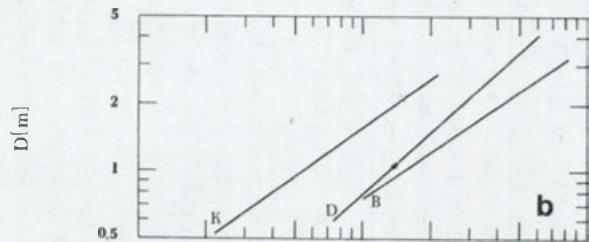
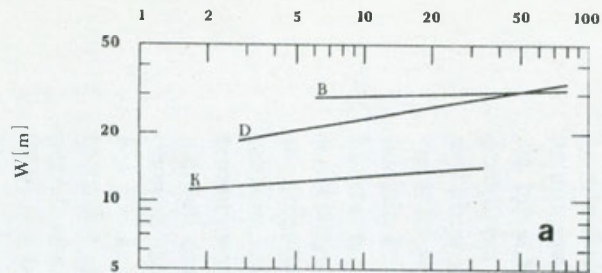
Średnie wartości wykładników poprzecznej geometrii hydraulicznej koryta Parsęty dla kolejnych odcinków obserwacyjnych rzeki (A) i odmiennych typów przekrojów poprzecznych koryta (B)

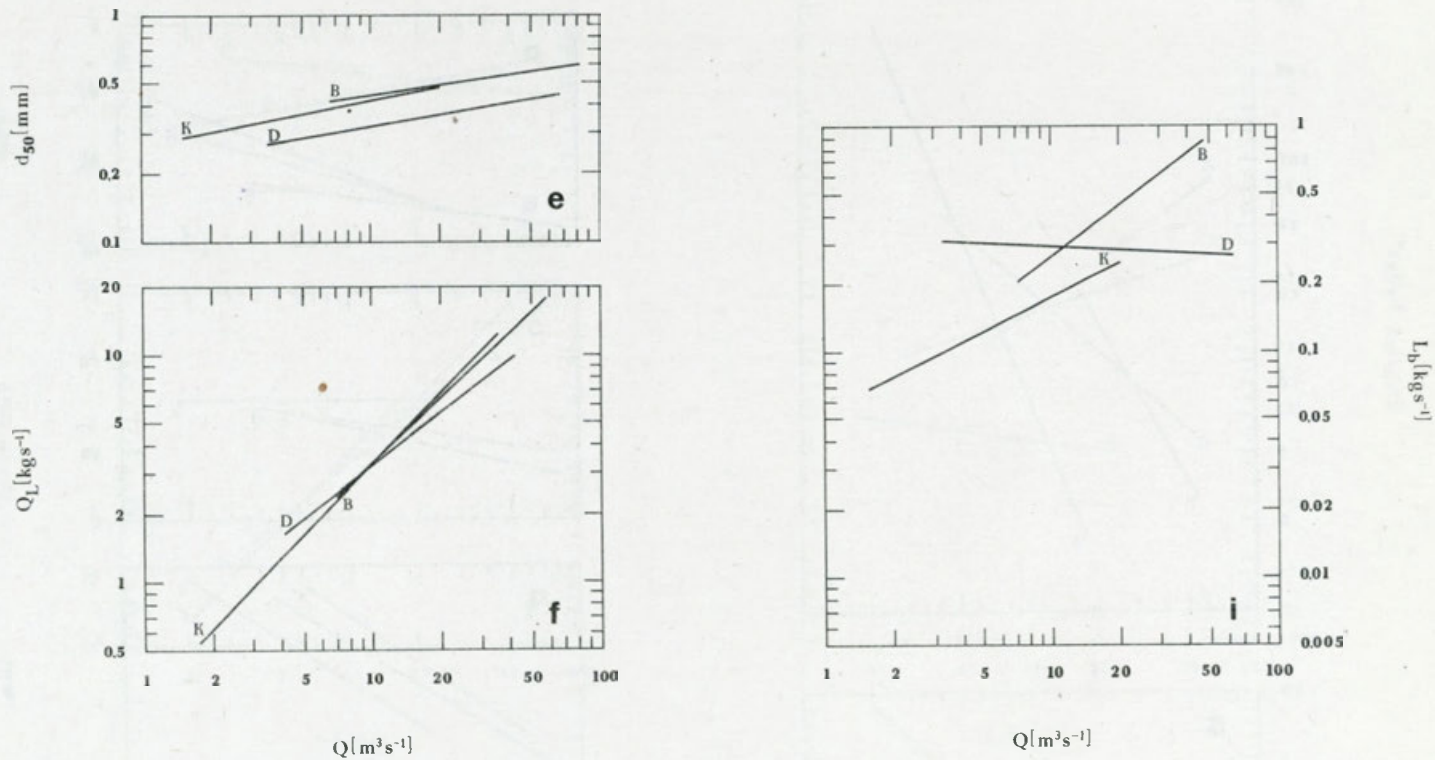
A

Parametr	Wykładnik	Odcinki obserwacyjne		
		Krosino	Dębczyno	Bardy
W	b	0,21	0,29	0,16
D	f	0,67	0,61	0,60
V	m	0,12	0,10	0,23
P	x	0,28	0,32	0,20
d_{50}	s	0,14	0,23	-0,003
L_d	u_1	0,91	0,79	0,90
L_s	u_2	2,28	1,72	1,61
L_b	u_3	0,31	0,29	0,73
Q_L	w	1,05	0,82	0,94

B

Parametr	Wykładnik	Lokalizacja przekrojów poprzecznych		
		proste odcinki rzeki	zakola o stosunkach krzywizny	
			mniejszych	większych
W	b	0,10	0,23	0,34
D	f	0,77	0,66	0,46
V	m	0,12	0,12	0,20
P	x	0,17	0,27	0,35
d_{50}	s	0,17	0,11	0,09
L_d	u_1	0,88	0,91	0,81
L_s	u_2	1,85	1,69	2,07
L_b	u_3	0,39	0,29	0,65
Q_L	w	0,92	0,96	0,92



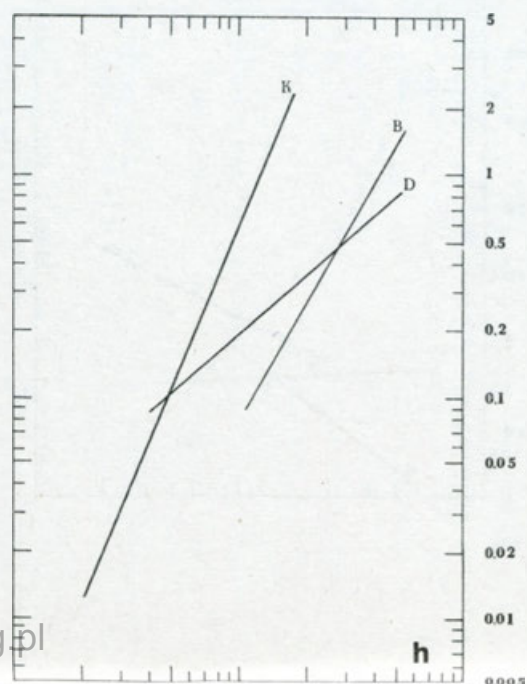
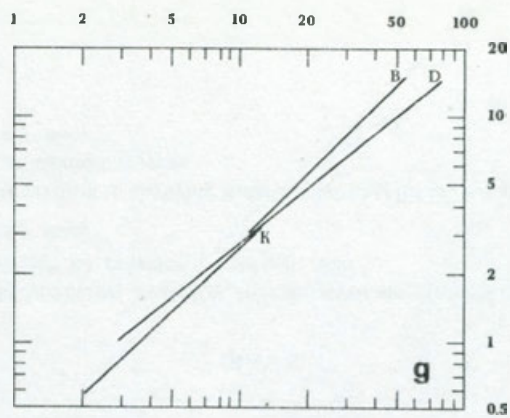
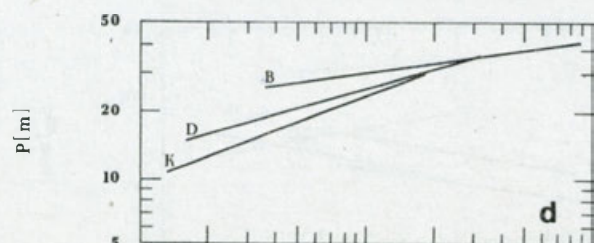
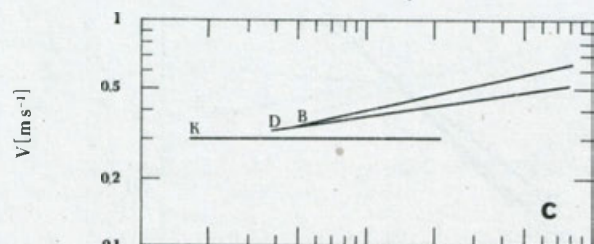
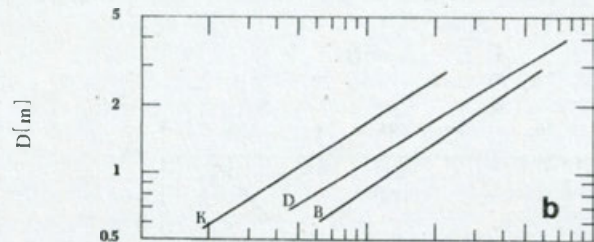
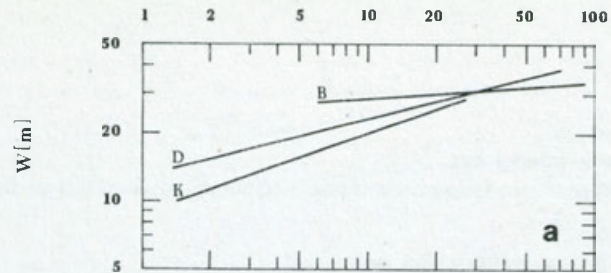


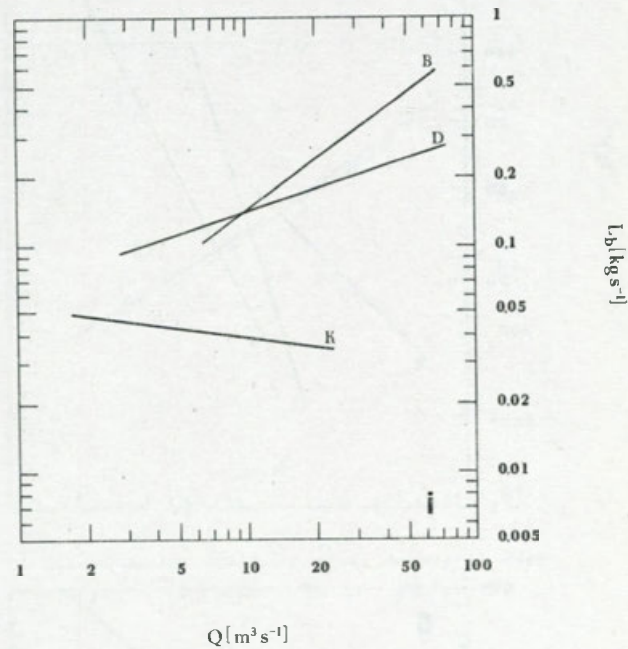
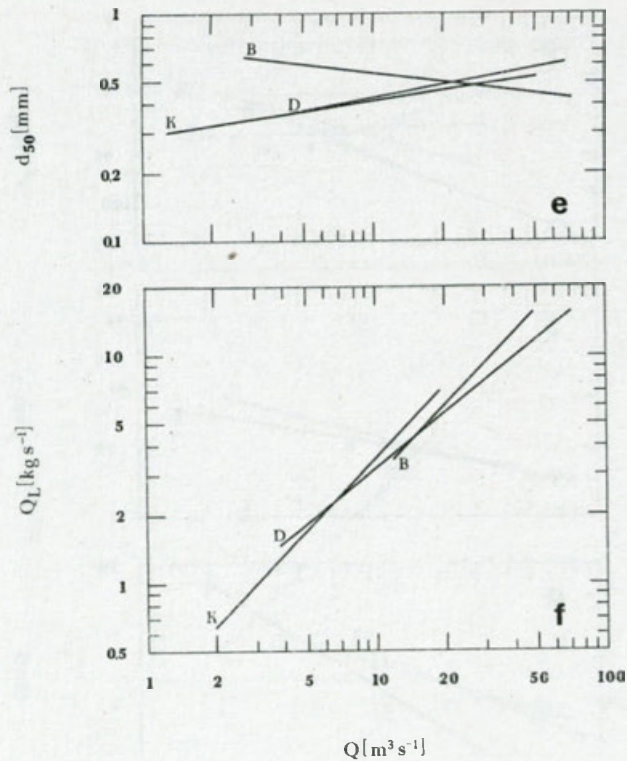
Ryc. 24. Zachowanie się podstawowych i suplementarnych parametrów geometrii hydraulicznej względem zmieniających się przepływów wody Q dla przekrojów poprzecznych koryta Parsęty zlokalizowanych na prostych odcinkach rzeki

K – Krosino, D – Dębczyno, B – Bardy

Fig. 24 The behaviour of the basic and supplementary hydraulic geometry parameters in relation to changing water discharge Q for cross-sections (1, 2, 3) of the Parsęta River channel located at straight reaches

K – Krosino, D – Dębczyno, B – Bardy



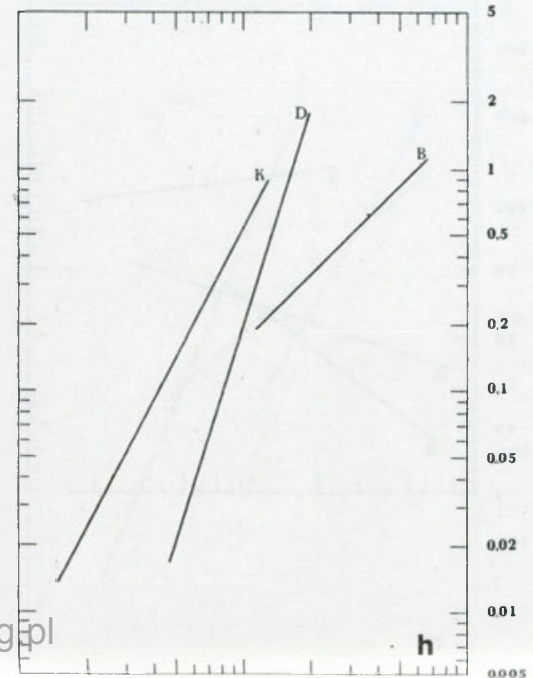
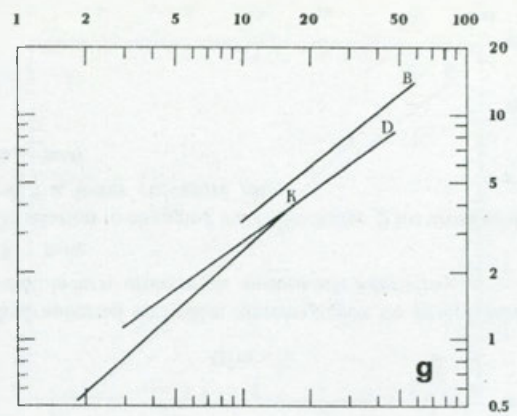
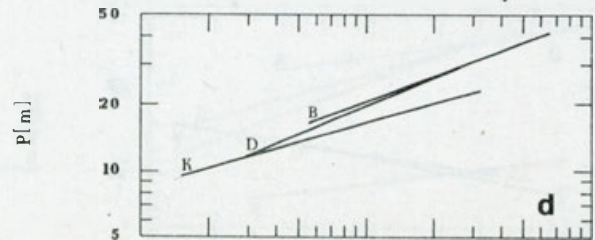
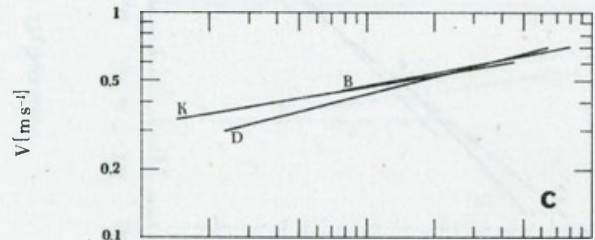
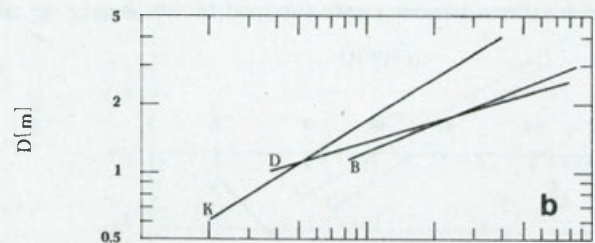
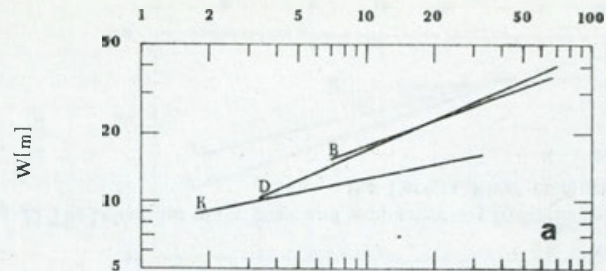


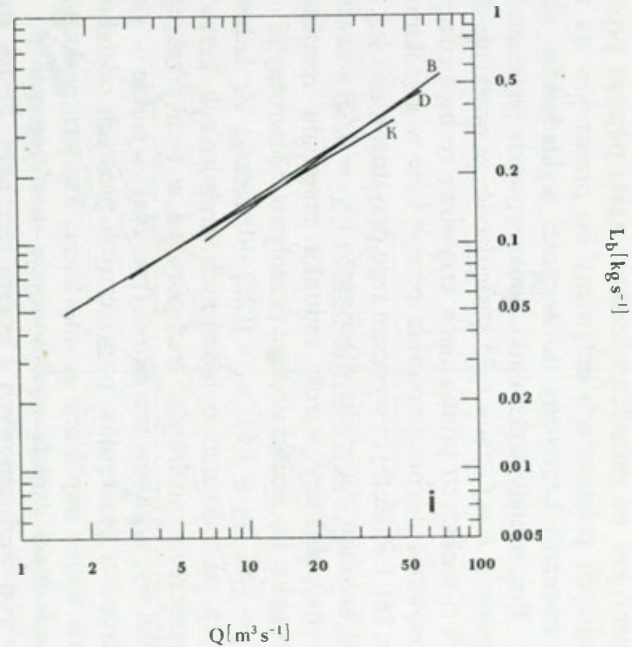
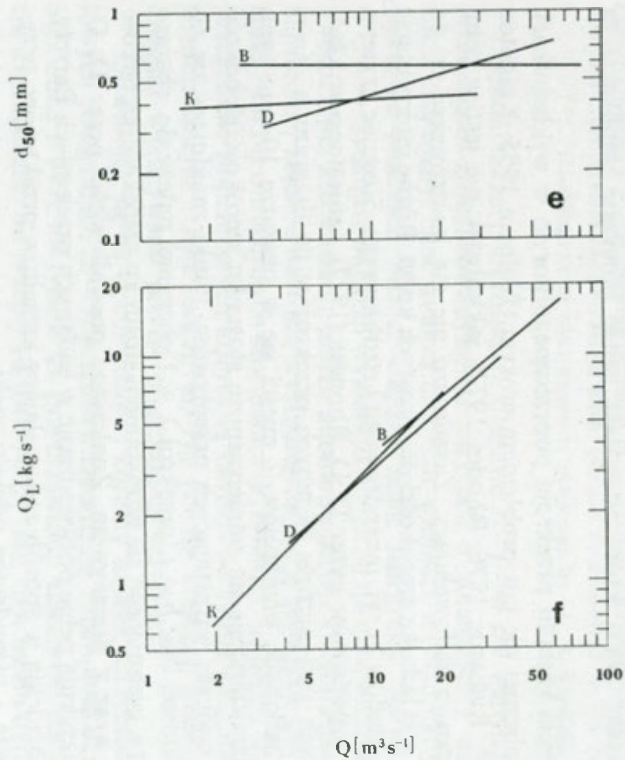
Ryc. 25. Zachowanie się podstawowych i suplementarnych parametrów geometrii hydraulicznej względem zmieniających się przepływów wody Q dla przekrojów poprzecznych koryta Parsęty zlokalizowanych na zakolach o mniejszych stosunkach krzywizny

K – Krosino, D – Dębczyno, B – Bardy

Fig. 25 The behaviour of the basic and supplementary hydraulic geometry parameters in relation to changing water discharge Q for cross-sections (1, 2, 3) of the Parsęta River channel located at bends with a lower curvature ratio

K – Krosino, D – Dębczyno, B – Bardy





Ryc. 26. Zachowanie się podstawowych i suplementarnych parametrów geometrii hydraulicznej względem zmieniających się przepływów wody Q dla przekrojów poprzecznych koryta Parsęty zlokalizowanych na zakolach o większych stosunkach krzywizny

K – Krosino, D – Dębczyno, B – Bardy

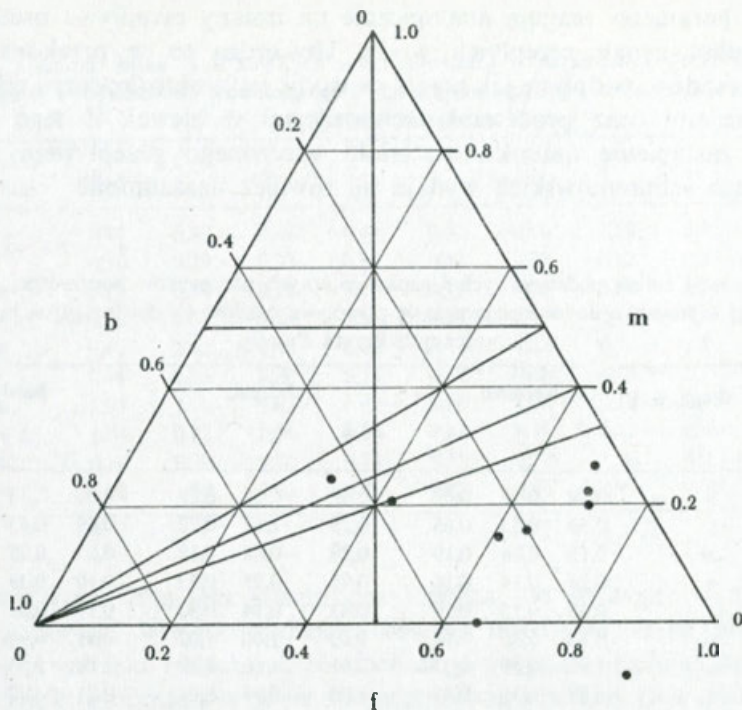
Fig. 26 The behaviour of the basic and supplementary hydraulic geometry parameters in relation to changing water discharge Q for cross-sections (1, 2, 3) of the Parsęta River channel located at bends with a higher curvature ratio

K – Krosino, D – Dębczyno, B – Bardy

metrów cechuje sprzężenie zwrotne. O ile wartości wykładników szerokości wzrastają od przekrojów na prostych odcinkach rzeki poprzez przekroje na zakolach o mniejszych promieniach krzywizny do przekrojów na zakolach o większych promieniach krzywizny, to wartości wykładników głębokości rosną odwrotnie. Porównując wykładniki podstawowych parametrów i odwołując się do równości $b = f = m = 0,33$ stwierdzono, że przekroje zlokalizowane na zakolach o większych promieniach krzywizny cechuje zdecydowanie najlepsze przystosowanie do przyjmowania przepływów w szerokim zakresie ich wielkości (ryc. 26). Ewidentnym wyrazem tego przystosowania jest najgwałtowniejszy wzrost ładunku materiału wlezonego ($u_3 = 0,65$) i zawieszonego ($u_2 = 2,07$) oraz najwolniejszy wzrost ładunku materiału rozpuszczonego ($u_1 = 0,81$) w stosunku do wzrastającego przepływu. Odwrotnymi relacjami wykładników ($u_1 = 0,91$, $u_2 = 1,69$, $u_3 = 0,29$) odznaczają się ładunki przekrojów położonych na zakolach o mniejszych promieniach krzywizny, co wskazuje na ograniczone możliwości transportowe w tych przekrojach.

Niskie wartości wykładników szerokości (ryc. 24a) i wysokie — głębokości (ryc. 24b), w przypadku przekrojów poprzecznych prostych odcinków rzeki, uświadamiają dwie ważne implikacje geomorficzne. Pierwsza wskazuje, że na prostych odcinkach rzeki istnieją predyspozycje morfologiczne do najszybszego wylewania wód wezbraniowych z koryta rzecznego. Druga natomiast, będąca konsekwencją pierwszej, określa miejsca terasy zalewowej wzdłuż prostych odcinków rzeki jako najefektywniejsze pod względem sedymentacyjnym i morfologicznym w rozwoju współczesnej powierzchni terasy zalewowej. Równoległe z przedstawianymi badaniami prowadzono również badania przepływów pozakorytowych (Zwoliński 1980, 1982, 1985a, c, 1986c; Gonera, Kijowski, Zwoliński 1985), które pozwalają uznać powyższe implikacje za uzasadnione.

Problem odbicia kształtu przekroju poprzecznego koryta w wykładnikach geometrii hydraulicznej nie jest problemem nowym (Wolman 1955; Knighton 1974, 1975, 1984; Richards 1976; Rhodes 1977), jakkolwiek nie jest w pełni rozwiązany w sposób zadowalający. Zasadniczo nie ma kontrowersji co do niskich wartości wykładnika szerokości dla prostych koryt. Różne interpretacje dotyczą innych układów koryt: meandrowego i roztokowego. Stosując kryteria hydrauliczne zaproponowane przez D. D. Rhodesa (1977), naniesiono wykładniki podstawowych parametrów badanych przekrojów na diagram $b-f-m$ (ryc. 27). Na 9 badanych przekrojów 7 mieści się w obszarze 10-tego typu koryta, który charakteryzuje się zmniejszaniem stosunku szerokość/głębokość i liczby Frouda podczas wzrastających przepływów. Punkt znajdujący się po lewej stronie pionowej linii $b = f$ (przekrój 1 w Dębczynie) należy do obszaru 5-tego typu koryta, cechującego się wzrastaniem stosunku szerokość/głębokość i liczby Frouda wraz z przepływem. Znalezione prawidłowości przez D. D. Rhodesa (1977) uzyskują pełne potwierdzenie w badanych przekrojach Parsęty, aczkolwiek nie różnicują w sposób zadowalający kształtów przekrojów, przynajmniej na proste i meandrowe odcinki rzeki.



Rys. 27. Diagram $b-f-m$ ukazujący pozycje wykładników poprzecznej geometrii hydraulicznej dla badanych przekrojów poprzecznych koryta Parsęty na tle empirycznej klasyfikacji hydraulicznej typów koryt zaproponowanej przez D. D. Rhodesa (1977)

Fig. 27 Diagram $b-f-m$ showing positions of at-a-station hydraulic geometry exponents for the analysed cross-sections of the Parsęta River channel as compared to the empirical hydraulic classification of river channels proposed by D. D. Rhodes (1977)

Trzeba także podkreślić, iż diagram $b-f-m$ nie ujawnia różnic między przekrojami zlokalizowanymi na zakolach o mniejszych i większych stosunkach krzywizny, choć analiza średnich wartości wykładników (por. tab. 5B) wykazuje znaczące różnice między nimi. Integralne rozważanie diagramu $b-f-m$ i średnich wartości wykładników pozwala na wyeksponowanie ważnej kwestii z punktu widzenia zmian allometrycznych koryta Parsęty. Mianowicie najbardziej zbieżne wartości wykładników mają przekroje prostych odcinków rzeki i zakoli o mniejszych stosunkach krzywizny. Sugeruje to, że te dwa typy przekrojów poprzecznych koryta są bardzo do siebie zbliżone pod względem geomorficznym i hydraulicznym. Na pewne koneksje pomiędzy tymi przekrojami wskazywano już na poprzednich stronach.

Odwołując się do wprowadzonej korekty zmiennych niezależnych w modelowych równaniach (2–5) przemian rzecznych, zaproponowanych przez S. A. Schumma (1977), na rycinie 28 przedstawiono zależności parametrów geometrii hydraulicznej od przepływu osadów Q_L (tab. 6) w ujęciu dynamicznej analizy allometrycznej. Nie wnikając w szczegółowe porównania, należy podać, że

wszystkie parametry reagują analogicznie na zmiany przepływu osadów jak w przypadku zmian przepływu wody. Utwierdza to w przekonaniu, że przepływ osadów, podobnie jak przepływ wody, jest kontrolowany i regulowany zdarzeniami oraz procesami zachodzącymi w zlewni. Z tego punktu widzenia zastąpienie ładunku materiału wlezonego przepływem osadów w modelach schummowskich wydaje się również uzasadnione.

Tabela 6

Kierunki i tempa zmian podstawowych i suplementarnych parametrów poprzecznej geometrii hydraulicznej w stosunku do zmieniającego się przepływu osadów Q_L dla badanych przekrojów poprzecznych koryta Parsęty

Parametr	Wykładnik	Krosino			Dębczyno			Bardy		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
W	b	0,19	0,31	0,07	0,49	0,22	0,29	0,04	0,38	0,07
D	f	0,59	0,53	0,66	0,25	1,12	0,73	0,69	0,43	0,60
V	m	0,15	0,06	0,19	0,29	-0,08	0,18	0,25	0,25	0,24
P	x	0,25	0,34	0,16	0,45	0,29	0,33	0,10	0,39	0,12
d_{50}	s	0,05	0,15	0,19	0,43	0,14	0,33	0,15	0,01	-0,07
L_d	u_1	0,85	0,82	0,84	0,83	1,06	1,02	0,95	0,96	0,98
L_s	u_2	1,98	2,36	2,37	3,57	1,60	1,22	2,18	1,55	1,57
L_b	u_3	0,59	0,10	0,46	1,00	-0,04	0,41	0,71	0,87	0,76
Q	w	0,93	0,89	0,92	1,04	1,25	1,18	1,00	1,08	0,91

ANALIZA STATYCZNA

Równoczesne wykonywanie pomiarów na badanych obiektach jest założeniem statycznej analizy allometrycznej. Odniesione do rzeki, założenie to polega na przeprowadzeniu badań na przekrojach poprzecznych koryta wzdłuż profilu podłużnego rzeki w jednym momencie czasowym. Założenie to jest zatem realizowane przez podejście podłużnej geometrii hydraulicznej.

Przegląd diagramów zależności podłużnej geometrii hydraulicznej (ryc. 29) oraz wartości wykładników tych funkcji (tab. 7) pozwala stwierdzić, że zmiany statyczne koryta Parsęty cechują się negatywną allometrią, czyli tempo zmian w przepływie wody jest szybsze niż tempo zmian poszczególnych parametrów. Wyjątek stanowią niektóre wykładniki parametrów, opisujących ładunki transportowanych materiałów, które przyjmują wartości nieco większe od 1. Tylko w dwóch skrajnych przypadkach mają one dość wysokie wartości, a mianowicie dla pomiaru 7 i 10, w czasie których odpowiednio ładunek materiału wlezonego wzrasta w tempie 1,23 oraz ładunek materiału zawieszono-ego wzrasta w tempie 1,31. Jedynie zależność spadku rzeki i przepływu wody (ryc. 30a) charakteryzuje się ujemnymi wykładnikami, wskazując na inwersyjne powiązanie tych parametrów.

Spośród podstawowych parametrów geometrii hydraulicznej szerokość koryta najszybciej reaguje na zmiany w przepływie wody. Wiązka prostych na

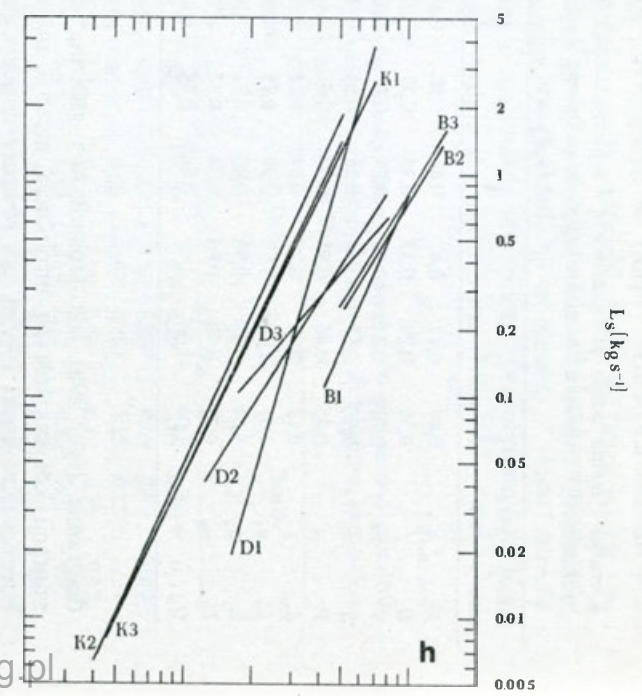
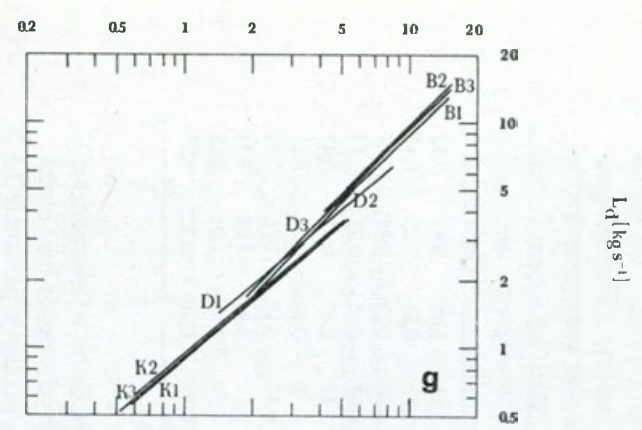
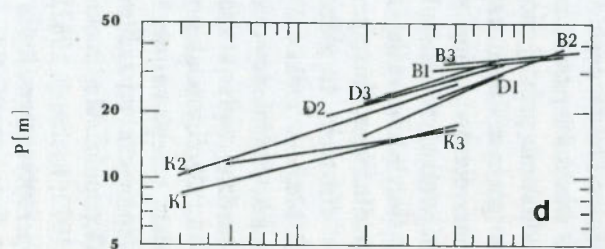
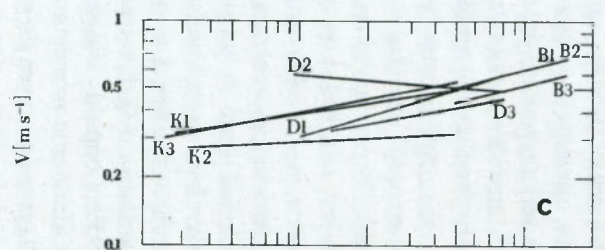
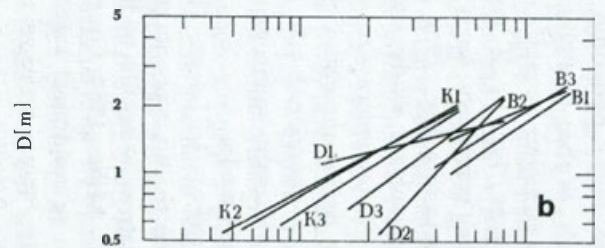
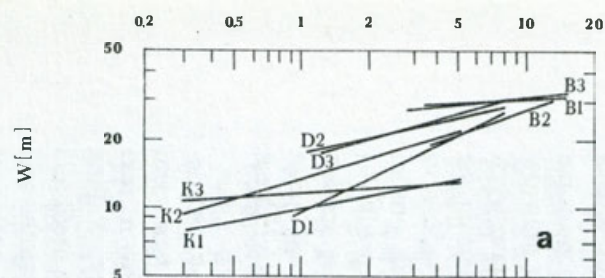
Tabela 7

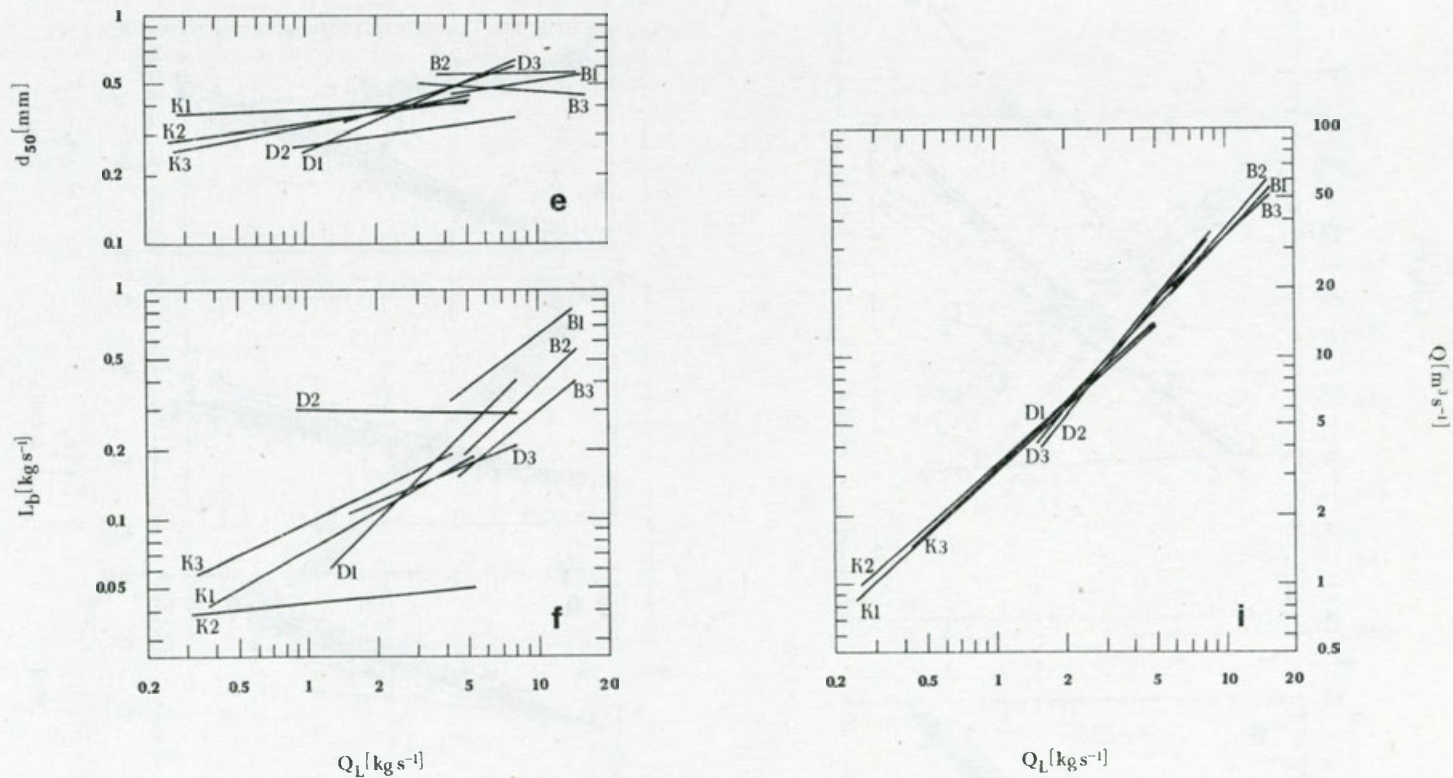
Kierunki i tempa zmian podstawowych i suplementarnych parametrów podłużnej geometrii hydraulicznej w stosunku do zmieniającego się przepływu wody Q w czasie kolejnych pomiarów koryta Parsęty

Para- metr	Wykła- dnik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W	b	0,47	0,47	0,47	0,44	0,50	0,44	0,58	0,45	0,47	0,42
D	f	0,36	0,29	0,33	0,35	0,33	0,33	0,12	0,33	0,25	0,41
V	m	0,18	0,24	0,21	0,21	0,18	0,22	0,30	0,22	0,28	0,18
S	z	-0,56	-0,61	-0,54	-0,54	-0,64	-0,60	-0,62	-0,51	-0,75	-0,53
P	x	0,45	0,45	0,45	0,43	0,47	0,42	0,51	0,43	0,43	0,42
d_{50}	s	0,19	0,03	0,20	0,34	0,21	0,10	0,25	0,17	0,17	0,11
L_d	u_1	1,01	1,06	1,02	0,99	0,98	1,00	0,97	0,97	1,06	0,99
L_s	u_2	1,04	0,32	0,96	0,80	0,81	0,74	0,11	0,94	-0,04	1,31
L_b	u_3	0,72	0,90	0,80	0,74	0,71	0,97	1,23	0,92	1,01	0,68
Q_L	w	1,00	1,00	1,01	0,96	0,95	0,98	0,93	0,96	0,82	0,97

diagramie (ryc. 29a) jest stosunkowo zwarta, co świadczy o nieznacznej migracji koryta. Jest to implikacja niezbyt intensywnych procesów erozji bocznej (Zwoliński 1986e), jak również depozycyjnych. Kolejny parametr to głębokość, która dostosowuje się do zmieniającego przepływu w nieco wolniejszym tempie (ryc. 29b) aniżeli szerokość. W miarę zmniejszania się częstotliwości przepływu, czyli jego wzrostu w jednostkach objętościowych, wzrastają jednocześnie nominalne wartości średniej głębokości koryta (np. pomiar 7). Jest to efekt nie tylko podnoszenia się stanów wody, lecz też odprowadzania materiału dennego. Położenie prostej zatem może pośrednio informować o wielkości przerabiania aluwii korytowych. Wobec powyższego poziome położenie prostej może wskazywać na intensywniejsze przerabianie aluwii w górnym biegu rzeki aniżeli w dolnym (por. ryc. 9). Z podstawowych parametrów geometrii hydraulicznej prędkość przepływu wody zmienia się najwolniej w stosunku do zmian przepływu wody (ryc. 29c). Świadczy to o względnie małej zmienności prędkości przepływu wody wzdłuż profilu podłużnego Parsęty. Jakkolwiek zachowana jest tendencja wzrostu prędkości w dół rzeki, to jednak jest ona redukowana przez zmniejszający się spadek z biegiem rzeki. Wynika to z odwrotnie proporcjonalnych relacji, jakie zachodzą między tymi dwoma parametrami, na tempo zmian prędkości zatem bardziej wpływa spadek niż ilość spływającej wody.

Ogólny pogląd na zmiany szerokości i głębokości koryta Parsęty względem przepływu nie budzi wątpliwości w porównaniu z przyjętymi typowymi teoretycznymi zachowaniami się tych parametrów w profilu podłużnym rzeki (Leopold, Maddock 1953; Leopold, Wolman, Miller 1964; Gregory, Walling 1973; Richards 1982). Odmienne przedstawia się natomiast kwestia prędkości przepływu wody. Na diagramie c (ryc. 29) przepływy o mniejszej częstotliwości lokują się w dolnej części wiązki prostych. Wynika z tego, że większym



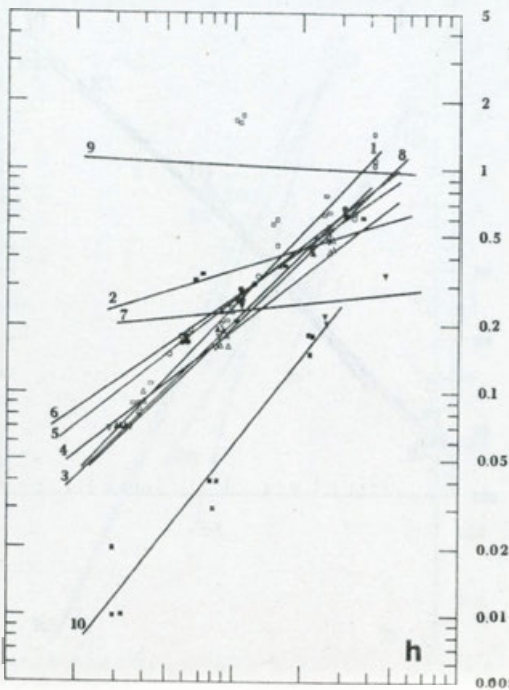
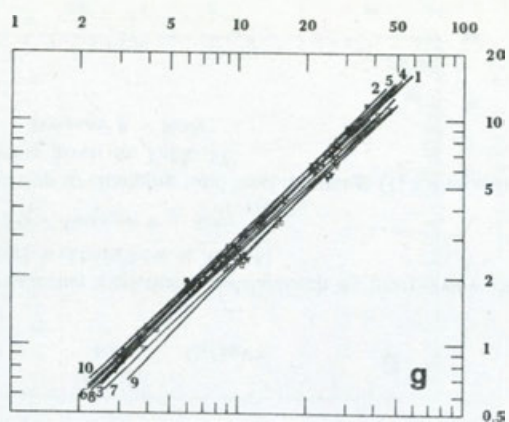
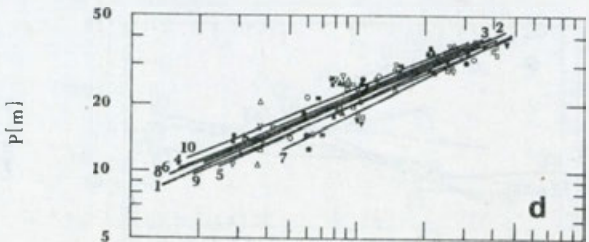
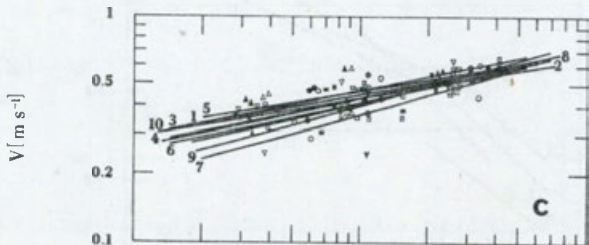
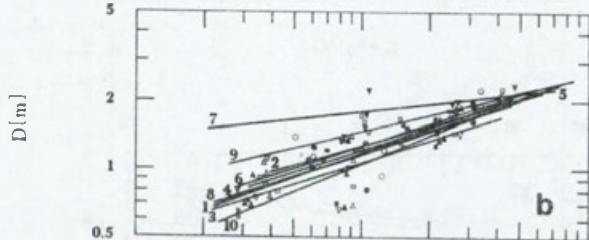
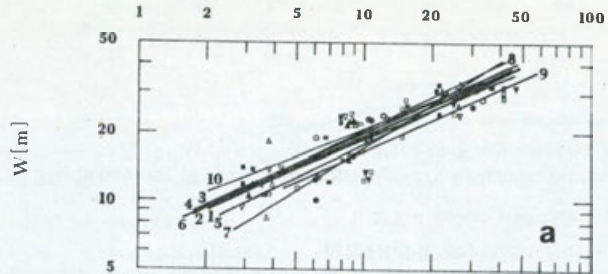


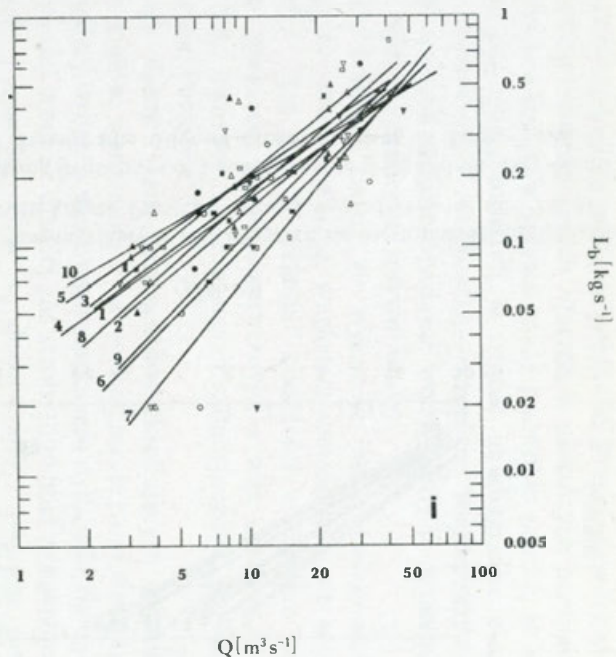
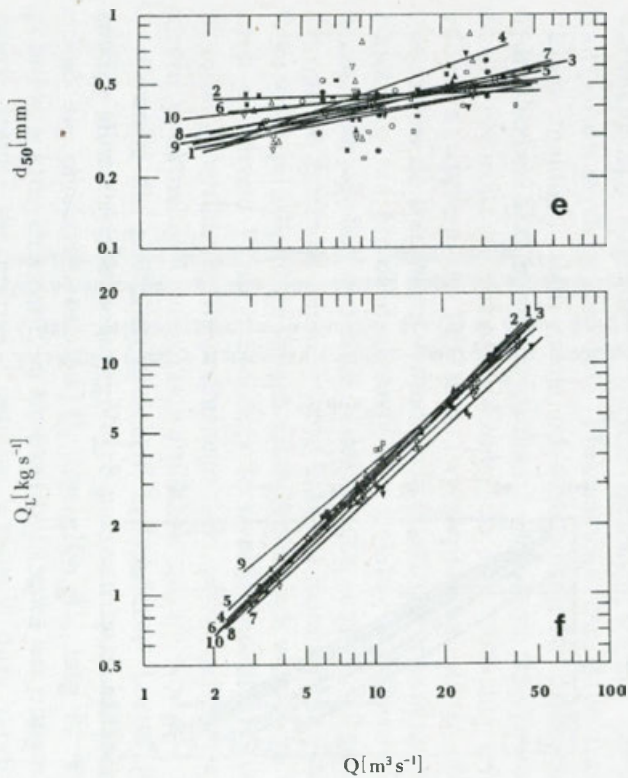
Ryc. 28. Zachowanie się podstawowych i suplementarnych parametrów geometrii hydraulicznej względem zmieniających się przepływów osadów Q_L dla przekrojów poprzecznych koryta Parsęty (wartości wykładników w tab. 6)

1, 2, 3 – numery przekrojów poprzecznych; K – Krosino; D – Dębczyno; B – Bądry

Fig. 28 The behaviour of basic and supplementary hydraulic geometry parameters in relation to changing total load discharge Q_L for cross-sections of the Parsęta River channel (the value of exponents given in Table 6)

1, 2, 3 – cross sections numbers; K – Krosino; D – Dębczyno; B – Bądry

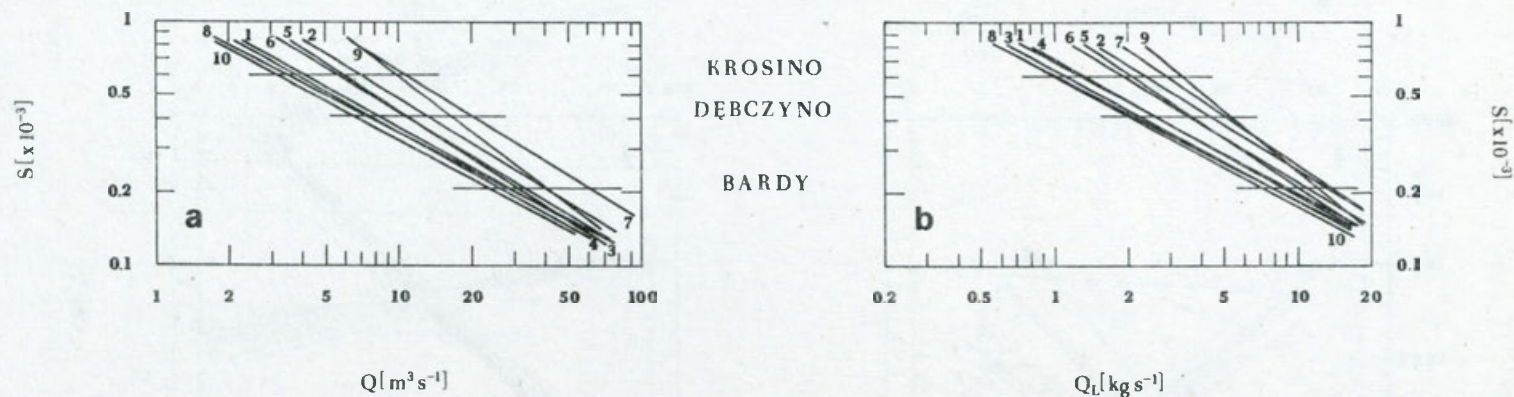




• 1 • 2 • 3 • 4 • 5 • 6 • 7 • 8 • 9 • 10

Ryc. 29. Zachowanie się podstawowych i suplementarnych parametrów geometrii hydraulicznej względem zmieniających się częstotliwości przepływów wody Q w czasie kolejnych pomiarów (1–10) koryta Parsęty (wartości wykładników w tab. 7)

Fig. 29 The behaviour of basic and supplementary hydraulic geometry parameters in relation to changing frequencies of water discharge Q during consecutive measurements (1–10) of the Parsęta River channel (the value of exponents given in Table 7)



Ryc. 30. Zależności między stałymi wartościami spadków dla poszczególnych odcinków obserwacyjnych a zmieniającą się częstotliwością przepływów wody Q (a) i natężeniem przepływów osadów Q_L (b) w czasie kolejnych pomiarów (1–10) koryta Parsęty (wartości wykładników w tab. 7 i 8)

Fig. 30 Dependencies between constant value of slopes for separate study reaches and changing frequencies of water discharge Q (a) and intensity of total load discharge Q_L (b) during consecutive measurements (1–10) of the Parsęta River channel (the value of exponents given in Table 7 and 8)

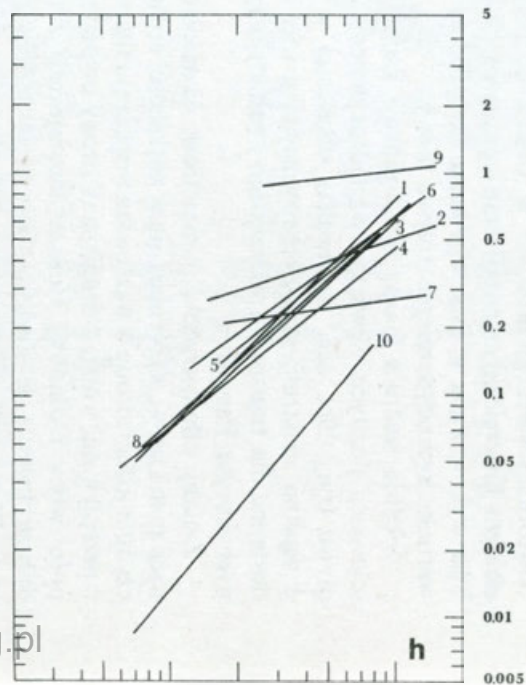
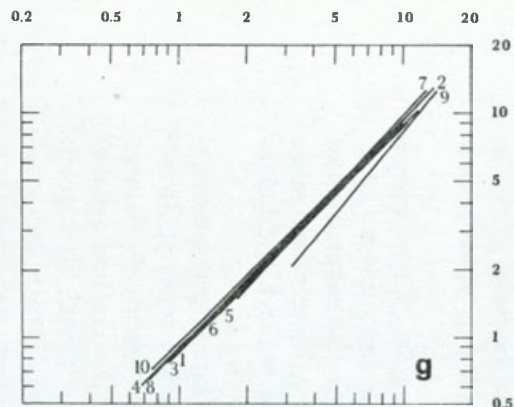
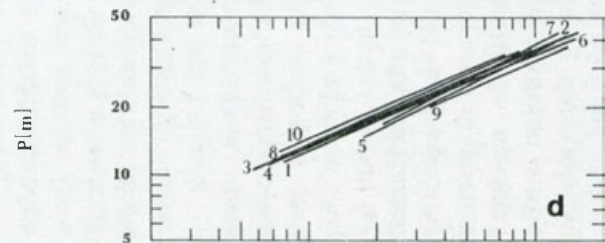
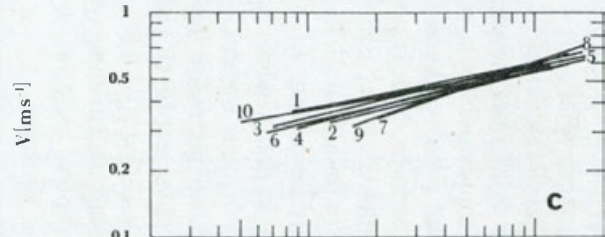
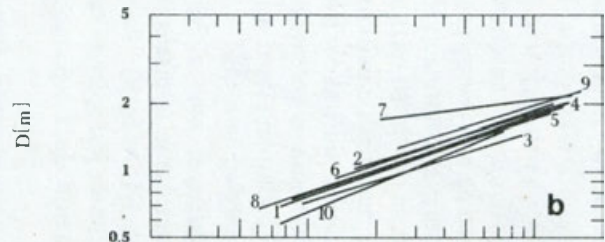
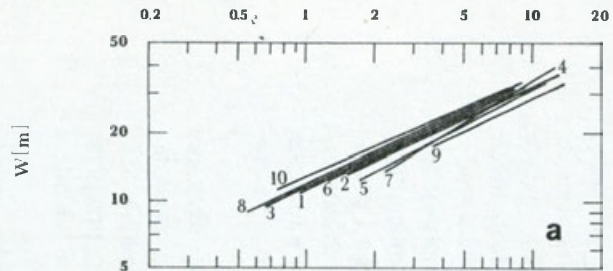
przepływowi odpowiada mniejsza prędkość. Przegląd materiału dokumentacyjnego dowodzi istnienia takich zdarzeń w niektórych przypadkach. Dokładne prześledzenie warunków spływu wody pozwoliło ustalić, że zdarzenia te oraz odwrotna sekwencja prostych w wiązce na diagramie c są spowodowane efektem histereicznym relacji stan—przepływ. Większość bowiem pomiarów była wykonywana w fazie opadania wody, kiedy to występują spokojniejsze warunki hydrodynamiczne spływu wody.

Średnia średnica ziarna nie wykazuje żadnej zmienności, a tym samym sekwencji prostych w wiązce, względem zmieniającej się częstotliwości przepływu (ryc. 29e). Jest to rezultat obecności w korycie rzeczonym osadów o wąskim spektrum granulometrycznym, a więc osadów, które są aktualnie dostępne dla transportu wleczonego i saltacyjnego w warunkach hydraulicznych koryta Parsęty.

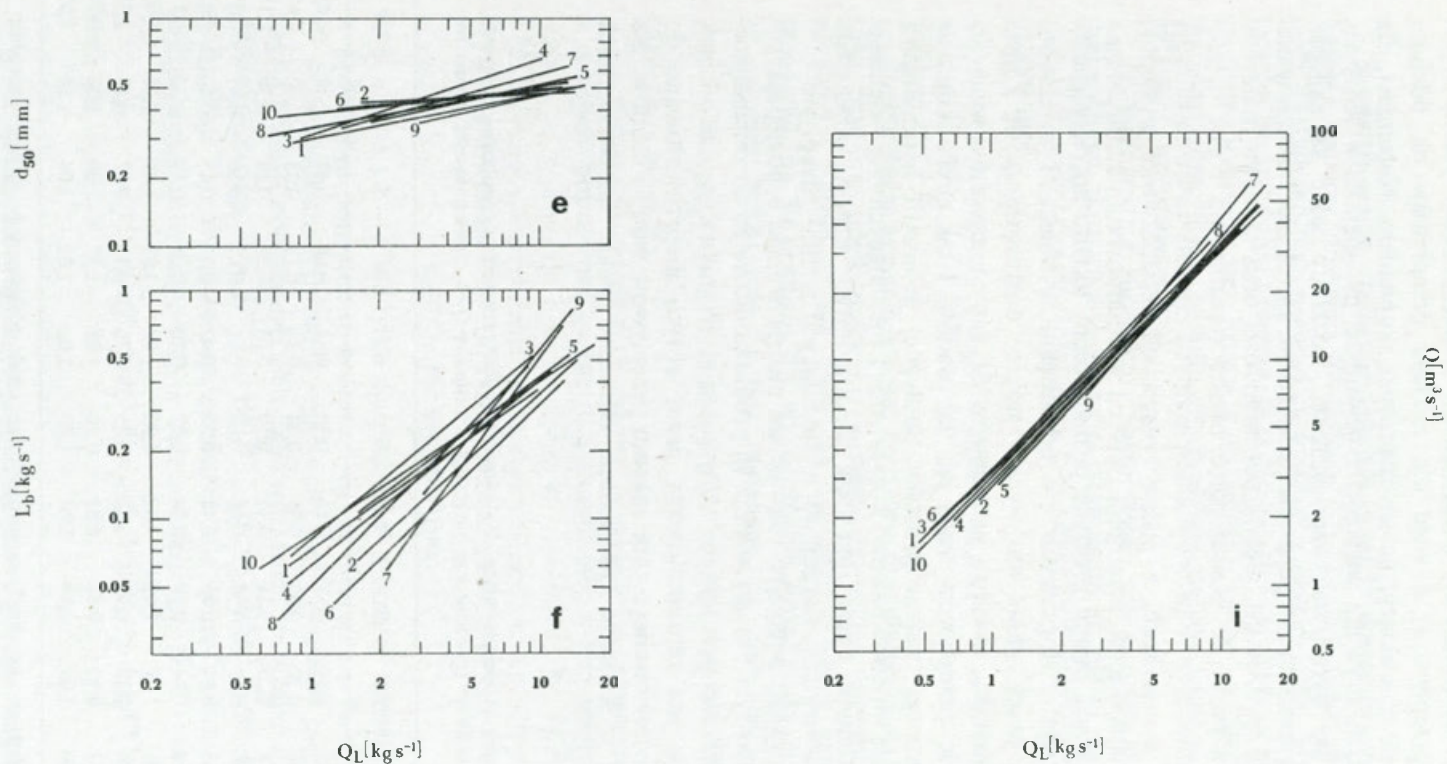
Zmiany allometryczne parametrów, określających ładunki transportowanych materiałów, wyróżniają się w większości cechami izometrycznymi. Świadczy to z jednej strony o węzłowym zespoleniu dynamiki transportu fluwialnego z przepływami wody, z drugiej zaś strony dowodzi przestrzennej homogeniczności wody i osadów, które są dostarczane z obszaru zlewni. Szczególnie dobrze kwestię tę ilustrują parametry ładunku materiału rozpuszczonego (ryc. 29g) i całkowitego (ryc. 29f). Rozproszenie prostych na diagramach z ładunkiem materiału zawieszono (ryc. 29h) i wleczono (ryc. 29i) wynika ze zwiększonej i epizodycznej dostawy tych osadów do koryta rzecznego. W obydwóch przypadkach jest to efekt braku ciągłości przepływu osadów, warunkującego istnienie w korycie rzeczonym stanów chwilowej depozycji transportowanych materiałów. Fluktuacyjny charakter transportu cząstek stałych znajduje zatem swoje odzwierciedlenie w zależnościach geometrii hydraulicznej. Skrajnymi przypadkami niestałości transportu fluwialnego są proste położone w pozycji zbliżonej do linii poziomej (ryc. 29h), będące odbiciem wyczerpania lub stanu wyczerpywania się zasobów dostępnych materiałów do transportu w dowolnym przedziale czasowym przepływu wody. Najczęściej ten przedział czasowy koresponduje z kulminacją przepływu lub początkiem jego fazy opadania. Należy podać, że prosta 10 na diagramie h (ryc. 29) opisuje zależność allometryczną ładunku materiału zawieszono i przepływu wody po kilkunastu dniach ustabilizowanych warunków hydrodynamicznych w korycie Parsęty. Świadczy to o równomiernym wyczerpywaniu się materiałów wzdłuż profilu podłużnego rzeki, podatnych na transport w zawieszeniu w aktualnych wówczas warunkach spływu wody.

Również dla podłużnej geometrii hydraulicznej koryta Parsęty ukazano zmiany allometryczne poszczególnych parametrów w odniesieniu do zmieniającego się przepływu osadów Q_L (ryc. 30b, 31, tab. 8). Porównanie diagramów, w których niezależną zmienną systemową jest jednym razem przepływ wody, drugim zaś przepływ osadów, wykazuje dużą zgodność w układzie odpowiadających sobie prostych.

Wewnętrzna struktura wiązek prostych na większości diagramów, przed-



<http://rcin.org.pl>



Ryc. 31. Zachowanie się podstawowych i suplementarnych parametrów geometrii hydraulicznej względem zmieniających się natężeń przepływów osadów Q_L w czasie kolejnych pomiarów (1÷10) koryta Parsęty (wartości wykładników w tab. 8)

Fig. 31 The behaviour of basic and supplementary hydraulic geometry parameters in relation to the changing intensity of total load discharge Q_L during consecutive measurements (1–10) of the Parsęta River channel (the value of exponents given in Table 8)

stawionych na rycinach 29, 30 i 31, ujawnia specyficzny rozkład tych prostych. Dla wysokich przepływów, a więc dla zakresu przepływów na odcinku w Bardach, proste charakteryzują się znacznym skupieniem. Natomiast, dla przepływów niskich, czyli dla wielkości notowanych na odcinku w Krosinie, proste cechują się wyraźnym rozproszeniem. Rozkłady takie są najlepiej widoczne na diagramach następujących parametrów: szerokości i skorelowanego z nią obwodu zwilżonego, głębokości, prędkości oraz ładunku materiału wlezonego. Zważywszy że poszczególne proste reprezentują różne częstotliwości przepływów oraz że proste o ekstremalnych częstotliwościach zajmują skrajne pozycje w wiązkach, a proste pośrednich częstotliwości występują w osiowych partiach wiązek, uznano, iż opisana wachlarzowata i hierarchiczna struktura wewnętrzna wiązek prostych posiada cechy układu antytetycznego. W kategoriach geomorfologicznych¹⁶, w odniesieniu do obiektu i przedmiotu badań niniejszej pracy, układ ten wyraża stopień dostosowania się koryta rzeczno, jego kształtu, układu i parametrów do danych zakresów wielkości oraz częstotliwości przepływów wody jak też osadów. I tak strefa skupienia układu antytetycznego wiązki prostych podłużnej geometrii hydraulicznej oznacza najlepsze przystosowanie koryta do zmieniających się wielkości przepływów, natomiast strefa rozwarcia układu antytetycznego odpowiada słabszemu przystosowaniu koryta do występujących w nim przepływów.

Biorąc pod uwagę powyższe rozważania można wnosić o postępującym dostosowywaniu koryta Parsęty wzdłuż jej profilu podłużnego do zmieniającego się zakresu wielkości przepływów wody i osadów. Wynika z tego, że odcinek rzeki w Krosinie jest reprezentowany przez koryto nieprzystosowane do przyjmowania obserwowanego tam zakresu przepływów wody i osadów. Na taki stan rzeczy w Krosinie kilkakrotnie zwracano uwagę na poprzednich stronach.

Tabela 8

Kierunki i tempa zmian podstawowych i suplementarnych parametrów podłużnej geometrii hydraulicznej w stosunku do zmieniającego się przepływu osadów Q_L w czasie kolejnych pomiarów koryta Parsęty

Para- metr	Wykła- dnik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W	b	0,47	0,46	0,47	0,46	0,52	0,44	0,60	0,47	0,47	0,43
D	f	0,36	0,30	0,32	0,35	0,34	0,34	0,12	0,33	0,30	0,42
V	m	0,18	0,25	0,21	0,23	0,19	0,23	0,34	0,24	0,36	0,18
S	z	-0,56	-0,62	-0,54	-0,56	-0,68	-0,61	-0,68	-0,53	-0,84	-0,55
P	x	0,45	0,44	0,45	0,44	0,50	0,42	0,53	0,45	0,44	0,43
d_{50}	s	0,19	0,04	0,19	0,34	0,22	0,10	0,28	0,19	0,22	0,11
L_d	u_1	1,01	1,07	1,02	1,02	1,02	1,02	1,05	1,01	1,21	1,01
L_s	u_2	1,04	0,33	0,95	0,83	0,85	0,76	0,13	0,97	0,19	1,35
L_b	u_3	0,72	0,93	0,82	0,81	0,76	1,01	1,37	1,00	1,23	0,70
Q_L	w	1,00	1,01	0,99	1,04	1,05	1,02	1,07	1,04	1,14	1,03

¹⁶ Termin „układ antytetyczny” zaczerpnięto ze sztuk plastycznych, a jego znaczenie – z literaturoznawstwa.

ALLOMETRIA PARAMETRÓW MUTACYJNYCH

Skonstruowanie możliwie pełnych modeli dostosowywania się koryta Parsęty wymaga poznania kierunków i tempa zmian parametrów mutacyjnych. Dokonano tego poprzez ekwiwalencję oryginalnych wzorów tych parametrów funkcjami potęgowymi podstawowych i suplementarnych parametrów geometrii hydraulicznej. Przy wyprowadzaniu równań wykładnikowych parametrów mutacyjnych metodą ekwiwalencji można spotkać się z czterema przypadkami przekształceń:

1) bezpośrednio zastąpienie składowych wzoru oryginalnego parametru mutacyjnego poznanymi wcześniej funkcjami geometrii hydraulicznej, np. $A = WD$; wykorzystując równania (15) i (16) oraz zakładając, że $A = inQ^{ex}$, otrzymano

$$inQ^{ex} = aQ^b cQ^f = acQ^{b+f}, \quad (25)$$

czyli $ex = b + f$;

2) eliminacja wyrażeń stałych ze wzoru oryginalnego parametru mutacyjnego przy jego przekształceniu, ponieważ wyrażenia te wpływają na wartość parametru, natomiast nie zmieniają kierunku i tempa jego zmian wobec przepływu, np. $Fr = V(gD)^{-0,5}$; wykorzystując równania (16) i (17), przyjmując, że $g = const \approx 9,81 [ms^{-2}]$ oraz zakładając, że $Fr = inQ^{ex}$, otrzymano

$$inQ^{ex} = kQ^m (const \cdot cQ)^{-0,5f} = const \cdot kcQ^{m+(-0,5f)}, \quad (26)$$

czyli $ex = m - 0,5f$;

3) eliminacja spadku ze wzoru oryginalnego parametru mutacyjnego w podejściu poprzecznej geometrii hydraulicznej; w tym przypadku spadek jest stały¹⁷, a wykładnik z równy jest 0; natomiast dla podłużnej geometrii hydraulicznej uwzględnienie spadku jest konieczne, np. $CF = SWD^{-1}$; wykorzystując równania (15), (16) i (24) oraz zakładając, że $CF = inQ^{ex}$, otrzymano

$$inQ^{ex} = tQ^z aQ^b cQ^{-f} = tacQ^{z+b+(-f)}, \quad (27)$$

czyli $ex = z + b - f$, ale tylko dla podłużnej geometrii hydraulicznej natomiast w przypadku poprzecznej geometrii hydraulicznej $z = 0$, a więc $ex = b - f$;

4) zastosowanie równania wykładnikowego pewnego parametru mutacyjnego wcześniej obliczonego metodą ekwiwalencji we wzorze innego parametru mutacyjnego, np. $R = AP^{-1} = WDP^{-1}$; jak wykazano w omówionym powyżej przypadku (1) równanie wykładnikowe dla A ma postać $ex = b + f$ oraz wykorzystując równanie (18), a także zakładając, że $R = in'Q^{ex'}$, otrzymano

$$in'Q^{ex'} = aQ^b cQ^f dQ^{-x} = acQ^{b+f} dQ^{-x} = indQ^{ex+(-x)}, \quad (28)$$

czyli $ex' = ex - x$.

¹⁷ Założenie stałości spadku w poprzecznej geometrii hydraulicznej D. B. Simons (1979) uznaje za niesłuszne.

Realizując powyższe przypadki przekształceń metodą ekwiwalencji oryginalnych wzorów parametrów mutacyjnych wyprowadzono poniższe równania wykładnikowe, przy czym oznaczono je dwoma indeksami dolnymi, a mianowicie liczbą, wskazującą kolejny parametr mutacyjny w tabeli 4 oraz literami a i b , wskazującymi odpowiednio podejście poprzecznej i podłużnej geometrii hydraulicznej (brak indeksu literowego oznacza obowiązywanie równania w obydwóch podejściach geometrii hydraulicznej):

$$ex_1 = b + f, \quad (29)$$

$$ex_2 = b - f, \quad (30)$$

$$ex_{3a} = ex_2 \quad \text{oraz} \quad ex_{3b} = z + ex_2, \quad (31)$$

$$ex_{4a} = s - b \quad \text{oraz} \quad ex_{4b} = s - z - b, \quad (32)$$

$$ex_5 = ex_1 - x, \quad (33)$$

$$ex_6 = m + ex_5, \quad (34)$$

$$ex_7 = m - 0,5f, \quad (35)$$

$$ex_{8a} = 0,5ex_5 \quad \text{oraz} \quad ex_{8b} = 0,5(ex_5 + z), \quad (36)$$

$$ex_{9a} = ex_5 + b + m \quad \text{oraz} \quad ex_{9b} = ex_5 + b + m + z, \quad (37)$$

$$ex_{10a} = 2/3ex_5 - m \quad \text{oraz} \quad ex_{10b} = 2/3ex_5 + 1/2z - m, \quad (38)$$

$$ex_{11a} = ex_5 - 2m \quad \text{oraz} \quad ex_{11b} = ex_5 + z - 2m, \quad (39)$$

$$ex_{12a} = ex_5 \quad \text{oraz} \quad ex_{12b} = ex_5 + z, \quad (40)$$

$$ex_{13a} = ex_{12a} - s \quad \text{oraz} \quad ex_{13b} = ex_{12b} - s, \quad (41)$$

$$ex_{14a} = ex_{8a} + s \quad \text{oraz} \quad ex_{14b} = ex_{8b} + s. \quad (42)$$

Wyliczone kierunki i tempa zmian kolejnych parametrów mutacyjnych względem zmian przepływu wody oraz osadów zestawiono w tabeli 9 w odniesieniu do poprzecznej geometrii hydraulicznej oraz w tabeli 10 w odniesieniu do podłużnej geometrii hydraulicznej. Analiza wykładników zawartych w tych tabelach wskazuje, że zdecydowana większość parametrów oznacza się cechami negatywnej allometrii. Stwierdzenie to dobitnie uświadamia, iż parametrami najbardziej zmiennymi w korycie rzeczonym są przepływy wody i osadów. Wyraźnym odstępstwem znaczy się przekrój 2 w Dębczynie, dla którego połowa wykładników ma wartości $ex > 1$. Tak jak to wyjaśniano wcześniej, podwyższone wartości wykładników są spowodowane perturbacjami w normalnym, swobodnym spływie wody. Efektem tych zakłóceń jest najwyższe tempo zmian promienia hydraulicznego (wśród badanych przekrojów), który zareagował podobnie jak głębokość wśród parametrów podstawowych. Promień hydrauliczny jest składnikiem wielu wzorów parametrów mutacyjnych, toteż przyczynił się on do znacznego zawyżenia wartości wykładników niektórych parametrów, np. liczby Reynoldsa, zdolności rzeki, współczynników szorstkości Manninga i tarcia Darcy-Weisbacha oraz naprężeń stycznych.

Tabela 9

Kierunki i tempa zmian mutacyjnych parametrów poprzecznej geometrii hydraulicznej w stosunku do zmieniającego się przepływu wody Q i przepływu osadów Q_L dla badanych przekrojów poprzecznych koryta Parsęty

Parametr	Wykładnik	Krosino			Dębczynno			Bardy		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Q										
A	ex_1	0,84	1,01	0,80	0,75	1,09	0,86	0,72	0,79	0,78
F	ex_2	-0,44	-0,31	-0,64	-0,13	-0,73	-0,36	-0,64	-0,05	-0,62
CF	ex_{3a}	-0,44	-0,31	-0,64	-0,13	-0,73	-0,36	-0,64	-0,05	-0,62
K_c	ex_{4a}	-0,15	-0,20	0,14	-0,21	-0,03	0,06	0,10	-0,39	-0,21
R	ex_5	0,57	0,62	0,62	0,33	1,18	0,57	0,62	0,42	0,64
Re	ex_6	0,73	0,62	0,81	0,58	1,09	0,71	0,88	0,62	0,86
Fr	ex_7	-0,16	-0,33	-0,17	0,10	-0,55	-0,17	-0,08	-0,01	-0,13
V_*	ex_{8a}	0,29	0,31	0,31	0,17	0,59	0,29	0,31	0,21	0,32
Ω	ex_{9a}	0,93	0,97	0,89	1,02	1,27	0,96	0,92	0,99	0,94
n	ex_{10a}	0,22	0,41	0,22	-0,03	0,88	0,24	0,15	0,08	0,21
ff	ex_{11a}	0,25	0,61	0,24	-0,17	1,36	0,29	0,10	0,02	0,20
τ	ex_{12a}	0,57	0,62	0,62	0,33	1,18	0,57	0,62	0,42	0,64
Θ	ex_{13a}	0,52	0,47	0,40	0,10	1,03	0,26	0,48	0,44	0,77
Re_*	ex_{14a}	0,34	0,46	0,53	0,40	0,74	0,60	0,45	0,19	0,19
Q_L										
A	ex_1	0,78	0,84	0,73	0,74	1,34	1,02	0,73	0,81	0,67
F	ex_2	-0,40	-0,22	-0,59	0,24	-0,90	-0,44	-0,65	-0,05	-0,53
CF	ex_{3a}	-0,40	-0,22	-0,59	0,24	-0,90	-0,44	-0,65	-0,05	-0,53
K_c	ex_{4a}	-0,14	-0,16	0,12	-0,06	-0,08	0,04	0,11	-0,37	-0,14
R	ex_5	0,53	0,50	0,57	0,29	1,05	0,69	0,63	0,42	0,55
Re	ex_6	0,68	0,56	0,76	0,58	0,97	0,87	0,88	0,67	0,79
Fr	ex_7	-0,14	-0,21	-0,14	0,17	-0,64	-0,19	-0,10	0,04	-0,06
V_*	ex_{8a}	0,26	0,25	0,29	0,15	0,53	0,35	0,32	0,21	0,28
Ω	ex_{9a}	0,87	0,87	0,83	1,07	1,19	1,16	0,92	1,05	0,86
n	ex_{10a}	0,20	0,27	0,19	-0,10	0,78	0,28	0,17	0,03	0,13
ff	ex_{11a}	0,23	0,38	0,19	-0,29	1,21	0,33	0,13	-0,08	0,07
τ	ex_{12a}	0,53	0,50	0,57	0,29	1,05	0,69	0,63	0,42	0,55
Θ	ex_{13a}	0,48	0,35	0,38	-0,14	0,91	0,36	0,48	0,41	0,62
Re_*	ex_{14a}	0,32	0,40	0,48	0,58	0,67	0,68	0,47	0,22	0,21

Uwaga: wykładniki opisane są dwoma dolnymi indeksami:

- indeks liczbowy oznacza numer kolejnego parametru mutacyjnego geometrii hydraulicznej (por. tab. 4);
- indeks literowy „a” oznacza stosowanie równań wykładnikowych właściwych dla poprzecznej geometrii hydraulicznej (por. równania (29–42)).

Większość wykładników poprzecznej geometrii hydraulicznej wykazuje wzrost wielkości parametrów mutacyjnych wraz ze wzrostem przepływu wody (tab. 9). Najbardziej dynamicznymi zmianami cechują się: pole powierzchni przekroju poprzecznego, promień hydrauliczny, liczba Reynoldsa, zdolność rzeki i naprężenie styczne. Można dodać, że zdolność rzeki zmienia się w stosunku prawie izometrycznym do przepływów. Duże tempo zmian liczby Reynoldsa dokumentuje istotne zmiany w stopniu turbulencji wody w zależ-

ności od stanów wody. Z kolei, wzrastanie naprężenia stycznego z przepływami świadczy o większych możliwościach wysokich przepływów wody do uruchamiania osadów dennych. Wzrastaniu przepływów towarzyszy wzrost oporności koryta, czego dowodzą wykładniki współczynników szorstkości i tarcia, aczkolwiek tempo zmian tych parametrów nie jest zbyt duże. Oporność koryta zdeterminowana jest głównie głębokością przepływu, a co za tym idzie oporami stawianymi przez brzegi koryta rzecznoego.

Odwrotnie proporcjonalnie do wzrastających przepływów wody i osadów zachowują się: stosunek szerokość/głębokość, wskaźnik kształtu koryta i liczba Frouda (tab. 9). Zwraca uwagę identyczność wykładników dwóch pierwszych z wymienionych parametrów, która wynika z przyjęcia założenia dla drugiego z nich, iż spadek dla danego przekroju poprzecznego koryta jest niezmienny w okresie obserwacyjnym, a więc $z = 0$ (podobnie jest w przypadku promienia hydraulicznego i naprężenia stycznego). Dla dłuższych przedziałów czasowych takie założenie byłoby oczywiście błędne. Trudno jest wyznaczyć wartość progową między przedziałami czasowymi niewpływającymi i wpływającymi na zmiany spadku, ponieważ decyduje o tym przede wszystkim aktywność geomorficzna rzeki. Wynika z tego, że każda rzeka reguluje tę granicę w sposób indywidualny, właściwy tylko dla tej rzeki. Można wnosić, iż w miarę duże tempo zmian stosunku szerokość/głębokość świadczy o pewnej przewadze procesów erozji wgłębnej nad procesami erozji bocznej. Zmniejszające się, choć w niewielkim stopniu, wartości liczby Frouda wskazują na deniwelowanie rzeźby dna koryta. Jest to zgodne z obserwacjami terenowymi, albowiem w czasie niższych przepływów rejestrowano (podczas morfologicznego kartowania dna) rozwinięte formy piaszczyste typu wydm i dużych ripplemarków, natomiast w czasie wyższych przepływów – różnego rodzaju ripplemarki, jak również płaskie dno, po którym był mieciony materiał piaszczysty.

Wartości wykładników niektórych parametrów mutacyjnych poprzecznej geometrii hydraulicznej wyraźnie różnią się ze względu na kształt przekroju poprzecznego koryta, np. zmiany stosunku szerokość/głębokość są najbardziej dynamiczne na prostych odcinkach rzeki, natomiast najmniejszą dynamiką cechują się przekroje zlokalizowane na zakolach o większych stosunkach krzywizny. Godzi się przypomnieć, że tendencja ta koreluje z prawidłowością D. D. Rhodesa (1977), jednakże była niemożliwa do wyznaczenia na podstawie zaproponowanych przez tego autora kryteriów hydraulicznych. Takie same relacje dynamiki tempa zmian parametrów na wymienionych typach przekrojów obserwowane są w odniesieniu do wskaźnika kształtu koryta, promienia hydraulicznego, liczby Frouda, naprężenia stycznego i liczby Reynoldsa ziarna. Opisane relacje są efektem tempa zmian głębokości, która determinuje reakcję koryta na wzrastające przepływy. W przypadku natomiast liczby Reynoldsa ziarna szybsze tempo zmian tego parametru na prostych odcinkach rzeki jest powodowane małym zróżnicowaniem granulometrycznym transportowanych ziarn z jednej strony, z drugiej zaś paralelną reakcją mediany ziarna na wzrastające przepływy wody (por. ryc. 24e). Ostatnim parametrem odmien-

nie reagującym na kształt przekroju poprzecznego koryta jest wskaźnik stabilności koryta, którego wartości dla odcinków prostych rzeki wzrastają, a dla zakoli – maleją. Przeciwnastawne kierunki zmian tego parametru wynikają, jak się wydaje, z różnic w szerokości efektywnej koryta, tzn. dużego jej zredukowania na przekrojach zakolowych.

Wykładniki parametrów mutacyjnych podłużnej geometrii hydraulicznej (tab. 10) można rozdzielić na dwie zasadnicze grupy, pomimo iż wszystkie wykładniki cechuje negatywna allometria. Pierwsza grupa wykładników do-

Tabela 10

Kierunki i tempa zmian mutacyjnych parametrów podłużnej geometrii hydraulicznej w stosunku do zmieniającego się przepływu wody Q i przepływu osadów Q_L w czasie kolejnych pomiarów koryta Parsęty

Para- metr	Wykła- dnik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q											
A	ex_1	0,83	0,76	0,80	0,79	0,83	0,77	0,70	0,78	0,72	0,83
F	ex_2	0,11	0,18	0,17	0,09	0,17	0,11	0,46	0,12	0,22	0,01
CF	ex_{3b}	-0,42	-0,43	-0,37	-0,45	-0,47	-0,49	-0,16	-0,39	-0,53	-0,52
K_c	ex_{4b}	0,28	0,17	0,27	0,44	0,35	0,26	0,29	0,23	0,45	0,22
R	ex_5	0,38	0,31	0,35	0,36	0,36	0,35	0,19	0,35	0,29	0,41
Re	ex_6	0,56	0,55	0,56	0,57	0,54	0,57	0,49	0,57	0,57	0,59
Fr	ex_7	0,00	0,10	0,05	0,04	0,02	0,06	0,24	0,06	0,16	-0,03
V_*	ex_{8b}	-0,09	-0,15	-0,10	-0,09	-0,14	-0,13	-0,22	-0,08	-0,23	-0,06
Ω	ex_{9b}	0,47	0,41	0,49	0,47	0,40	0,41	0,45	0,51	0,29	0,49
n	ex_{10b}	-0,21	-0,34	-0,25	-0,24	-0,26	-0,29	-0,48	-0,24	-0,46	-0,17
ff	ex_{11b}	-0,54	-0,78	-0,61	-0,60	-0,64	-0,69	-1,03	-0,60	-1,02	-0,48
τ	ex_{12b}	-0,18	-0,30	-0,19	-0,18	-0,28	-0,25	-0,43	-0,16	-0,46	-0,12
Θ	ex_{13b}	-0,37	-0,33	-0,39	-0,52	-0,49	-0,35	-0,68	-0,33	-0,63	-0,23
Re_*	ex_{14b}	0,10	-0,12	0,10	0,25	0,07	-0,03	0,03	0,09	-0,06	0,05
Q_L											
A	ex_1	0,76	0,76	0,79	0,81	0,86	0,78	0,72	0,80	0,77	0,85
F	ex_2	0,16	0,16	0,15	0,11	0,18	0,10	0,48	0,14	0,17	0,01
CF	ex_{3b}	-0,40	-0,46	-0,37	-0,45	-0,50	-0,51	-0,20	-0,39	-0,67	-0,54
K_c	ex_{4b}	0,28	0,20	0,26	0,44	0,38	0,27	0,36	0,25	0,59	0,23
R	ex_5	0,32	0,32	0,34	0,37	0,36	0,36	0,19	0,35	0,33	0,42
Re	ex_6	0,57	0,57	0,55	0,60	0,55	0,59	0,53	0,59	0,69	0,60
Fr	ex_7	0,10	0,10	0,05	0,06	0,02	0,06	0,28	0,08	0,21	-0,03
V_*	ex_{8b}	-0,12	-0,15	-0,10	-0,10	-0,16	-0,13	-0,25	-0,09	-0,26	-0,07
Ω	ex_{9b}	0,41	0,41	0,48	0,50	0,39	0,42	0,45	0,53	0,32	0,48
n	ex_{10b}	-0,25	-0,35	-0,25	-0,26	-0,29	-0,30	-0,55	-0,27	-0,56	-0,18
ff	ex_{11b}	-0,60	-0,80	-0,62	-0,65	-0,70	-0,71	-1,17	-0,66	-1,23	-0,49
τ	ex_{12b}	-0,24	-0,30	-0,20	-0,19	-0,32	-0,25	-0,49	-0,18	-0,51	-0,13
Θ	ex_{13b}	-0,43	-0,34	-0,39	-0,53	-0,54	-0,35	-0,77	-0,37	-0,73	-0,24
Re_*	ex_{14b}	0,07	-0,11	0,09	0,24	0,06	-0,03	0,03	0,10	-0,04	0,04

Uwaga: wykładniki opisane są dwoma dolnymi indeksami:

- indeks liczbowy oznacza numer kolejnego parametru mutacyjnego geometrii hydraulicznej (por. tab. 4);
- indeks literowy „b” oznacza stosowanie równań wykładnikowych właściwych dla podłużnej geometrii hydraulicznej (por. równania (29–42)).

datnich obejmuje osiem parametrów, których wartości wzrastają równocześnie z przepływami. Zwraca uwagę stosunkowo mały zakres wahań tych wykładników, co jest widoczne szczególnie w przypadku pola powierzchni przekroju poprzecznego koryta oraz liczby Reynoldsa. Względna stałość wykładników wskazuje na uniezależnienie tych dwóch parametrów od częstotliwości przepływów. Wynika z tego zatem, że są one sterowane tylko wzrastającą wielkością przepływu wody wzdłuż biegu rzeki.

Interesującej interpretacji geomorficznej dostarcza tempo zmian zdolności rzeki, które w przypadku podłużnej geometrii hydraulicznej jest mniej więcej o połowę mniejsze aniżeli w poprzecznej geometrii hydraulicznej. Niewątpliwie jest to skutek redukującego wpływu spadku. Pozwala to wnosić, że gdyby rzekę podzielić na wiele odcinków wzdłuż profilu podłużnego i dla każdego z nich obliczyć lokalną zdolność rzeki, to okazałoby się, przy założeniu stałego spadku dla całego profilu rzeki, iż wykładniki zdolności rzeki byłyby takie same, czyli tempo zmian byłoby $z = 0$. W przypadku zmniejszającego się spadku, tak jak to zazwyczaj bywa w rzekach nizinnych, tempa zmian zdolności rzeki wzrastałyby, osiągając w odcinku ujściowym, gdzie można się spodziewać najmniejszych zmian spadku, wartości maksymalnie zbliżone do tempa zmian zdolności rzeki w ujęciu poprzecznej geometrii hydraulicznej. Na tej podstawie można sugerować, że dla płaskich (równinnych) obszarów, gdzie tempo zmian spadku $z \rightarrow 0$, tempa zmian zdolności rzeki w ujęciu podłużnej i poprzecznej geometrii hydraulicznej są do siebie podobne ($ex_{9a} \approx ex_{9b}$). Jeśli obszary takie występowałyby kilkakrotnie w pewnych odstępach z biegiem rzeki, tworząc zestopniowany profil podłużny rzeki, upoważniałoby to wówczas do stwierdzenia nieregularności rozkładu energii potencjalnej spływających wód wzdłuż biegu rzeki. Dalej, nieregularny rozkład energii potencjalnej tych wód uświadamia różny stopień dostosowywania się koryta rzeczno do przyjmowania danego zakresu przepływów na kolejnych odcinkach rzeki. Płaskie odcinki rzeki odznaczałyby się zatem lepszym dostosowaniem, natomiast nachylone – gorszym. Dotychczasowe omówienia wyników badań koryta Parsęty wydają się potwierdzać powyższe rozważania, albowiem odcinek obserwacyjny w Krosinie o większych różnicach spadku odznacza się niedostosowaniem do przyjmowania wysokich przepływów. Niemniej jednak, przedstawione poglądy o roli zdolności rzeki w kontekście dostosowywania się koryta do przepływów należałoby zweryfikować oraz przetestować zarówno w warunkach eksperymentalnych, jak i naturalnych na odpowiednio dobranych rzekach.

Druga grupa wykładników podłużnej geometrii hydraulicznej, wyróżniająca się znakami ujemnymi (tab. 10), wskazuje na zmniejszanie się wartości sześciu parametrów mutacyjnych wraz ze wzrostem przepływu w dół rzeki. W większości są to parametry hydrauliczne takie, jak: prędkość dynamiczna, współczynniki szorstkości i tarcia, naprężenie styczne oraz bezwymiarowe naprężenie styczne. Parametry te są redukowane przez spadek. Dla współczynników szorstkości i tarcia tendencja ta jest wystarczająco objaśniona w dotych-

czasowej literaturze przedmiotu (np. Leopold, Miller 1956; Leopold, Wolman, Miller 1964; Leopold, Skibitzke 1967; Church 1972; Richards 1973; Rhodes 1977; Williams 1978b; Andrews 1979) i w dużej mierze wyjaśnienia te mogą być obowiązujące dla pozostałych parametrów. Należy jedynie podkreślić, że tempo zmian współczynnika tarcia Darcy-Weisbacha jest ponad dwukrotnie większe aniżeli dla współczynnika szorstkości Manninga. Taki stan rzeczy świadczy o większej czułości współczynnika tarcia na zmiany oporności dna i brzegów rzecznych w przekroju poprzecznym koryta. Zmiany te są gwałtowniejsze w czasie przepływów o mniejszej częstotliwości, a więc o większych wielkościach, kiedy w profilu podłużnym rzeki występuje zróżnicowanie rzeźby dna koryta oraz maksymalne zalanie strefy brzegowej, co implikuje wzrost oporów koryta rzecznego w spływie wody.

ORIENTACJA ALLOMETRYCZNA KORYTA PARSĘTY

Przedstawione zmiany allometryczne koryta Parsęty, opierające się na analizie zależności geometrii hydraulicznej, nie tylko potwierdzają tendencje zachowań badanego koryta, jakie omówiono wcześniej, lecz także rozszerzają zakres informacji o jego zmienności geomorficznej, szczególnie w ujęciu ilościowym. Zmiany niemal wszystkich parametrów odznaczają się właściwościami negatywnej allometrii, co świadczy o decydującym kontrolowaniu tych parametrów przez przepływy wody i osadów. Sterowanie ich zmianami jest uwarunkowane wieloma czynnikami, na co wskazują różne templa reakcji poszczególnych parametrów na te same wielkości przepływów lub ten sam zakres przepływów. Jedynie zmiany ładunku materiału zawieszzonego można zaliczyć do pozytywnej allometrii. Jest to rezultat szybszych zmian koncentracji tego materiału w rzece aniżeli przepływów.

Wszystkie stwierdzone tendencje zmian allometrycznych koryta Parsęty względem wzrastającego przepływu wody są w całej rozciągłości prawomocne w stosunku do wzrastającego przepływu osadów. Ta specyficzna kooperacja tych dwóch zmiennych niezależnych systemu korytowego wskazuje dobitnie na ich równoczesne sterowanie i kontrolowanie przez zdarzenia i procesy zachodzące w zlewni.

Za pomocą kierunków i templa dynamicznych zmian allometrycznych niektórych parametrów geometrii hydraulicznej jest możliwe wskazanie charakterystycznych wartości wykładników, różnicujących przekroje poprzeczne koryta Parsęty w zależności od ich lokalizacji. Parametrami najlepiej oddającymi różne kształty przekrojów są: szerokość, głębokość, ładunki materiału zawieszzonego i wlezonego, stosunek szerokość/głębokość, wskaźnik kształtu koryta, promień hydrauliczny, liczba Frouda, naprężenie styczne i liczba Reynoldsa ziarna. Przegląd wykładników tych parametrów upoważnia raz jeszcze do stwierdzenia pewnej konwergencji geomorficznej przekrojów zlokalizowanych na prostych odcinkach rzeki oraz na zakolach o małych stosunkach krzywizny, a także do stwierdzenia ich odmienności w odniesieniu do prze-

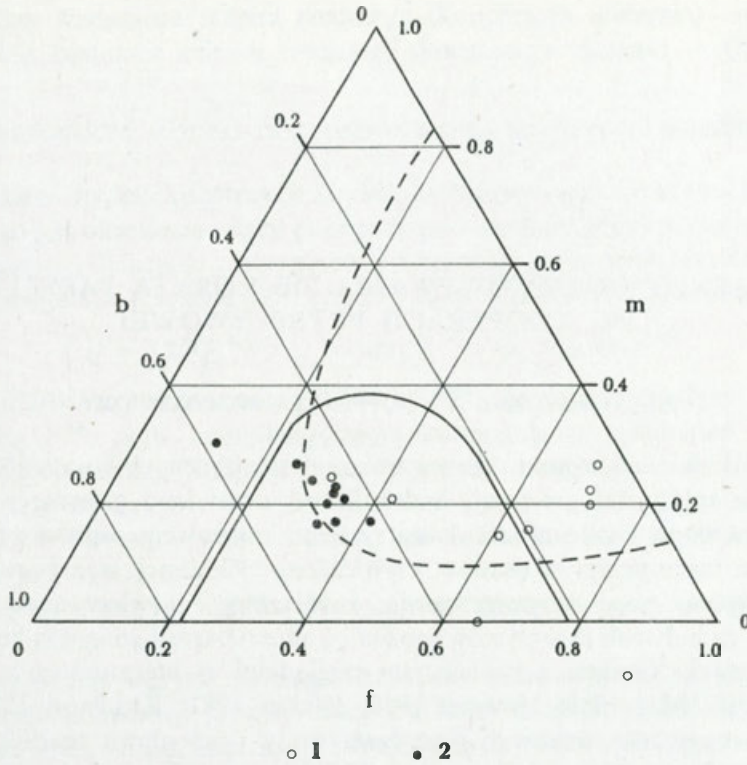
krojów na dużych zakolach. Z tego wynika sugestia, że często przytaczane w literaturze wykładniki regionalne (np. Leopold, Maddock 1953; Leopold, Miller 1956; Leopold, Wolman, Miller 1964; Richards 1982; Knighton 1984) są obarczone może nie tyle błędami, ile niezbyt konsekwentnym doбором wykładników, które charakteryzują różne typy kształtów przekrojów poprzecznych koryta.

W podejściu statycznej analizy allometrycznej uderza stosunkowo mały zakres zmienności wykładników niemalże wszystkich parametrów tak morfologicznych, jak i hydraulicznych. W konsekwencji, dla koryta Parsęty należałoby sądzić, że nie częstotliwość przepływu, lecz jego wielkość wzrastająca w dół rzeki jest przede wszystkim odpowiedzialna za zmiany parametrów geometrii hydraulicznej. Opinia ta jest o tyle ważna, o ile w prezentowanych badaniach objęto pomiarami trzy główne strefy przepływów charakterystycznych, w tej liczbie przepływy pełnokorytowe. Niemniej przedział zmienności wykładników okazał się wystarczający do określenia istnienia antytetycznych układów wiązek prostych na diagramach, wskazujących na stopień dostosowania koryta do zakresu przepływów w nim występujących. Podanie prawidłowości o charakterze dostosowywania się koryta według układów antytetycznych prostych, ilustrujących funkcje geometrii hydraulicznej, zostało poparte nie tylko analizą wybranych parametrów, lecz głównie zmianami zdolności rzeki w ujęciu poprzecznej i podłużnej geometrii hydraulicznej w kontekście zmian spadku. Tak więc na płaskich odcinkach profilu podłużnego, gdzie obserwowana jest dla Parsęty zbieżność prostych na diagramach, można oczekiwać, że koryto jest lepiej przystosowane do przyjmowania pełnego zakresu wielkości przepływów wody i osadów aniżeli na odcinkach nachylonych profilu podłużnego rzeki, dla których widoczna jest rozbieżność prostych na diagramach.

Przedstawiona analiza allometrycznych zmian koryta Parsęty wskazuje na typowość tej rzeki dla warunków klimatu umiarkowanego. Lokalizacja punktów, opisanych wykładnikami podstawowych parametrów poprzecznej i podłużnej geometrii hydraulicznej, na diagramie $b-f-m$ (ryc. 32) dokumentuje trzy główne symptomy dla rzek tej strefy morfoklimatycznej:

- 1) małązmienną i niską wartość wykładnika prędkości m ;
- 2) w podejściu dynamicznej analizy allometrycznej wykładniki głębokości są większe od wykładników szerokości, czyli $b < f$;
- 3) w podejściu statycznej analizy allometrycznej wykładniki szerokości są większe od wykładników głębokości, czyli $b > f$.

Należy dodać, że wykładniki pola powierzchni przekroju poprzecznego koryta są zasadniczo niezmiennie, bez względu na rodzaj analizy geometrii hydraulicznej. To sprzężenie równoczesnych, jednokierunkowych i identycznych zmian pola powierzchni przekroju wynika z generalnego dopasowania rozmiarów koryta Parsęty do przepływów najczęściej w nim występujących. Można sądzić dalej, iż system korytowy Parsęty znajduje się w stanie równowagi dynamicznej o względnie wąskim zakresie zmienności dla po-



Ryc. 32. Pozycja wykładników poprzecznej (1) i podłużnej (2) geometrii hydraulicznej koryta Parsęty na tle charakterystycznych pól poprzecznej (linia ciągła) i podłużnej (linia przerywana) geometrii hydraulicznej dla rzek strefy klimatu umiarkowanego (linie wykreślono na podstawie danych C. C. Parka (1977))

Fig. 32 The position of at-a-station (1) and downstream (2) hydraulic geometry exponents of the Parsęta River channel as against the characteristic fields of at-a-station (continuous line) and downstream (dotted line) hydraulic geometry for temperate climatic zone rivers (lines were drawn on the basis of data supplied by C. C. Park (1977))

szczególnych zdarzeń geomorficznych. Fakty te świadczą o stosunkowej stabilności koryta Parsęty, kształtowanego w dłuższej skali czasowej aniżeli okres obserwacyjny niniejszych badań. Jeśliby zatem rozpatrywać aktualną ewolucję koryta Parsęty w nieco dłuższej skali czasowej, to należy jej przypisać pewną przewagę tendencji agradacyjnej nad degradacyjną, o czym przekonują niskie tempo erozji bocznej, nieznaczna migracja koryta, przerabianie aluwiów w dnie koryta, miąższe osady pozakorytowe.

TRENDY DOSTOSOWYWANIA SIĘ KORYTA PARSEŃY DO KOOPERACJI PRZEPLYWOWEJ

REŻIM RZECZNY A KOOPERACJA PRZEPLYWOWA

Przedstawione kierunki i tempa zmian allometrycznych koryta Parsęty na podstawie zależności geometrii hydraulicznej omawiano głównie względem przepływu wody. Zmienną niezależną systemu korytowego, oprócz przepływu wody, jest także przepływ osadów, czyli całkowity ładunek transportowanych materiałów w rzece: rozpuszczonego, zawieszzonego i wlezonego. Współdziałanie tych dwóch przepływów można by zatem określić mianem kooperacji przepływowej. Zgodnie z istniejącymi poglądami w literaturze (np. Blench 1969; Graf 1971, 1981; Howard 1980; Hickin 1981; Knighton 1984), występujące tendencje zachowań przepływu wody i przepływu osadów, relacje między nimi, uwarunkowania oraz implikacje geomorficzne tych przepływów w dowolnej skali czasowej przyjęto w tej pracy określać jako reżim rzeczny. Tak więc kooperacja przepływowa jest w pewnym sensie miernikiem reżimu rzecznoego (Zwoliński 1986d).

Analiza bezpośrednich relacji między przepływem wody a przepływem osadów (por. ryc. 21, 22, 23 i 29 – diagramy f oraz ryc. 28 i 31 – diagramy i) wskazuje, że kooperacja przepływowa Parsęty ma trzy wyraźne cechy:

1) jednokierunkowość zmian – zwiększaniu lub zmniejszaniu przepływu wody odpowiada zawsze zwiększanie lub zmniejszanie przepływu osadów i *vice versa*;

2) izometria tempa zmian – tempo obydwóch przepływów jest równe lub prawie równe jedności;

3) proporcjonalność odwrotna tempa zmian – szybsze tempo zwiększania lub zmniejszania przepływu wody oraz wolniejsze tempo zwiększania lub zmniejszania przepływu osadów i *vice versa*.

Pierwsza z wymienionych cech kooperacji przepływowej uświadamia dwójaki styl zachowywania się reżimu rzecznoego Parsęty, a mianowicie jego wzrastanie lub opadanie. Przez analogię do hydrogramu można zatem wyznaczyć fazę wzrastania lub fazę opadania reżimu rzecznoego (kooperacji przepływowej). Odwołując się do modelowych równań (2–5) metamorfozy rzecznoej S. A. Schumma (1977), reżim rzeczny jest w nich zakodowany po lewej stronie, a więc dla:

- fazy wzrastania reżimu rzeczno (kooperacja dodatnia) $\rightarrow Q^+ Q_L^+$,
- fazy opadania reżimu rzeczno (kooperacja ujemna) $\rightarrow Q^- Q_L^-$.

KONSTRUKCJA MODELI DOSTOSOWYWANIA SIĘ KORYTA RZECZNEGO

Punktem wyjścia konstrukcji modeli dostosowywania się koryta do reżimu rzeczno jest określenie relacji pomiędzy parametrami składowymi kooperacji przepływowej. Relacje te zaczerpnięto z zależności geometrii hydraulicznej, np. dla przekroju 1 w Krosinie (por. ryc. 21 i 28 oraz tab. 6) relacje te mają postać:

$$Q = 3,10Q_L^{0,93} \quad \text{oraz} \quad Q_L = 0,31Q^{1,04}. \quad (43)$$

A zatem dla fazy wzrastania $Q^{+0,93}Q_L^{+1,04}$, natomiast dla fazy opadania $Q^{-0,93}Q_L^{-1,04}$, czyli kompletny zapis kooperacji przepływowej w ujęciu dynamicznej analizy allometrycznej wygląda następująco: $Q^{\pm 0,93}Q_L^{\pm 1,04}$, co oznacza, że

- jeżeli przepływ wody wzrasta lub opada o x , to przepływ osadów wzrasta lub opada o $x^{1,04}$ lub $x^{-1,04}$;
- jeżeli przepływ osadów wzrasta lub opada o y , to przepływ wody wzrasta lub opada o $y^{0,93}$ lub $y^{-0,93}$.

Odpowiedzią koryta rzeczno na takie zachowywanie się parametrów składowych kooperacji przepływowej jest konsekwentne dostosowywanie się podstawowych, suplementarnych i mutacyjnych parametrów geometrii hydraulicznej. Wracając do powyższego przykładu zatem otrzymano dla parametrów podstawowych i suplementarnych następujące sekwencje równań potęgowych:

$$W = 7,95Q^{0,20} \quad \text{oraz} \quad W = 9,98Q_L^{0,19}, \quad (44)$$

$$D = 0,39Q^{0,64} \quad \text{oraz} \quad D = 0,80Q_L^{0,59}, \quad (45)$$

$$V = 0,32Q^{0,16} \quad \text{oraz} \quad V = 0,39Q_L^{0,15}, \quad (46)$$

$$P = 8,57Q^{0,27} \quad \text{oraz} \quad P = 11,64Q_L^{0,25}, \quad (47)$$

$$d_{50} = 0,37Q^{0,05} \quad \text{oraz} \quad d_{50} = 0,39Q_L^{0,05}, \quad (48)$$

$$L_d = 0,32Q^{0,90} \quad \text{oraz} \quad L_d = 0,89Q_L^{0,85}, \quad (49)$$

$$L_s = 0,0056Q^{2,00} \quad \text{oraz} \quad L_s = 0,05Q_L^{1,98}, \quad (50)$$

$$L_b = 0,037Q^{0,57} \quad \text{oraz} \quad L_b = 0,07Q_L^{0,59}, \quad (51)$$

oraz kierunki i tempa zmian parametrów mutacyjnych (por. tab. 9), obliczone z równań wykładnikowych (29–42):

$$ex_1 = 0,84 \quad \text{oraz} \quad ex_1 = 0,78, \quad (52)$$

$$ex_2 = -0,44 \quad \text{oraz} \quad ex_2 = -0,40, \quad (53)$$

$$ex_{3a} = -0,44 \quad \text{oraz} \quad ex_{3a} = -0,40, \quad (54)$$

$$ex_{4a} = -0,15 \quad \text{oraz} \quad ex_{4a} = -0,14, \quad (55)$$

$$ex_5 = 0,57 \quad \text{oraz} \quad ex_5 = 0,53, \quad (56)$$

$$ex_6 = 0,73 \quad \text{oraz} \quad ex_6 = 0,68, \quad (57)$$

$$ex_7 = -0,16 \quad \text{oraz} \quad ex_7 = -0,14, \quad (58)$$

$$ex_{8a} = 0,29 \quad \text{oraz} \quad ex_{8a} = 0,26, \quad (59)$$

$$ex_{9a} = 0,93 \quad \text{oraz} \quad ex_{9a} = 0,87, \quad (60)$$

$$ex_{10a} = 0,22 \quad \text{oraz} \quad ex_{10a} = 0,20, \quad (61)$$

Tabela 11

Modele dostosowywania się koryta Parsęty do aktualnego reżimu rzeczno na kolejnych przekrojach poprzecznych koryta w obrębie odcinków obserwacyjnych (dostosowywanie profilowe, pozycyjne, lokalne i regionalne wg poprzecznej geometrii hydraulicznej)

Parametr	Wykładnik	Krosino			Dębczyno			Bardy		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Kooperacja przepływowa										
Q	w	$\pm 0,93$	$\pm 0,89$	$\pm 0,92$	$\pm 1,04$	$\pm 1,25$	$\pm 1,18$	$\pm 1,00$	$\pm 1,08$	$\pm 0,91$
Q_L	w	$\pm 1,04$	$\pm 1,06$	$\pm 1,05$	$\pm 0,88$	$\pm 0,76$	$\pm 0,81$	$\pm 0,96$	$\pm 0,83$	$\pm 1,02$
\approx	\approx	\approx	\approx	\approx	\approx	\approx	\approx	\approx	\approx	\approx
Podstawowe parametry geometrii hydraulicznej										
W	b	$\pm 0,20$	$\pm 0,33$	$\pm 0,08$	$\pm 0,47$	$\pm 0,20$	$\pm 0,27$	$\pm 0,04$	$\pm 0,38$	$\pm 0,08$
D	f	$\pm 0,62$	$\pm 0,60$	$\pm 0,69$	$\pm 0,28$	$\pm 1,02$	$\pm 0,67$	$\pm 0,69$	$\pm 0,43$	$\pm 0,65$
V	m	$\pm 0,16$	$\pm 0,03$	$\pm 0,19$	$\pm 0,27$	$\pm 0,09$	$\pm 0,16$	$\pm 0,26$	$\pm 0,23$	$\pm 0,23$
Suplementarne parametry geometrii hydraulicznej										
P	x	$\pm 0,26$	$\pm 0,37$	$\pm 0,17$	$\pm 0,44$	$\pm 0,27$	$\pm 0,31$	$\pm 0,10$	$\pm 0,38$	$\pm 0,13$
d_{50}	s	$\pm 0,05$	$\pm 0,15$	$\pm 0,21$	$\pm 0,33$	$\pm 0,15$	$\pm 0,32$	$\pm 0,15$	$\mp 0,01$	$\mp 0,10$
L_d	u_1	$\pm 0,88$	$\pm 0,87$	$\pm 0,88$	$\pm 0,78$	$\pm 0,94$	$\pm 0,93$	$\pm 0,93$	$\pm 0,89$	$\pm 0,99$
L_s	u_2	$\pm 1,99$	$\pm 2,42$	$\pm 2,38$	$\pm 3,40$	$\pm 1,34$	$\pm 1,05$	$\pm 2,15$	$\pm 1,28$	$\pm 1,65$
L_b	u_3	$\pm 0,58$	$\mp 0,02$	$\pm 0,48$	$\pm 0,82$	$\mp 0,06$	$\pm 0,36$	$\pm 0,73$	$\pm 0,81$	$\pm 0,73$
Mutacyjne parametry geometrii hydraulicznej										
A	ex_1	$\pm 0,81$	$\pm 0,93$	$\pm 0,77$	$\pm 0,75$	$\pm 1,22$	$\pm 0,94$	$\pm 0,73$	$\pm 0,80$	$\pm 0,73$
F	ex_2	$\mp 0,42$	$\mp 0,27$	$\mp 0,62$	$\pm 0,19$	$\mp 0,82$	$\mp 0,40$	$\mp 0,65$	$\mp 0,05$	$\mp 0,58$
CF	ex_{3a}	$\mp 0,42$	$\mp 0,27$	$\mp 0,62$	$\pm 0,19$	$\mp 0,82$	$\mp 0,40$	$\mp 0,65$	$\mp 0,05$	$\mp 0,58$
K_c	ex_{4a}	$\mp 0,15$	$\mp 0,18$	$\pm 0,13$	$\mp 0,14$	$\mp 0,06$	$\pm 0,05$	$\pm 0,11$	$\mp 0,38$	$\mp 0,18$
R	ex_5	$\pm 0,55$	$\pm 0,56$	$\pm 0,60$	$\pm 0,31$	$\pm 1,12$	$\pm 0,63$	$\pm 0,63$	$\pm 0,42$	$\pm 0,60$
Re	ex_6	$\pm 0,71$	$\pm 0,59$	$\pm 0,79$	$\pm 0,58$	$\pm 1,03$	$\pm 0,79$	$\pm 0,88$	$\pm 0,65$	$\pm 0,83$
Fr	ex_7	$\mp 0,15$	$\mp 0,27$	$\mp 0,16$	$\pm 0,14$	$\mp 0,60$	$\mp 0,18$	$\mp 0,09$	$\mp 0,02$	$\mp 0,10$
V_*	ex_{8a}	$\pm 0,28$	$\pm 0,28$	$\pm 0,30$	$\pm 0,16$	$\pm 0,56$	$\pm 0,32$	$\pm 0,32$	$\pm 0,21$	$\pm 0,30$
Ω	ex_{9a}	$\pm 0,90$	$\pm 0,92$	$\pm 0,86$	$\pm 1,05$	$\pm 1,23$	$\pm 1,06$	$\pm 0,92$	$\pm 1,02$	$\pm 0,90$
n	ex_{10a}	$\pm 0,21$	$\pm 0,34$	$\pm 0,21$	$\mp 0,07$	$\pm 0,83$	$\pm 0,26$	$\pm 0,16$	$\pm 0,06$	$\pm 0,17$
ff	ex_{11a}	$\pm 0,24$	$\pm 0,50$	$\pm 0,22$	$\mp 0,23$	$\pm 1,29$	$\pm 0,39$	$\pm 0,12$	$\mp 0,03$	$\pm 0,14$
τ	ex_{12a}	$\pm 0,55$	$\pm 0,56$	$\pm 0,60$	$\pm 0,31$	$\pm 1,12$	$\pm 0,63$	$\pm 0,63$	$\pm 0,42$	$\pm 0,60$
Θ	ex_{13a}	$\pm 0,50$	$\pm 0,41$	$\pm 0,39$	$\mp 0,02$	$\pm 0,97$	$\pm 0,31$	$\pm 0,48$	$\pm 0,43$	$\pm 0,70$
Re_*	ex_{14a}	$\pm 0,33$	$\pm 0,43$	$\pm 0,51$	$\pm 0,49$	$\pm 0,71$	$\pm 0,64$	$\pm 0,46$	$\pm 0,21$	$\pm 0,20$

Uwaga: wykładniki mutacyjnych parametrów geometrii hydraulicznej opisane są dwoma dolnymi indeksami:

– indeks liczbowy oznacza numer kolejnego parametru mutacyjnego geometrii hydraulicznej (por. tab. 4);

– indeks literowy „a” oznacza stosowanie równań wykładnikowych właściwych dla poprzecznej geometrii hydraulicznej (por. równania (29–42)).

$$ex_{11a} = 0,25 \quad \text{oraz} \quad ex_{11a} = 0,23, \quad (62)$$

$$ex_{12a} = 0,57 \quad \text{oraz} \quad ex_{12a} = 0,53, \quad (63)$$

$$ex_{13a} = 0,52 \quad \text{oraz} \quad ex_{13a} = 0,48, \quad (64)$$

$$ex_{14a} = 0,34 \quad \text{oraz} \quad ex_{14a} = 0,32. \quad (65)$$

Reakcja poszczególnych parametrów nie jest efektem nakładającego się oddziaływania parametrów składowych reżimu rzecznego, lecz ich współdziałania (kooperacji), wobec czego kierunki i tempa parametrów dostosowujących się

Tabela 12

Modele dostosowywania się koryta Parsęty do aktualnego reżimu rzecznego w czasie kolejnych pomiarów (dostosowywanie systemowe wg podłużnej geometrii hydraulicznej)

Parametr	Wykładnik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kooperacja przepływowa											
Q	w	$\pm 1,00$	$\pm 1,01$	$\pm 0,99$	$\pm 1,04$	$\pm 1,05$	$\pm 1,02$	$\pm 1,07$	$\pm 1,04$	$\pm 1,14$	$\pm 1,03$
Q_L	w	$\pm 1,00$	$\pm 1,00$	$\pm 1,01$	$\pm 0,96$	$\pm 0,95$	$\pm 0,98$	$\pm 0,93$	$\pm 0,96$	$\pm 0,82$	$\pm 0,97$
\approx	\approx	\approx	\approx	\approx	\approx	\approx	\approx	\approx	\approx	\approx	\approx
Podstawowe parametry geometrii hydraulicznej											
W	b	$\pm 0,47$	$\pm 0,47$	$\pm 0,47$	$\pm 0,45$	$\pm 0,51$	$\pm 0,44$	$\pm 0,59$	$\pm 0,46$	$\pm 0,47$	$\pm 0,43$
D	f	$\pm 0,36$	$\pm 0,30$	$\pm 0,33$	$\pm 0,35$	$\pm 0,34$	$\pm 0,34$	$\pm 0,12$	$\pm 0,35$	$\pm 0,28$	$\pm 0,42$
V	m	$\pm 0,18$	$\pm 0,25$	$\pm 0,21$	$\pm 0,22$	$\pm 0,19$	$\pm 0,23$	$\pm 0,32$	$\pm 0,23$	$\pm 0,32$	$\pm 0,18$
Suplementarne parametry geometrii hydraulicznej											
S	z	$\mp 0,56$	$\mp 0,62$	$\mp 0,54$	$0,55$	$\mp 0,66$	$\mp 0,61$	$\mp 0,65$	$\mp 0,52$	$\mp 0,80$	$\mp 0,54$
P	x	$\pm 0,45$	$\pm 0,45$	$\pm 0,45$	$\pm 0,44$	$\pm 0,49$	$\pm 0,42$	$\pm 0,52$	$\pm 0,44$	$\pm 0,44$	$\pm 0,43$
d_{50}	s	$\pm 0,19$	$\pm 0,04$	$\pm 0,20$	$\pm 0,34$	$\pm 0,22$	$\pm 0,10$	$\pm 0,27$	$\pm 0,18$	$\pm 0,20$	$\pm 0,11$
L_d	u_1	$\pm 1,01$	$\pm 1,07$	$\pm 1,02$	$\pm 1,01$	$\pm 1,00$	$\pm 1,01$	$\pm 1,01$	$\pm 0,99$	$\pm 1,14$	$\pm 1,00$
L_s	u_2	$\pm 1,04$	$\pm 0,33$	$\pm 0,96$	$\pm 0,82$	$\pm 0,83$	$\pm 0,75$	$\pm 0,12$	$\pm 0,96$	$\pm 0,08$	$\pm 1,33$
L_b	u_3	$\pm 0,72$	$\pm 0,92$	$\pm 0,81$	$\pm 0,78$	$\pm 0,74$	$\pm 0,99$	$\pm 1,30$	$\pm 0,96$	$\pm 1,12$	$\pm 0,69$
Mutacyjne parametry geometrii hydraulicznej											
A	ex_1	$\pm 0,80$	$\pm 0,76$	$\pm 0,80$	$\pm 0,80$	$\pm 0,85$	$\pm 0,78$	$\pm 0,71$	$\pm 0,79$	$\pm 0,75$	$\pm 0,84$
F	ex_2	$\pm 0,14$	$\pm 0,17$	$\pm 0,16$	$\pm 0,10$	$\pm 0,18$	$\pm 0,11$	$\pm 0,47$	$\pm 0,13$	$\pm 0,20$	$\pm 0,01$
CF	ex_{3b}	$\mp 0,41$	$\mp 0,45$	$\mp 0,37$	$\mp 0,45$	$\mp 0,49$	$\mp 0,50$	$\mp 0,18$	$\mp 0,39$	$\mp 0,60$	$\mp 0,53$
K_c	ex_{4b}	$\pm 0,28$	$\pm 0,19$	$\pm 0,27$	$\pm 0,44$	$\pm 0,37$	$\pm 0,27$	$\pm 0,33$	$\pm 0,24$	$\pm 0,52$	$\pm 0,23$
R	ex_5	$\pm 0,35$	$\pm 0,32$	$\pm 0,35$	$\pm 0,37$	$\pm 0,36$	$\pm 0,36$	$\pm 0,19$	$\pm 0,35$	$\pm 0,31$	$\pm 0,42$
Re	ex_6	$\pm 0,57$	$\pm 0,56$	$\pm 0,56$	$\pm 0,59$	$\pm 0,55$	$\pm 0,58$	$\pm 0,51$	$\pm 0,58$	$\pm 0,63$	$\pm 0,60$
Fr	ex_7	$\pm 0,05$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,02$	$\pm 0,06$	$\pm 0,26$	$\pm 0,07$	$\pm 0,19$	$\mp 0,03$
V_*	ex_{8b}	$\mp 0,11$	$\mp 0,15$	$\mp 0,10$	$\mp 0,10$	$\mp 0,15$	$\mp 0,13$	$\mp 0,24$	$\mp 0,09$	$\mp 0,25$	$\mp 0,07$
Ω	ex_{9b}	$\pm 0,44$	$\pm 0,41$	$\pm 0,49$	$\pm 0,49$	$\pm 0,40$	$\pm 0,42$	$\pm 0,45$	$\pm 0,52$	$\pm 1,31$	$\pm 0,49$
n	ex_{10b}	$\mp 0,23$	$\mp 0,35$	$\mp 0,25$	$\mp 0,25$	$\mp 0,28$	$\mp 0,30$	$\mp 0,52$	$\mp 0,26$	$\mp 0,51$	$\mp 0,18$
ff	ex_{11b}	$\mp 0,57$	$\mp 0,79$	$\mp 0,62$	$\mp 0,63$	$\mp 0,67$	$\mp 0,70$	$\mp 1,10$	$\mp 0,63$	$\mp 1,13$	$\mp 0,49$
τ	ex_{12b}	$\mp 0,21$	$\mp 0,30$	$\mp 0,20$	$\mp 0,19$	$\mp 0,30$	$\mp 0,25$	$\mp 0,46$	$\mp 0,17$	$\mp 0,49$	$\mp 0,13$
Θ	ex_{13b}	$\mp 0,40$	$\mp 0,34$	$\mp 0,39$	$\mp 0,53$	$\mp 0,52$	$\mp 0,35$	$\mp 0,73$	$\mp 0,35$	$\mp 0,68$	$\mp 0,24$
Re_*	ex_{14b}	$\pm 0,09$	$\mp 0,12$	$\pm 0,10$	$\pm 0,25$	$\pm 0,07$	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$

Uwaga: wykładniki mutacyjnych parametrów geometrii hydraulicznej opisane są dwoma dolnymi indeksami:

- indeks liczbowy oznacza numer kolejnego parametru mutacyjnego geometrii hydraulicznej (por. tab. 4);
- indeks literowy „b” oznacza stosowanie równań wykładnikowych właściwych dla podłużnej geometrii hydraulicznej (por. równania (29-42)).

obliczono jako średnie arytmetyczne wykładników, które reprezentują wypadkowe działanie kooperacji przepływowej. W rezultacie uzyskano komplementarne odpowiedzi dostosowujących się parametrów koryta Parsęty na właściwy stan zmian kooperacji przepływowej w przekroju I w Krosinie (tab. 11):

$$\begin{aligned}
 Q^{\pm 0.93} Q_L^{\pm 1.04} &\simeq W^{\pm 0.20}, D^{\pm 0.62}, V^{\pm 0.16}, P^{\pm 0.26}, d_{50}^{\pm 0.05}, L_d^{\pm 0.88}, \\
 L_s^{\pm 1.99}, L_b^{\pm 0.58}, A^{\pm 0.81}, F^{\mp 0.42}, CF^{\mp 0.42}, \\
 K_c^{\mp 0.15}, R^{\pm 0.55}, Re^{\pm 0.71}, Fr^{\mp 0.15}, V_*^{\pm 0.28}, \\
 \Omega^{\pm 0.90}, n^{\pm 0.21}, \beta^{\pm 0.24}, \tau^{\pm 0.55}, \Theta^{\pm 0.50}, Re_*^{\pm 0.33}.
 \end{aligned}$$

Postępując w podobny sposób, wyznaczono empiryczne modele dostosowywania się koryta Parsęty do zmieniającej się kooperacji przepływowej w odniesieniu do każdego z 9 badanych przekrojów poprzecznych (tab. 11) oraz 10 pomiarów wzdłuż profilu podłużnego (tab. 12), właściwych dla dynamicznej i statycznej analizy allometrycznej. Modele te pozwalają na jednoczesne uchwycenie reakcji wszystkich analizowanych parametrów geometrii hydraulicznej na zarejestrowane zmiany reżimu rzeczego.

DOSTOSOWYWANIE SIĘ KORYTA PARSEŃTY DO ZMIAN KOOPERACJI PRZEPIYWOWEJ

Interpretację modeli dostosowywania się koryta rzeczego można ująć w następujących podejściach analitycznych:

- 1) dostosowywanie profilowe — dla pojedynczego przekroju poprzecznego koryta;
- 2) dostosowywanie pozycyjne — dla odmiennych typów morfologicznych przekrojów poprzecznych koryta;
- 3) dostosowywanie lokalne — dla przekrojów poprzecznych koryta w obrębie określonego odcinka obserwacyjnego rzeki;
- 4) dostosowywanie regionalne — dla przekrojów poprzecznych koryta na kolejnych odcinkach obserwacyjnych rzeki;
- 5) dostosowywanie systemowe — dla jednoczesnych pomiarów przekrojów poprzecznych koryta wzdłuż profilu podłużnego rzeki.

Pierwsze cztery podejścia wynikają z poprzecznej geometrii hydraulicznej (allometrii dynamicznej), natomiast ostatnie — z podłużnej geometrii hydraulicznej (allometrii statycznej). Z punktu widzenia celów badawczych niniejszej pracy, dwa podejścia wydają się najbardziej interesujące, a mianowicie pozycyjne i systemowe dostosowywanie się koryta Parsęty.

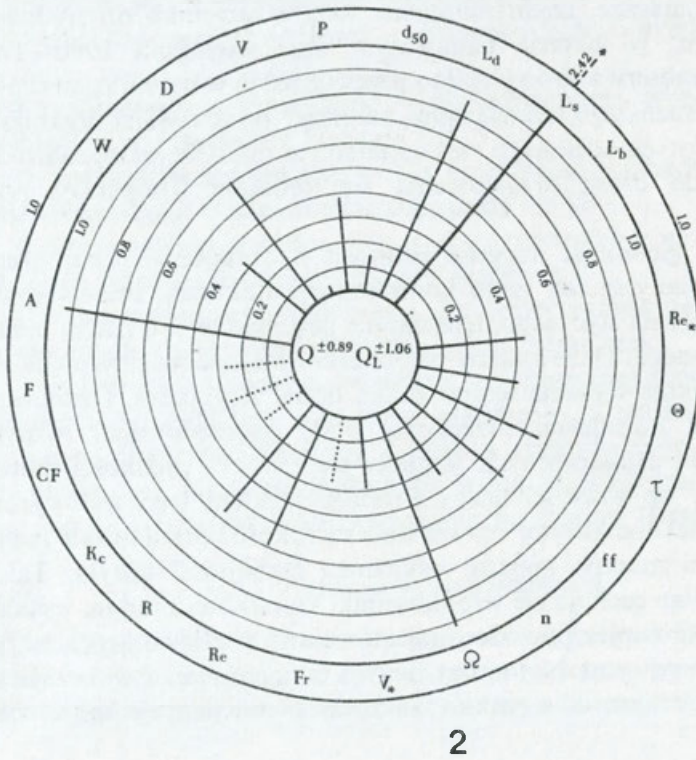
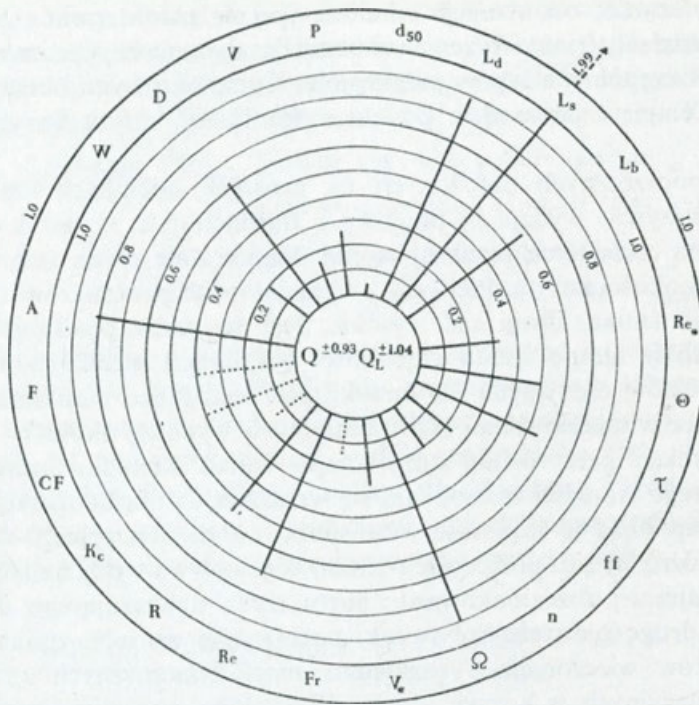
DOSTOSOWYWANIE POZYCYJNE

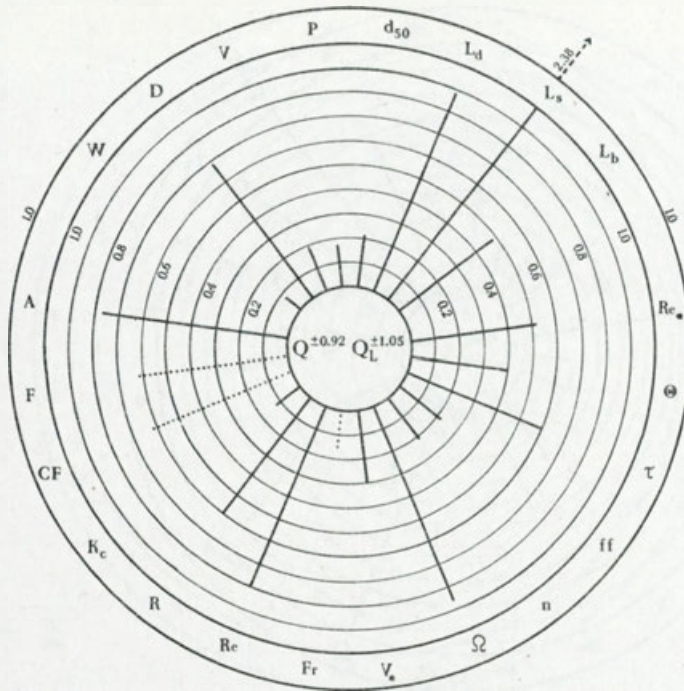
Na poprzednich stronach wielokrotnie sygnalizowano i komentowano różnice w zachowywaniu się rozmaitych parametrów geometrii hydraulicznej oraz związanych z nimi reakcji koryta na odmiennych typach przekrojów

poprzecznych w zależności od sytuacji lokalizacyjnej w planie rzeki. Dostrzeżone różnice znalazły potwierdzenie w analizie dynamicznych zmian allometrycznych poszczególnych typów przekrojów. Kompleksowymi obrazami tych różnic są empiryczne modele dostosowywania się koryta Parsęty (ryc. 33–35).

Z przekrojów poprzecznych położonych na prostych odcinkach rzeki najbardziej reprezentatywny wydaje się przekrój w Bardach (ryc. 35; przekrój 1). Charakterystyczną cechą tych przekrojów jest diametralnie różna zmienność szerokości i głębokości koryta. Pierwszy z wymienionych parametrów ma bardzo niskie tempo zmian, drugi zaś wysokie. Jest to cecha przekrojów prostokątnych. Wysokie tempo zmian głębokości koryta jest wynikiem nie tylko działania procesów erozyjnych na dno koryta, lecz także mobilności stanów wody. Różnice w tempie zmian tych parametrów wynoszą około 7–8 razy. Efektem tej relacji jest również duże tempo zmian stosunku szerokość/głębokość, którego wartości zmniejszają się wraz z dodatnią kooperacją przepływową. Ekstrapolując tę zależność w stosunku do zmniejszającego się reżimu rzecznego, można by się spodziewać roztokowego spływu wody na tych odcinkach, a przynajmniej rozczłonkowania nurtu rzeki, nawiązującego do rozkładu strumieni drugorzędnych. Spływ taki pociągnąłby za sobą zmiany w transporcie osadów wleczonych i rozkładzie morfodynamicznych stref erozyjnych i akumulacyjnych w korycie, co implikowałoby zasadnicze przekształcenie morfologii przekroju poprzecznego. Zmniejszenie przepływu musiałoby być wówczas znaczne, rzędu minimum 50% w stosunku do średniego rocznego przepływu. W okresie badawczym oraz wieloletiu 1960–1979 sytuacji takiej nie zaobserwowano i trudno przewidzieć ją w najbliższym czasie. Niemniej w okresie suchszego kilkulecia można liczyć się ze zmianą organizacji spływu wody na prostych odcinkach rzeki. Zmiana ta miałaby raczej charakter krótkoterminowy do czasu przywrócenia się dodatniej kooperacji przepływowej.

Podobnie jak głębokość reagują promień hydrauliczny i naprężenie styczne, których zmiany są tak samo konsekwencją fluktuacji stanów wody. Tempo zmian naprężenia stycznego determinuje podobne tempo zmian ładunku materiału wlezonego. Duże zmiany głębokości i większe zmiany prędkości niż szerokości implikują wysokie tempo zmian liczby Reynoldsa. Oznacza to wyraźną zmienność turbulencji przepływu wody spowodowanej różnymi rozkładami strumieni drugorzędnych. Zmiany głębokości i prędkości rzutują też na zmniejszanie się wartości liczby Frouda. Efektem tego jest wyrównywanie (rozmywanie) dna koryta. Prawie stała szerokość koryta (niskie tempo zmian) powoduje nieznaczne zmiany wskaźnika stabilności koryta. Także niskimi tempami zmian cechują się współczynniki szorstkości i tarcia, wskazując na małą oporność koryta powodowaną głównie stosunkowo krótkimi lub niskimi strefami brzegowymi. Natomiast dużym tempem zmian wykazuje się zdolność rzeki, decydując o szerokim zakresie potencjalnych możliwości





3

Ryc. 33. Empiryczne modele dostosowywania się koryta Parsęty do aktualnego reżimu rzecznego dla przekrojów poprzecznych (1, 2, 3) na odcinku obserwacyjnym w Krosinie

„± —” — zależność wprost proporcjonalna względem dodatniej kooperacji przepływowej i odwrotnie proporcjonalna względem ujemnej kooperacji przepływowej; „∓” — zależność odwrotnie proporcjonalna względem dodatniej kooperacji przepływowej i wprost proporcjonalna względem ujemnej kooperacji przepływowej. Okręgi współśrodkowe opisano wartościami wykładników geometrii hydraulicznej (por. tab. 11).

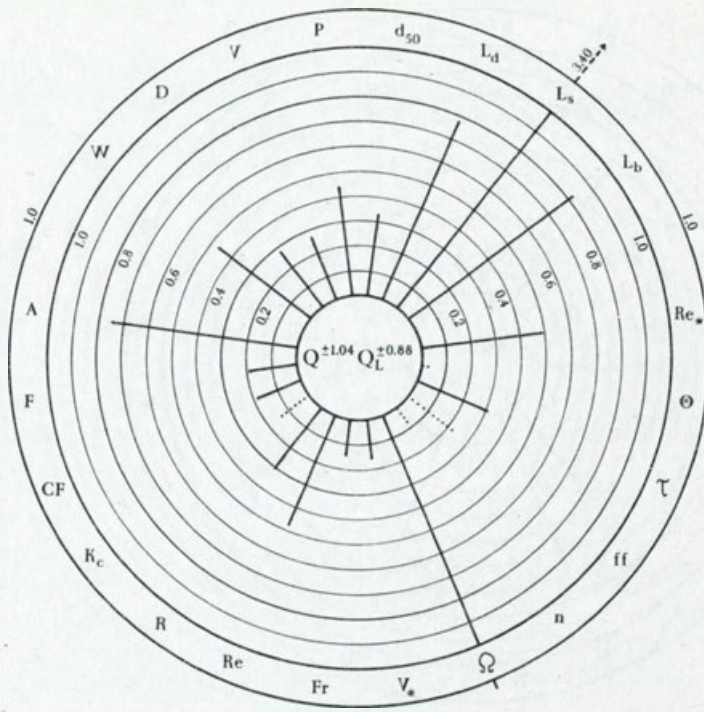
Fig. 33 Empirical models of the Parsęta River channel adjustment to the present-day river regime for cross-sections (1, 2, 3) at the Krosino study reach

„± —” relationship directly proportional to positive discharge cooperation and inversely proportional to negative discharge cooperation; „∓ ...” relationship inversely proportional to positive discharge cooperation and directly proportional to negative discharge cooperation

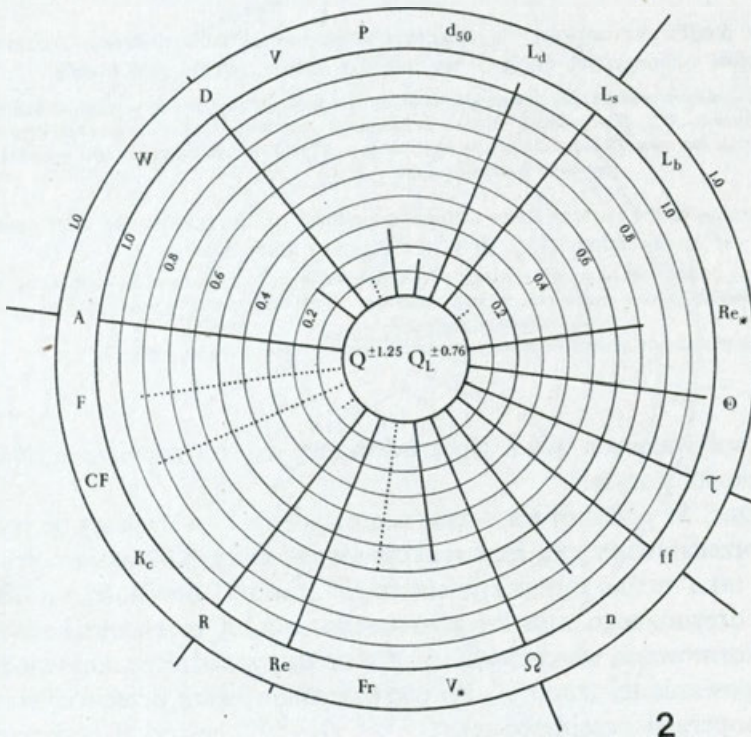
The values of hydraulic geometry exponents are indicated on concentric circles (cf. Table 12)

energetycznych spływających wód. Spowodowane jest to również dużymi zmianami głębokości koryta.

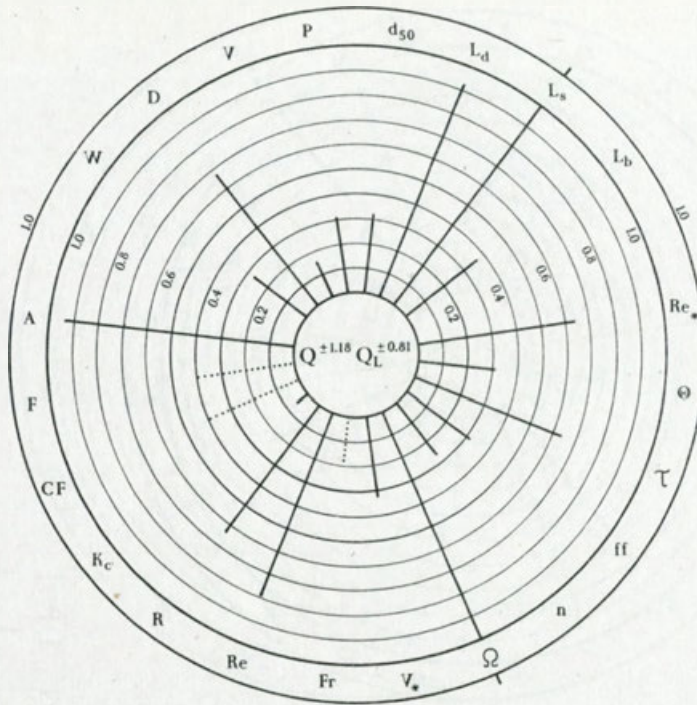
Należy wskazać, że przekrój na odcinku prostym rzeki w Dębczynie (ryc. 34, przekrój 2) przedstawia zgoła inne reakcje niemal wszystkich parametrów koryta. Sytuację taką można tłumaczyć istnieniem „zapory” powstałej z powalonych drzew i drewnianego mostku zrzuconego poniżej przekroju badawczego, o czym informowano wcześniej. Zauważa się trzy zasadnicze odpowiedzi koryta na występowanie tej „zapory”. Po pierwsze, największe przeciwieństwo izometrycznej kooperacji przepływowej ($Q^{\pm 1.25} Q_L^{\pm 0.76}$) wśród 9 badanych



1



2



3

Ryc. 34. Empiryczne modele dostosowywania się koryta Parsęty do aktualnego reżimu rzeczego dla przekrojów poprzecznych (1, 2, 3) na odcinku obserwacyjnym w Dębczynie

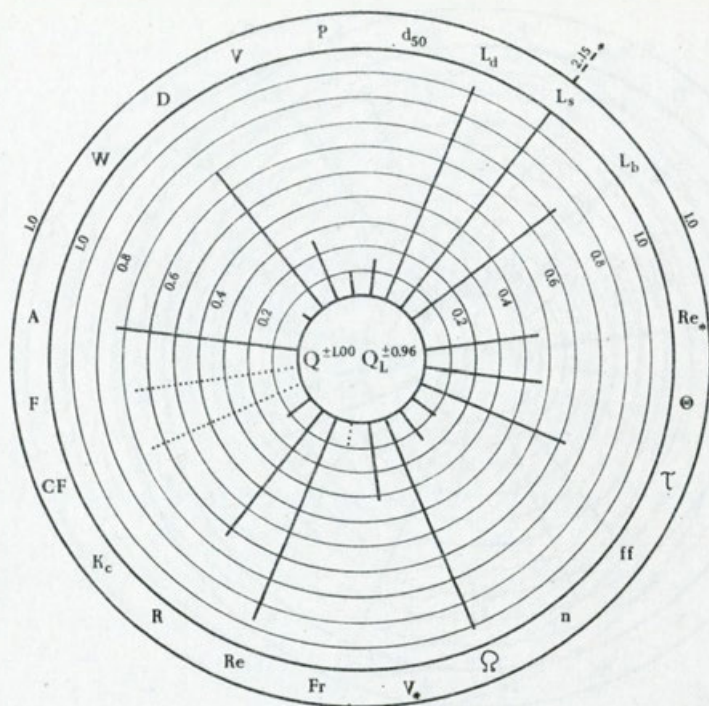
„± —” — zależność wprost proporcjonalna względem dodatniej kooperacji przepływowej i odwrotnie proporcjonalna względem ujemnej kooperacji przepływowej; „∓” — zależność odwrotnie proporcjonalna względem dodatniej kooperacji przepływowej i wprost proporcjonalna względem ujemnej kooperacji przepływowej. Okręgi współśrodkowe opisano wartościami wykładników geometrii hydraulicznej (por. tab. 11).

Fig. 34 Empirical models of the Parsęta River channel adjustment to the present-day river regime for cross-sections (1, 2, 3) at the Dębczyno study reach

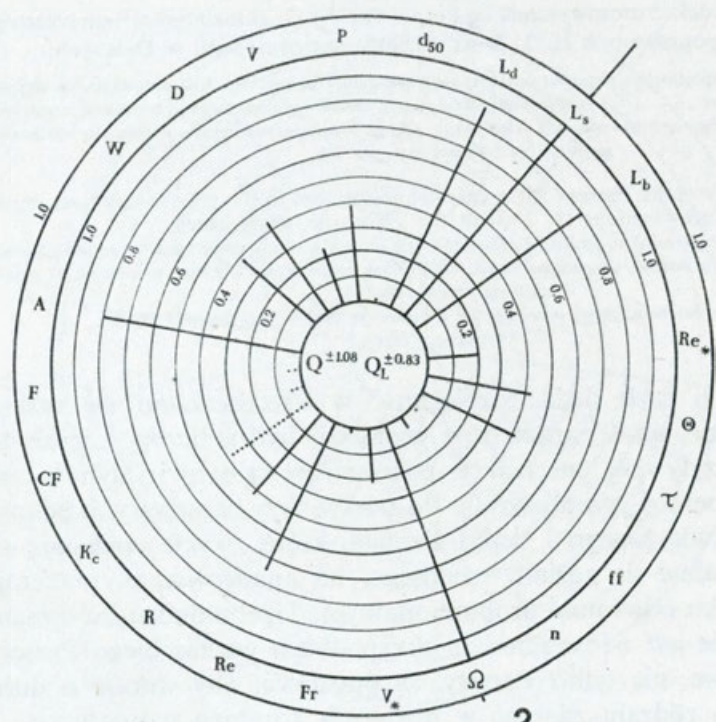
„± —” relationship directly proportional to positive discharge cooperation and inversely proportional to negative discharge cooperation; „∓” relationship inversely proportional to positive discharge cooperation and directly proportional to negative discharge cooperation

The values of hydraulic geometry exponents are indicated on concentric circles (cf. Table 11)

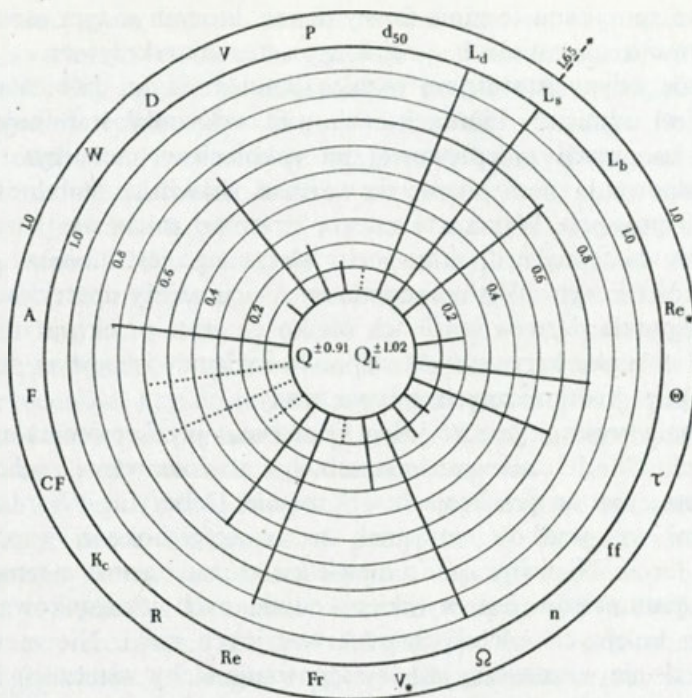
przekrojów Parsęty, czyli duża rozbieżność w kształtowaniu się reżimu rzeczego. Po drugie, aż 8 parametrów geometrii hydraulicznej koryta ma cechy allometrii pozytywnej, tzn. reakcje parametrów są bardziej dynamiczne aniżeli zmiany kooperacji przepływowej. Po trzecie, trzy parametry: prędkość, ładunek materiału wlezonego i liczba Frouda, które zwykle zmieniają się wprost proporcjonalnie do reżimu rzeczego, na analizowanym przekroju pozostają w stosunku odwrotnie proporcjonalnym. Trzeba dodać, że opisana powyżej sytuacja nie jest odosobnionym przypadkiem wzdłuż biegu Parsęty. Obserwacje terenowe, nie tylko Parsęty, są podstawą, aby wnosić o dużej powszechności tego rodzaju zdarzeń w nizinnych korytach naturalnych.



1



2



3

Ryc. 35. Empiryczne modele dostosowywania się koryta Parsęty do aktualnego reżimu rzecznego dla przekrojów poprzecznych (1, 2, 3) na odcinku obserwacyjnym w Bardach

„± —” — zależność wprost proporcjonalna względem dodatniej kooperacji przepływowej i odwrotnie proporcjonalna względem ujemnej kooperacji przepływowej; „∓” — zależność odwrotnie proporcjonalna względem dodatniej kooperacji przepływowej i wprost proporcjonalna względem ujemnej kooperacji przepływowej. Okręgi współśrodkowe opisano wartościami wykładników geometrii hydraulicznej (por. tab. 11).

Fig. 35 Empirical models of the Parsęta River channel adjustment to the present-day river regime for cross-sections (1, 2, 3) at the Bardy study reach

„± —” relationship directly proportional to positive discharge cooperation and inversely proportional to negative discharge cooperation; „∓” relationship inversely proportional to positive discharge cooperation and directly proportional to negative discharge cooperation

The values of hydraulic geometry exponents are indicated on concentric circles (cf. Table 11)

Wśród przekrojów poprzecznych koryta zlokalizowanych na zakolach o mniejszych stosunkach krzywizny przekrój w Bardach (ryc. 35, przekrój 3) wydaje się najlepszym reprezentantem. Zwraca uwagę uderzające podobieństwo zachowań prawie wszystkich parametrów tych przekrojów do reakcji parametrów na prostych odcinkach koryta. Na konwergencję geomorficzną tych rodzajów przekrojów wskazywano już uprzednio. Podobieństwo odpowiedzi parametrów korytowych na zmiany reżimu rzecznego zachodzi przede wszystkim w odniesieniu do szerokości, głębokości, promienia hydraulicznego, naprężenia stycznego. Z tego powodu na obydwu typach prze-

krojów często spotykano te same formy denne, których w tym samym czasie nie obserwowano na zakolach o większym stosunku krzywizny.

W zasadzie jedyną istotniejszą różnicą pomiędzy tymi dwoma rodzajami przekrojów jest odmienny kierunek zachowań wskaźnika stabilności koryta. Wzrastaniu kooperacji przepływowej na zakolach o mniejszym stosunku krzywizny odpowiada zmniejszanie się wartości wskaźnika stabilności koryta na odcinkach prostych. Wynika to z tego, że tempo zmian mediany średnicy ziarna osadów dostępnych do transportu wleczonego jest mniejsze od tempa zmian szerokości koryta. Wytlumaczenia tej relacji należy upatrywać w selektywnym transporcie ziarn (w sensie ich wielkości) przez przekroje na zakolach o mniejszym stosunku krzywizny, transporcie ściśle nawiązującym do nietypowych warunków hydraulicznych spływu wody.

Podkreślenia wymaga jeszcze jeden symptomat przekrojów na analizowanych zakolach. Chodzi mianowicie o subtelne zróżnicowanie zachowań niektórych parametrów na przekrojach w Krosinie, Dębczynie i Bardach. Parametrami tymi są: prędkość, stosunek szerokość/głębokość, współczynniki szorstkości i tarcia. Niewątpliwie to niewielkie zróżnicowanie w tempie zmian powyższych parametrów jest wynikiem odmiennych uwarunkowań reżimu rzecznoego na kolejnych odcinkach obserwacyjnych rzeki. Nie mniej ważką przyczyną, jeśli nie ważniejszą, jest występowanie łachy wstecznej. Powoduje ona wzrost tempa zmian współczynników szorstkości i tarcia oraz zmniejszanie tempa zmian prędkości jak też stosunku szerokość/głębokość. Sytuacja taka występuje w Krosinie (ryc. 33, przekrój 2), gdzie obserwowano wynurzoną łachę wsteczną już podczas średnich wodostanów oraz erozyjne modelowanie brzegu wypukłego. Inwersyjne relacje wspomnianych parametrów rejestrowano w Bardach (ryc. 35, przekrój 3). Relacje te są efektem braku występowania łachy wstecznej, pomimo że nie odbywa się depozycja osadów w postaci łachy meandrowej, natomiast jako ekwiwalent tej depozycji częstokroć pojawia się przemieszczająca łacha poprzeczna. Pośrednie tempa zmian analizowanych parametrów odczytać można na modelu przekroju w Dębczynie (ryc. 34; przekrój 3), gdzie przy brzegu wklęsłym występuje w korycie i strefie brzegowej miększa pokrywa aluwialna, będąca początkowym etapem akumulacji osadów łachy wstecznej, a na brzegu przeciwległym obserwowano przemienne, krótko-terminowe procesy depozycji i erozji osadów łachy bocznej, zbliżonej w swojej genezie do łachy meandrowej.

Opisane powyżej zachowania prędkości, stosunku szerokość/głębokość oraz współczynników szorstkości i tarcia, a także ich interpretacje morfogenetyczne pozwalają wnosić, że tempa zmian tych parametrów mogą być indykatorami etapów rozwoju łach wstecznych, a nawet zaawansowania reorganizacji morfodynamicznej zakola. Szczególnie czułymi parametrami wydają się współczynniki oporności koryta, które wyraźnie reagują na zmiany morfologiczne i litologiczne, występujące na przekrojach poprzecznych.

Kończąc omawianie koryt na zakolach o niskim stosunku krzywizny należy postawić problem ich pochodzenia. Czy są one jednym z etapów lub

typów ewolucyjnych zakoli meandrowych? Czy są one odziedziczone po jednym z wcześniejszych okresów rozwojowych (morfologicznych?, klimatycznych?) rzeki? Czy są one determinowane litologią dna doliny? Czy są one warunkowane li tylko hydrauliką spływu wody? Zastosowana w niniejszej pracy metodyka badawcza nie pozwala podać jasnych i przekonujących odpowiedzi na te zagadnienia. Kwestie te trzeba na razie pozostawić otwarte!¹⁸

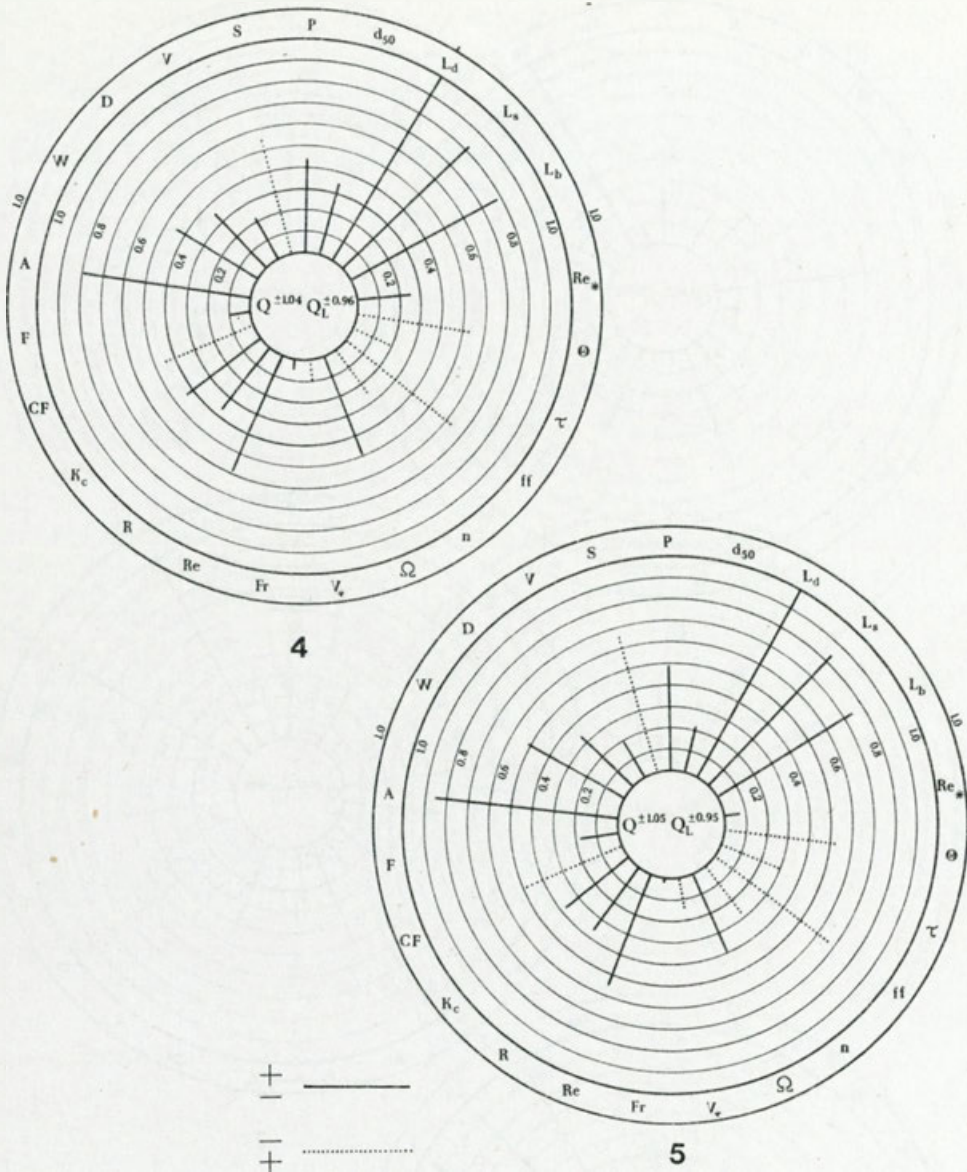
O ile dla odcinków prostych koryta i zakoli o mniejszych stosunkach krzywizny odpowiedzi parametrów geometrii hydraulicznej na zmiany reżimu rzeczno-układają się na ogół konsekwentnie, o tyle dla zakoli o większych stosunkach krzywizny reakcje te nie są w tej samej mierze jednoznaczne. Wydaje się, że różnice w zachowaniach niektórych parametrów wynikają nie tylko ze zmienności kształtów poszczególnych przekrojów poprzecznych, lecz także ze zróżnicowania parametrów planarnych koryta, takich jak długości fali meandra, amplitudy meandra, promienia krzywizny itp. Mimo to można podać kilka ogólnych prawidłowości dostosowywania się parametrów korytowych do zmieniającej się kooperacji przepływowej. Po pierwsze, nieznacznie szybsze tempo zmian szerokości koryta w porównaniu z tempem zmian głębokości i prędkości. O takiej hierarchii temp decyduje trójkatny kształt przekroju poprzecznego, którego efektem jest mała zmienność stosunku szerokość/głębokość. Po drugie, współczynniki szorstkości i tarcia dostosowują się odwrotnie proporcjonalnie do wzrastającej kooperacji przepływowej. Takie zachowania się współczynników oporności koryta wpływają na stosunkowo wysokie tempo zmian prędkości. Po trzecie, wprost proporcjonalne i niskie tempo zmian liczby Frouda w odniesieniu do wzrastającego reżimu rzeczno wskazuje na małe urozmaicenie form dennych w przekroju koryta. Po czwarte, wysokie tempo zmian ładunku materiału zawieszono- i wleczono- jest odbiciem zmieniających się prędkości oraz zdolności rzeki.

Wyszczególnione tendencje dostosowywania się koryta na zakolach o większych stosunkach krzywizny do zmieniającego się reżimu rzeczno są najlepiej widoczne na przekroju w Dębczynie (ryc. 34, przekrój 1). Należy uzupełnić, że przekrój ten, w przeciwieństwie do pozostałych dwóch tego rodzaju, odznacza się dużą zmiennością mediany średnicy ziarna, co świadczy o pochodzeniu materiału dennego, m.in. z rozmywania podłoża morenowego.

DOSTOSOWYWANIE SYSTEMOWE

Zachowania parametrów koryta w czasie poszczególnych pomiarów umożliwiają określenie tendencji dostosowywania się koryta Parsęty wzdłuż profilu podłużnego. Skonstruowanie empirycznych modeli dostosowywania się koryta rzeczno (ryc. 36 i 37) upoważnia do wskazania uogólnionych odpowiedzi koryta na zmiany aktualnego reżimu rzeczno Parsęty. Od-

¹⁸ Należy dodać, że w literaturze brak jest dowodów na istnienie zakoli o niskim stosunku krzywizny jako paleomeandrów.



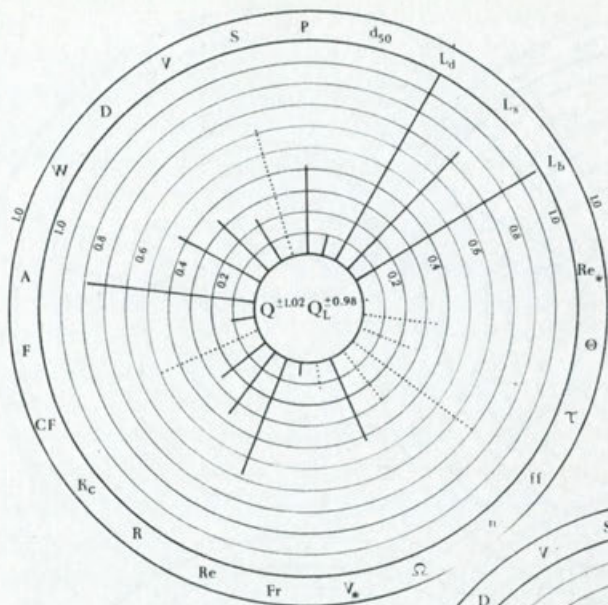
Ryc. 36. Empiryczne modele dostosowywania się koryta Parsęty do aktualnego reżimu rzeczego dla pomiarów (1–5) wzdłuż profilu podłużnego rzeki

„± —” — zależność wprost proporcjonalna względem dodatniej kooperacji przepływowej i odwrotnie proporcjonalna względem ujemnej kooperacji przepływowej; „∓” — zależność odwrotnie proporcjonalna względem dodatniej kooperacji przepływowej i wprost proporcjonalna względem ujemnej kooperacji przepływowej. Okręgi współśrodkowe opisano wartościami wykładników geometrii hydraulicznej (por. tab. 12).

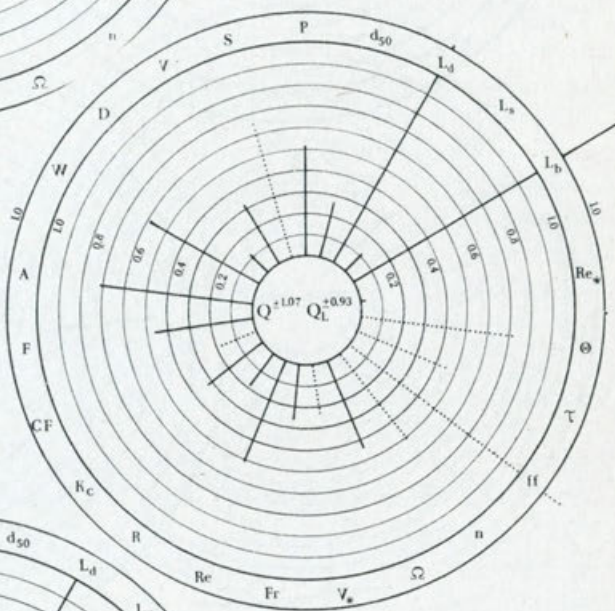
Fig. 36 Empirical models of the Parsęta River channel adjustment to the present-day river regime for measurements (1–5) along the longitudinal profile of the river

„± —” relationship directly proportional to positive discharge cooperation and inversely proportional to negative discharge cooperation; „∓” relationship inversely proportional to positive discharge cooperation and directly proportional to negative discharge cooperation

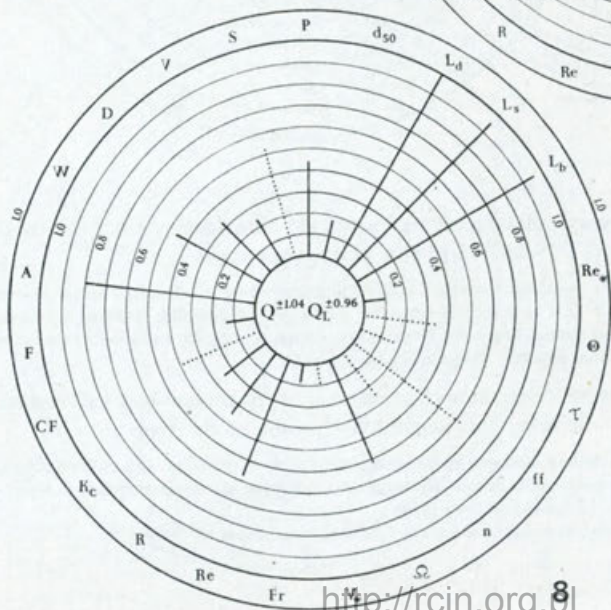
The values of hydraulic geometry exponents are indicated on concentric circles (cf. Table 12)



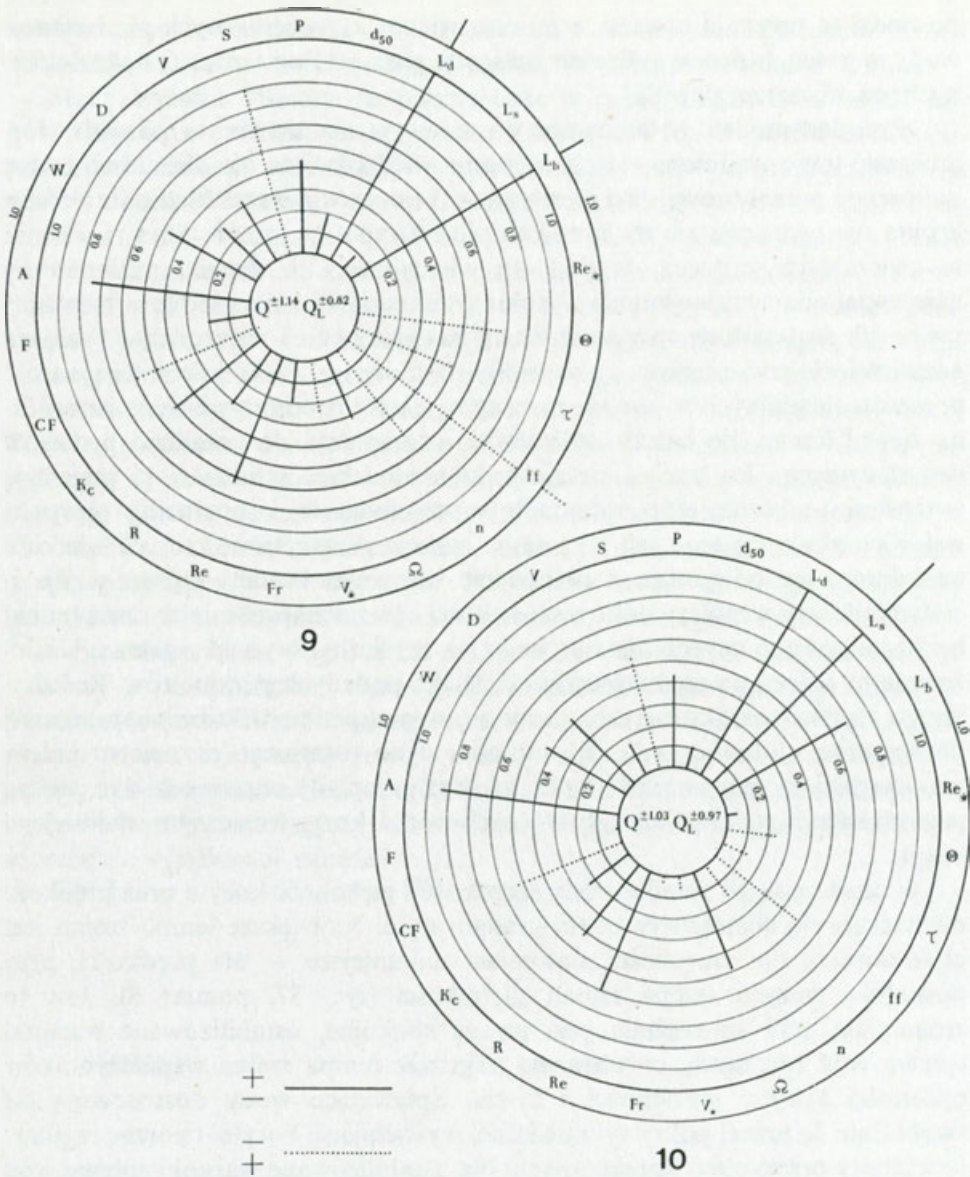
6



7



8



Ryc. 37. Empiryczne modele dostosowywania się koryta Parsęty do aktualnego reżimu rzecznego dla pomiarów (6–10) wzdłuż profilu podłużnego rzeki

„± —” — zależność wprost proporcjonalna względem dodatniej kooperacji przepływowej i odwrotnie proporcjonalna względem ujemnej kooperacji przepływowej; „+” — zależność odwrotnie proporcjonalna względem dodatniej kooperacji przepływowej i wprost proporcjonalna względem ujemnej kooperacji przepływowej. Okręgi współśrodkowe opisano wartościami wykładników geometrii hydraulicznej (por. tab. 12).

Fig. 37 Empirical models of the Parsęta River channel adjustment to the present-day river regime for measurements (6–10) along the longitudinal profile of the river

„± —” relationship directly proportional to positive discharge cooperation and inversely proportional to negative discharge cooperation; „+” relationship inversely proportional to positive discharge cooperation and directly proportional to negative discharge cooperation

The values of hydraulic geometry exponents are indicated on concentric circles (cf. Table 12)

powiedzi te przeanalizowano z punktu widzenia występujących stref stanów wody w rzece, które są odbiciem zdarzeń geomorfologicznych i hydrologicznych na obszarze zlewni.

Przegląd modeli systemowego dostosowywania się koryta pozwala sformułować trzy zasadnicze właściwości odpowiedzi koryta niezależnie od zmian kooperacji przepływowej. Po pierwsze, reakcje prawie wszystkich parametrów koryta nie wykazują się dużą zmiennością tempa ich zmian. Stąd modele te w generalnych zarysach wydają się identyczne. Po drugie, parametrami najczęściej odznaczającymi się wysokimi tempami zmian są ładunki transportowanych materiałów: rozpuszczonego, zawieszonego i wlezonego. Fakt ten odzwierciedla zróżnicowaną w profilu podłużnym rzeki tak intensywność procesów fluwialnych w korycie rzeczonym, jak też produktywność geomorficzną zlewni (czego nie należy utożsamiać i ograniczać do natężenia procesów denudacyjnych). Po trzecie, we wszystkich modelach spadek rzeki pozostaje w stosunku odwrotnie proporcjonalnym do dodatniej kooperacji przepływowej. Konsekwencją tego jest taka sama reakcja parametrów, których wielkość uzależniona jest od spadku, a mianowicie: wskaźnika kształtu koryta, prędkości dynamicznej, współczynników szorstkości i tarcia, naprężenia stycznego oraz bezwymiarowego naprężenia stycznego jak też liczby Reynoldsa ziarna. Uzależnienie to polega na zredukowaniu wielkości podanych parametrów. Redukującego wpływu spadku nie obserwuje się w przypadku wskaźnika stabilności koryta oraz zdolności rzeki. W odniesieniu do ostatniego parametru należy wnioskować, iż głównie ilość wody (a więc przepływ) odpowiedzialna jest za poziom energii potencjalnej spływających wód w korycie rzeczonym wzdłuż jego biegu.

W czasie niskich stanów wody szerokość i głębokość koryta oraz prędkość odznaczają się dostosowywaniem gradacyjnym. Największe tempo zmian jest obserwowane dla szerokości, natomiast najmniejsze – dla prędkości, przy pośredniej pozycji tempa zmian głębokości (ryc. 37, pomiar 8). Jest to zrozumiałe, jeśli się weźmie pod uwagę spokojne, ustabilizowane warunki spływu wód rzecznych, co obrazują najniższe tempa zmian współczynników oporności koryta: szorstkości i tarcia. Spływające wody dostosowują się swobodnie do luźnej pokrywy aluwialnej wyścielającej koryto, tworząc regularne kształty przekrojów poprzecznych. Na ustabilizowane warunki spływu wód w profilu podłużnym rzeki wskazuje niskie tempo zmian liczby Frouda. Ładunki poszczególnych rodzajów transportowanych materiałów zmieniają się w podobnym tempie jak kooperacja przepływowa. Stosunkowo wysokie tempo zmian ładunku materiału wlezonego świadczy o zróżnicowaniu procesów erozyjnych, transportowych i akumulacyjnych w profilu podłużnym Parsęty.

Strefa stanów średnich odnosi się do warunków najczęściej występujących w korycie Parsęty. Odpowiedzi koryta (ryc. 36, pomiar 5) nie różnią się w sposób zasadniczy od zachowań parametrów w czasie stanów niskich. Zwracają jedynie uwagę nieco mniejsze zróżnicowanie ładunków materiału

zawieszonoego i wleczonoego, co jest efektem w miarę niskiego tempa zmian zdolności rzeki oraz wyższe tempo zmian wskaźnika stabilności koryta.

Stany wysokie Parsęty, zaobserwowane w czasie badań terenowych, odpowiadają w przybliżeniu przepływem pełnokorytowym. W porównaniu z poprzednimi strefami wodostanów, model odpowiedzi parametrycznych na przepływ pełnokorytowy (ryc. 37, pomiar 7) odznacza się zwiększonymi tempami zmian szerokości i prędkości oraz bardzo niskim tempem zmian głębokości, co winno się kojarzyć z możliwie pełnym, a jednocześnie równomiernym wykorzystaniem przez procesy erozji wgłębnej pojemności przekrojów poprzecznych wzdłuż biegu rzeki. W konsekwencji zmniejsza się tempo zmian pola powierzchni przekroju poprzecznego, promienia hydraulicznego i zdolności rzeki, natomiast wzrasta dla stosunku szerokość/głębokość, liczby Frouda, prędkości dynamicznej, współczynników szorstkości i tarcia, naprężenia stycznego jak też bezwymiarowego naprężenia stycznego. Uwagę zwracają gwałtowne zmiany współczynnika tarcia Darcy-Weisbacha, które dokumentują znaczące zróżnicowanie zwiększającej się przewodności (zdolności spławialnej) koryta w dół rzeki. Najwyższe tempa zmian przypadają na ładunki materiału rozpuszczonego i wleczonoego, podczas gdy ładunek materiału zawieszonoego zachowuje bardzo małą zmienność na całej długości rzeki, co świadczy o powszechności tego typu transportu fluwialnego w przepływach pełnokorytowych. Przedstawione odpowiedzi parametrów korytowych na zmiany kooperacji przepływowej wzdłuż biegu Parsęty w czasie wysokich przepływów świadczą o dużym zróżnicowaniu hydraulicznym i dużych przeobrażeniach sedymentologicznych oraz morfologicznych koryta jako efektów zdarzeń o wyjątkowej randze.

WNIOSKI KOŃCOWE

1. Podjęte zadania badawcze i ich założenia metodologiczne ujawniły odmienny charakter hydrauliczny, sedymentacyjny oraz geomorficzny zakoli o niskich stosunkach krzywizny w porównaniu z zakolami o większych stosunkach krzywizny. Wskazane różnice w funkcjonowaniu tych dwóch typów zakoli oraz właściwości zakoli o niskich stosunkach krzywizny uprawniają do wysunięcia tezy o zrewidowaniu dotychczasowych poglądów na schematy rozwojowe zakoli meandrowych, na przebieg procesów i zdarzeń w ich obrębie oraz na implikacje jak też efekty geomorficzne występowania tego rodzaju zakoli w dnach dolin rzecznych. Rewizja taka byłaby ważna z punktu widzenia studiów aktualistycznych, paleogeograficznych i porównawczych. Dynamiczna analiza allometryczna i modele dostosowywania dokumentują znaczną konwergencję geomorficzną tych zakoli z prostymi odcinkami rzeki. O ile fakt istnienia tych zakoli w morfogenetycznym i sedymentacyjnym środowisku fluwialnym został już potwierdzony w literaturze dla różnych stref morfoklimatycznych, o tyle znajomość przyczyn ich powstania, ewolucji i funkcjonowania pozostawia nadal wiele otwartych kwestii.

2. Dokonana analiza wejściowego i przetworzonego materiału dokumentacyjnego, stwierdzone zależności poprzecznej i podłużnej geometrii hydraulicznej, wyznaczona statyczna jak też dynamiczna orientacja allometryczna koryta, zaprezentowane wartości i relacje wykładników kooperacji przepływowej oraz przegląd modeli dostosowywania się koryta do aktualnego reżimu rzeczno upoważniają do sprecyzowania poniższej hierarchizacji geomorficznych dostosowań systemu korytowego Parsęty:

a) dostosowywanie pozycyjne – odcinki koryta rzeczno na zakolach o większych stosunkach krzywizny są lepiej przystosowane do przyjmowania szerszego zakresu przepływów aniżeli na prostych odcinkach rzeki i zakolach o niższych stosunkach krzywizny; stąd przekroje te odznaczają się największą zmiennością morfologiczną; z kolei przekroje na zakolach o mniejszych stosunkach krzywizny cechują się znaczną stabilnością brzegów koryta i mobilnością dna; wreszcie przekroje prostych odcinków rzeki, wykazujące się względną stabilnością morfologiczną, sprzyjają szybszym wylewom wód wezbraniowych z koryta na powierzchnię terasy zalewowej;

b) dostosowywanie regionalne – izometria kooperacji przepływowej jest wartością progową dla określenia charakteru dostosowywania się koryta

rzecznego w ujęciu regionalnym; cechami izometrycznymi kooperacji przepływowej wyróżnia się odcinek w Bardach, co świadczy o najbardziej naturalnych (normalnych) reakcjach koryta na zmiany reżimu rzecznego; odcinek koryta w Dębczynie, odznaczający się pozytywną allometrią przepływu wody i negatywną allometrią przepływu osadów, jest dostosowany do istniejącej tam zmienności reżimu rzecznego; stąd większość przepływów, łącznie z wysokimi, lecz bez najwyższych, mieści się w pojemności przekrojów poprzecznych koryta; odcinek w Krosinie, o odwrotnym układzie kooperacji przepływowej, cechuje się najslabszym dostosowaniem morfologii koryta do przyjmowania nawet podwyższonych przepływów; w konsekwencji mają tu miejsce częste wylewy wód wezbraniowych;

c) dostosowywanie systemowe – układy antytetyczne zależności podłużnej geometrii hydraulicznej wskazują jednoznacznie na wzrastający stopień dostosowywania się koryta z biegiem rzeki do zmieniających się zakresów przepływu wody i osadów; koryto Parsęty w profilu podłużnym jest szczególnie dobrze dostosowane do przyjmowania kooperacji przepływowej w strefie stanów niskich i średnich; znaczące przeobrażenie geomorficzne koryta rzecznego w okresie stanów wysokich wyznacza miarę jego nieprzystosowania do rzadko występujących przepływów wysokich i o wyjątkowo dużej wielkości; za przepływy korytotwórcze zatem należy przyjąć przepływy wysokie, w tej liczbie przepływy pełnokorytowe.

3. Przedstawiona hierarchizacja geomorficznych dostosowań koryta Parsęty, rozpatrywana na szerszym tle systemu fluwialnego, pozwala uwypuklić następujące właściwości systemu korytowego Parsęty:

a) zmiany koryta rzecznego mają charakter epizodyczny zarówno pod względem czasowym, jak i przestrzennym:

– okresy dłuższej i stosunkowej stabilności geomorficznej koryta przeplatane są okresami krótkoterminowych oraz gwałtownych zmian,

– odcinki rzeki o w miarę stabilnej morfologii są rozdzielane odcinkami o nieco większych jak też szybszych zmianach morfologicznych;

b) zróżnicowany mechanizm współczesnych zmian korytowych jest efektem wielu elementów i czynników kontrolujących system rzeczny, wśród których za najważniejsze należy uznać:

– powszechniejsze oddziaływanie progów wewnętrznych aniżeli zewnętrznych w obrębie systemu korytowego,

– ciągłe i silne powiązania (uzależnienia) procesów fluwialnych w korycie rzecznym z procesami geomorficznymi (od procesów geomorficznych), zachodzących na obszarze całej zlewni,

– wyraźne podporządkowanie tempa dostosowywania się koryta rzecznego względem sposobów, czasów reakcji i relaksacji koryta w danych sytuacjach geomorficznych oraz hydrometeorologicznych;

c) periodyczna, ale istotna przewaga tendencji agradacyjnej nad ciągłą (głównie w sensie czasowym, w mniejszym zaś stopniu przestrzennym) tendencją degradacyjną rzeki i niewielkie tempo migracji koryta wyznaczają dla

krótkiej skali czasowej stan równowagi dynamicznej systemu korytowego Parsęty o niezbyt wysokiej amplitudzie zakłóceń geomorficznych oraz hydrologicznych występujących w korycie i na obszarze zlewni, amplitudzie malejącej z biegiem rzeki.

4. Krótkoterminowe empiryczne badania dostosowywania się koryta Parsęty zasadniczo nie upoważniają do ekstrapolowania ich wyników zarówno w przeszłość i w przyszłość, jak również na inne obszary. Stwierdzone reakcje koryta uświadamiają ich wielkie uzależnienie od zachowań kooperacji przepływowej sterowanej klimatem, procesami geomorficznymi w zlewni, działalnością człowieka itp., które są zmienne przestrzennie i czasowo. Można zatem uznać, iż stwierdzone trendy odpowiedzi parametrów korytowych na zmiany reżimu rzecznego zachowują aktualność dla celów retrodykcyjnych i predykcyjnych, także w najbliższych skalach czasowych rzędu kilku czy kilkunastu lat, do czasu istotnej zmiany jednej ze zmiennych systemowych. Natomiast stosowanie tych trendów w odniesieniu do rekonstrukcji i prognoz w dłuższych skalach czasowych mogłoby okazać się chybione, a przynajmniej wymagałoby znacznej ostrożności. Podobnie sytuacja przedstawia się z porównywaniami tendencji zachowań Parsęty z innymi rzekami. O ile tendencje te można by przyjąć bez znaczniejszych zastrzeżeń dla rzek północnego skłonu Pojezierza Pomorskiego, o tyle w przypadku pozostałych rzek Nizy Polskiego winny one ulec co najmniej częściowej weryfikacji.

LITERATURA

- Andrews E. D., 1979, *Hydraulic adjustment of the East Fork River, Wyoming to the supply of sediment*, [w:] Rhodes D. D., Williams G. P. (red.), *Adjustments of the fluvial system*, Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque, s. 69–94.
- Augustowski B., 1977, *Pomorze*, PWN, Warszawa.
- Bagnold R. A., 1966, *An approach to the sediment transport problem from general physics*, US Geol. Surv. Prof. Paper, 422–I.
- Baker V. R., 1978, *Adjustment of fluvial system to climate and subtropical environments*, [w:] Miall A. D. (red.), *Fluvial sedimentology*, Can. Soc. Petrol. Geol., Memoir 5, s. 211–230.
- Bathurst J. C., 1979, *Distribution of boundary shear stress in rivers*, [w:] Rhodes D. D., Williams G. P. (reds.), *Adjustments of the fluvial system*, Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque, s. 95–116.
- Bathurst J. C., Thorne C. R., Hey R. D., 1979, *Secondary flow and shear stress at river bends*, J. Hydraul. Div. Am. Soc. Civ. Engrs, 105, s. 1277–1295.
- Blench T., 1969, *Mobile-bed fluviology*, Univ. Alberta Press, Edmonton.
- Bogárdi J., 1974, *Sediment transport in alluvial streams*, Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Brański J., 1968a, *Dokładność wielopunktowych pomiarów koncentracji rumowiska unoszonego w rzekach ustalona na podstawie analizy błędów przypadkowych*, Prace Państw. Inst. Hydrol.-Met., 94, s. 23–39.
- 1968b, *Oznaczanie ilości unosin metodą wagową bezpośrednią przy użyciu sączków*, Prace Państw. Inst. Hydrol.-Met., 94, s. 13–21.
- 1975, *Ocena denudacji dorzecza Wisły na podstawie wyników pomiaru rumowiska unoszonego*, Prace Inst. Met. Gosp. Wodn., 6.
- Bridge J. S., Jarvis J., 1982, *The dynamics of a river bend: a study in flow and sedimentary processes*, *Sedimentology*, 29, s. 499–541.
- Bull W. B., 1975, *Allometric change of landforms*, Bull. Geol. Soc. Am., 86, s. 1489–1498.
- 1979, *Threshold of critical power in streams*, Bull. Geol. Soc. Am., 90, s. 453–464.
- Calles B., 1977, *Elvegårdselv och dess delta. En studie av fluvial transport och topografiska förändringar*, UNGI Rapport, 45.
- 1980, *Fluvial transportation in the River Västerdalälven*, Geogr. Annlr, 62-A, s. 63–74.
- Carey W. C., 1969, *Formation of flood plain lands*, J. Hydraul. Div. Am. Soc. Civ. Engrs, 95, s. 981–994.
- Carlston C. W., 1965, *The relation of free meander geometry to stream discharge and its geomorphic implications*, Am. J. Sci., 263, s. 864–885.
- Chien N., 1954, *The present status of research on sediment transport*, Proc. Am. Soc. Civ. Engrs, 80/565.
- Choiński A., 1982, *Hydrologic activity of Polish rivers*, *Quaestiones Geogr.*, 8, s. 45–53.
- Chorley R. J., 1962, *Geomorphology and general systems theory*, US Geol. Surv. Prof. Paper, 500-B.
- 1967, *Models in geomorphology*, [w:] Chorley R. J., Haggett P. (red.), *Models in geography*, Methuen, London, s. 59–96.

- Chorley R. J., Kennedy A., 1971, *Physical geography, a systems approach*, Prentice-Hall, London.
- Church M., 1967, *Observations of turbulent diffusion in a natural channel*, Can. J. Earth Sci., 4, s. 855–872.
- 1972, *Baffin Island sandurs: A study of Arctic fluvial processes*, Bull. Geol. Surv. Can., 216.
- Church M., Gilbert R., 1975, *Proglacial fluvial and lacustrine environments*, [w:] Jopling A. V., McDonald B. C. (red.), *Glaciofluvial and glaciolacustrine sedimentation*, Soc. Econ. Paleont. Miner. Spec. Publ., 23, s. 22–100.
- Colby B. R., 1964, *Discharge of sands and mean-velocity relationships in sand-bed streams*, US Geol. Surv. Prof. Paper, 462-A.
- Costa J. E., 1983, *Paleohydraulic reconstruction of flash-flood peaks from boulder deposits in the Colorado Front Range*, Bull. Geol. Soc. Am., 94, s. 986–1004.
- Daniel J. F., 1971, *Channel movement of meandering Indiana streams*, US Geol. Surv. Prof. Paper, 732-A.
- Dąbkowski L., 1972, *O przydatności niektórych wzorów empirycznych do określania intensywności wleczenia*, Prace Państ. Inst. Hydrol.-Met., 106, s. 47–64.
- Dąbkowski L., Skibiński J., Żbikowski A., 1982, *Hydrauliczne podstawy projektów wodno-melioracyjnych*, PWRiL, Warszawa.
- De Vriend H. J., Geldof H. J., 1983, *Main flow velocity in short river bends*, J. Hydraul. Eng. Am. Soc. Civ. Engrs, 109, s. 991–1011.
- Dynowska I., 1971, *Typy reżimów rzecznych w Polsce*, Zesz. Nauk. UJ, ser. Prace Geogr., 28.
- Dynus-Angiel J., 1981, *Prędkość graniczna górna w warunkach rzek północnego skłonu Pomorza Zachodniego*, Przegł. Geofiz., 26, s. 267–270.
- Fahnestock R. K., 1963, *Morphology and hydrology of a glacial stream – White River, Mount Rainer*, Washington, US Geol. Surv. Prof. Paper, 422-A.
- Fal B., 1965, *Transport rumowiska unoszonego i rozpuszczonego na środkowej Wiśle oraz próba ustalenia ogólnej masy transportu w rejonie Warszawy*, Prace Państ. Inst. Hydrol.-Met., 88, s. 83–92.
- Finlayson B. L., 1978, *Suspended solids transport in a small experimental catchment*, Z. Geomorph. N. F., 22, s. 192–210.
- Florek W., 1978, *Próba analizy zmian cech geometrycznych meandrów współczesnych i kopalnych na przykładzie dolnego Bobru*, Przegł. Geogr., 50, s. 643–660.
- 1982, *Development of the lower Bóbr valley floor, with emphasis on the Late Holocene*, Quaestiones Geogr., 8, s. 91–119.
- 1983, *Młodoholoceński etap rozwoju dna doliny dolnego Bobru*, Przegł. Geogr., 55, s. 33–61.
- Friedkin J. F., 1945, *A laboratory study of the meandering of alluvial rivers*, US Waterways Exper. Stat., Vicksburg.
- Froehlich W., 1975, *Dynamika transportu fluwialnego Kamienicy Nawojowskiej*, Prace Geogr., Inst. Geogr. Przestrz. Zagosp. Pol. Akad. Nauk, 114.
- 1982, *Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwierzelin do koryta w górskiej zlewni fliszowej*, Prace Geogr., Inst. Geogr. Przestrz. Zagosp. Pol. Akad. Nauk, 143.
- Galon R., 1972, *Główne etapy tworzenia się rzeźby Niżu Polskiego*, [w:] Galon R. (red.), *Geomorfologia Polski*, PWN, Warszawa, s. 35–110.
- Gładki H., Myczka J., 1968, *Nowoczesne formuły na ruch rumowiska rzeczno oraz kierunki ich rozwoju w świetle niektórych publikowanych prac*, Czas. Tech., ser. Budownictwo, 7(119), s. 26–30.
- Gonera P., 1986, *Zmiany geometrii koryt meandrowych Warty na tle wahań klimatycznych w późnym wistulianie i holocenie*, Wyd. Nauk. Uniw. A. Mickiewicza, ser. Geografia, 33.
- Gonera P., Kijowski A., Zwoliński Z., 1985, *Powezbraniowe formy akumulacyjne na terasie zalewowej Warty i Parsęty w świetle analizy zdjęć lotniczych*, Fotointerpretacja w geografii, 8(18), s. 24–42.
- Graf W. H., 1971, *Hydraulics of sediment transport*, McGraw-Hill, New York.

- 1981, *Regime concept*, [w:] Manthey T. (red.), *Advances in sediment transport*, Zakł. Nar. Ossolińskich, Wrocław, s. 241–281.
- Graf W. L., 1979, *Mining and channel response*, Ann. Ass. Am. Geogr., 69, s. 262–275.
- Gregory K. J., Walling D. E., 1973, *Drainage basin: form and processes*, Edward Arnold, London.
- Grimshaw D. L., Lewin J., 1980, *Source identification for suspended sediments*, J. Hydrol., 47, s. 151–162.
- Hermanowicz W., Dożańska W., Dojlido J., Koziarowska B., 1976, *Fizyko-chemiczne badania wody i ścieków*, Arkady, Warszawa.
- Hey R. D., 1978, *Determinate hydraulic geometry of river channels*, J. Hydraul. Div. Am. Soc. Civ. Engrs, 104, s. 869–885.
- 1979, *Dynamic process-response model of river channel development*, Earth Surface Processes, 4, s. 59–72.
- Hey R. D., Thorne C. R., 1984, *Flow processes and river channel morphology*, [w:] Burt T. P., Walling D. E. (red.), *Catchment experiments in fluvial geomorphology*, Geo Books, Norwich, s. 489–514.
- Hickin E. J., 1974, *The development of meanders in natural river-channels*, Am. J. Sci., 274, s. 414–442.
- 1977, *Hydraulic factors controlling channel migration*, [w:] Davidson-Arnott R., Nickling W. (red.), *Research in fluvial geomorphology*, Geo Abstracts, Norwich, s. 59–66.
- 1978, *Mean flow structure in meanders of the Squamish River*, British Columbia, Can. J. Earth Sci., 15, s. 1833–1849.
- 1979, *Concave-bank benches on the Squamish River*, British Columbia, Can. J. Earth Sci., 16, s. 200–203.
- 1981, *River channel dynamics: retrospect and prospect*, Discuss. Paper 11, Simon Fraser Univ., Burnaby.
- 1984, *Vegetation and river channel dynamics*, Can. Geogr., 28, s. 111–126.
- Hickin E. J., Nanson G. C., 1975, *The character of channel migration on the Beatton River, Northeast British Columbia, Canada*, Bull. Geol. Soc. Am., 86, s. 487–494.
- Hjorth S., 1972, *Torne och Kalix älvar. Del 2: Materialtransport 1967–1969*, UNGI Rapport, 17.
- Howard A. D., 1965, *Geomorphological systems – equilibrium and dynamics*, Am. J. Sci., 263, s. 302–312.
- 1980, *Thresholds in river regimes*, [w:] Coates D. R., Vitek J. D. (red.), *Thresholds in geomorphology*, George Allen & Unwin, London, s. 227–258.
- Ikeda H., 1973, *A study of the formation of sand bars in an experimental flume*, Geogr. Rev. Japan, 46, s. 435–451.
- Imeson A. C., 1978, *Slope deposits and sediment supply in a New England drainage basin*, Catena, 5, s. 109–130.
- Imeson A. C., Verstraten J. M., 1981, *Suspended solids concentrations and river water chemistry*, Earth Surface Processes and Landforms, 6, s. 251–263.
- Inokuchi M., 1982, *An interpretation of the bed material sizes of stable channels in the San Luis Valley canal, USA*, Ann. Rept., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, 8, s. 45–47.
- Jackson R. G., 1975, *A depositional model of point bars in the lower Wabash River*, Unpubl. Ph. D. Thesis, Univ. Illinois, Urbana-Champaign.
- Jasiewicz R., 1973, *Badania rozkładu unosin w rzekach*, Gosp. Wodna, 11/12, s. 417–422.
- 1974, *O stosowalności wzoru Meyer-Petera i Müllera na transport rumowiska wlezonego w warunkach Wisły*, Gosp. Wodna, 12, s. 447–450.
- Jaworska M., 1968, *Erozja chemiczna i denudacja zlewni rzek Wieprza i Pilicy*, Prace Państw. Inst. Hydrol.-Met., 95, s. 29–47.
- Kaniecki A., 1976, *Dynamika rzeki w świetle osadów trzech wybranych odcinków rzeki*, Prace Kom. Geogr.-Geol. Pozn. Tow. Przyj. Nauk, 17.
- Keller E. A., Tally T., 1979, *Effects of large organic debris on channel form and fluvial processes in*

- the coastal redwood environment*, [w:] Rhodes D. D., Williams G. P. (red.), *Adjustments of the fluvial system*, Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque, s. 169–197.
- Kennedy R. G., 1895, *The prevention of silting in irrigation canals*, Proc., Inst. Civil Engrs, 119, s. 281–290.
- Klein M., 1982, *The relation between channel geometry and suspended sediment transport in the downstream direction*, Z. Geomorph. N. F., 26, s. 491–494.
- Klimek K., 1983, *Erozja wglębna dopływów Wisły na przedpolu Karpat*, [w:] Kajak Z. (red.), *Ekologiczne podstawy zagospodarowania Wisły i jej dorzecza*, PWN, Warszawa, s. 97–108.
- Knighton A. D., 1974, *Variation in width-discharge relations and some implications for hydraulic geometry*, Bull. Geol. Soc. Am., 85, s. 1069–1076.
- 1975, *Variations in at-a-station hydraulic geometry*, Am. J. Sci., 275, s. 186–218.
- 1984, *Fluvial forms and processes*, Edward Arnold, London.
- Kostrzewski A., 1970, *Uziarnienie i obróbka współczesnych aluwiów Bobru jako wyraz dynamiki rzecznego środowiska sedymentacyjnego*, Prace Kom. Geogr.-Geol. Pozn. Tow. Przyj. Nauk, 8(4).
- Kostrzewski A., Zwoliński Z., 1985, *Chemical denudation rate in the upper Parsęta catchment, Western Pomerania: research methods and preliminary results*, Quaestiones Geogr., Spec. Issue, 1, s. 121–138.
- 1986, *Znaczenie składników chemicznych pochodzenia atmosferycznego w badaniach denudacji chemicznej*, Spraw. Pozn. Tow. Przyj. Nauk, 103, s. 43–45.
- Kotarba A., 1972, *Powierzchniowa denudacja chemiczna w wapienno-dolomitowych Tatrach Zachodnich*, Prace Geogr., Inst. Geogr. Pol. Akad. Nauk, 96.
- Kozarski S., 1983, *River channel changes in the middle reach of the Warta Valley, Great Poland Lowland*, Quaternary Stud. Poland, 4, s. 159–169.
- Lacey G., 1929, *Stable channels in alluvium*, Proc., Inst. Civil Engrs, 229, s. 259–384.
- 1946, *A general theory of flow in alluvium*, J. Inst. Civil Engrs, 27/5515.
- Lach J., 1984, *Geomorfologiczne skutki antropopresji rolniczej w wybranych częściach Karpat i ich Przedgórze*, Prace Monogr., W. Szk. Pedag. Kraków, 66.
- Lam K. H., 1984, *Mechanisms of suspended sediment production in a small catchment on the Northern Tablelands, NSW*, Conf. Papers, Erosion, transportation and sedimentation in Australian drainage basins, Newcastle, s. 113–120.
- Langbein W. B., 1963, *Theoretical analysis of the hydraulic geometry in the downstream direction*, US Geol. Surv. Prof. Paper, 422-B, s. 15–17.
- Leeder M. R., Bridges P. H., 1975, *Flow separation in meander bends*, Nature, 253, s. 338–339.
- Leopold L. B., Emmett W. W., 1977, *1976 bedload measurements, East Fork River, Wyoming*, Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 74, s. 2644–2648.
- Leopold L. B., Maddock T., 1953, *The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications*, US Geol. Surv. Prof. Paper, 252.
- Leopold L. B., Miller J. P., 1956, *Ephemeral streams – hydraulic factors and their relation to the drainage net*, US Geol. Surv. Prof. Paper, 282-A.
- Leopold L. B., Skibitzke H. E., 1967, *Observations on unmeasured rivers*, Geogr. Annlr, 49-A, s. 247–255.
- Leopold L. B., Wolman M. G., 1960, *River meanders*, Bull. Geol. Soc. Am., 71, s. 769–794.
- Leopold L. B., Wolman M. G., Miller J. P., 1964, *Fluvial processes in geomorphology*, W. H. Freeman & Co., San Francisco.
- Lewin J., 1978, *Meander development and floodplain sedimentation: a case study from mid-Wales*, Geol. J., 13/1, s. 25–36.
- 1980, *Available and appropriate timescales in geomorphology*, [w:] Cullingford R. A., Davidson D. A., Lewin J. (red.), *Timescales in geomorphology*, John Wiley & Sons, Chichester, s. 3–10.
- 1981, *River channels*, [w:] Goudie A. S. (red.), *Geomorphological techniques*, George Allen & Unwin, London, s. 196–212.

- 1983, *Changes of channel patterns and floodplains*, [w:] Gregory K. J. (red.), *Background to palaeohydrology*, John Wiley & Sons, Chichester, s. 303–319.
- Li R.-M., 1979, *Water and sediment routing from watersheds*, [w:] Shen H. W. (red.), *Modelling of rivers*, John Wiley & Sons, New York, s. 9-1 – 9-88.
- Maizels J. K., 1983a, *Proglacial channel systems: change and thresholds for change over long, intermediate and short time-scales*, [w:] Collinson J. D., Lewin J. (red.), *Modern and ancient fluvial systems*, Int. Ass. Sedim. Spec. Publ., 6, s. 219–227.
- 1983b, *Channel changes, paleohydrology and deglaciation: evidence from some Late Glacial sandur deposits of Northeast Scotland*, *Quaternary Stud. Poland*, 4, s. 171–187.
- 1983c, *Palaeovelocity and palaeodischarge determination for coarse gravel deposits*, [w:] Gregory K. J. (red.), *Background to palaeohydrology*, John Wiley & Sons, Chichester, s. 101–139.
- Makkaveev N. I., Shataeva S. G., Mityakova M. N., 1967, *Pokazatel' ustoičiwosti rusła rieki*, *Meteorologiya i Gidrol.*, 5, s. 82.
- Maksiak S., Mróz W. J., 1978, *Czwartorzęd środkowej części Pojezierza Pomorskiego*, *Biul. Inst. Geol.*, 300, s. 97–152.
- Manthey T., 1981, *Vistula River: general data, regime formulae, field surveys of the estuary*, [w:] Manthey T. (red.), *Advances in sediment transport*, Zakł. Nar. Ossolińskich, Wrocław, s. 323–350.
- Manthey T., Gilewski J., 1980, *Określenie natężenia transportu rumowiska w postaci unoszonej i wlezionej w ujściowym odcinku rzeki Wisły*, *Stud. Mater. Oceanol.*, 30, s. 179–214.
- Mark D. M., 1983, *Relations between field-surveyed channel networks and map-based geomorphometric measures*, *Inez, Kentucky*, *Ann. Ass. Am. Geogr.*, 73, s. 358–372.
- Marsz A. A., 1984, *Główne cechy geomorfologiczne*, [w:] Augustowski B. (red.), *Pobrzeże Pomorskie*, Zakł. Nar. Ossolińskich, Wrocław, s. 41–65.
- Maruszczak H., 1984a, *Spatial and temporal differentiation of fluvial sediment yield in the Vistula river basin*, *Geogr. Polon.*, 50, s. 253–269.
- 1984b, *Zmienność natężenia denudacji mechanicznej dorzecza górnego Dunajca w świetle pomiarów hydrologicznych w dwudziestolecie 1952–1971*, *Studia Geomorph. Carp.-Balc.*, 17, s. 53–78.
- Meyer-Peter E., Müller R., 1948, *Formulas for bed-load transport*, *Proc. 2nd meeting Int. Ass. Hydraul. Struct. Res.*, Stockholm, App. 2, s. 39–64.
- Młynarczyk Z., 1985, *Rola wielkości i kształtu ziarna w transporcie fluwialnym*, *Prace Kom. Geogr.* – *Geol. Pozn. Tow. Przyj. Nauk*, 21.
- Morisawa M., LaFlure E., 1979, *Hydraulic geometry, stream equilibrium and urbanization*, [w:] Rhodes D. D., Williams G. P. (red.), *Adjustments of the fluvial system*, Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque, s. 333–350.
- Nanson G. C., Hickin E. J., *Channel migration and incision on the Beatton River*, *J. Hydraul. Eng. Am. Soc. Civ. Engrs*, 109, s. 327–337.
- Nanson G. C., Page K., 1983, *Lateral accretion of fine-grained concave benches on meandering rivers*, [w:] Collinson J. D., Lewin J. (red.), *Modern and ancient fluvial systems*, Int. Ass. Sedim. Spec. Publ., 6, s. 133–143.
- Nanson G. C., Young R. W., 1981, *Downstream reduction of rural channel size with contrasting urban effects in small coastal streams of southeastern Australia*, *J. Hydrol.*, 52, s. 239–255.
- Nilsson B., 1971, *Sedimenttransport i svenska vattendrag. Ett IHD-projekt. Del 1. Metodik*, UNGI Rapport, 4.
- 1972, *Sedimenttransport i svenska vattendrag. Ett IHD-projekt. Del 2. Avrinningsområden, stationer och resultat 1967–69*, UNGI Rapport, 16.
- Nordseth K., 1973, *Fluvial processes and adjustments on a braided river. The islands of Koppang-søyene on the River Glomma*, *Norsk Geogr. Tidsskr.*, 27, s. 77–108.
- Osterkamp W. R., Lane L. J., Foster G. R., 1983, *An analytical treatment of channel-morphology relations*, *US Geol. Surv. Prof. Paper*, 1288.

- Page K., Nanson G. C., 1982, *Concave-bank benches and associated floodplain formation*, Earth Surface Processes and Landforms, 7, s. 529–543.
- Park C. C., 1976, *The relationship of slope and stream channel form in the river Dart, Devon*, J. Hydrol., 29, s. 139–147.
- 1977, *World-wide variations in hydraulic geometry exponents of stream channels: an analysis and some observations*, J. Hydrol., 33, s. 133–146.
- 1978a, *Allometric analysis and stream channel morphometry*, Geogr. Analysis, 10, s. 211–228.
- 1978b, *Stream channel and flow relationships – recent techniques illustrated by studies on some Dartmoor streams*, Field Stud., 4, s. 729–740.
- 1981, *Hydraulic geometry of a supra-glacial stream; some observations from the Val d'Herens, Switzerland*, Revue Geomorph. Dyn., 30, s. 1–9.
- Pickup G., Rieger W. A., 1979, *A conceptual model of the relationship between channel characteristics and discharge*, Earth Surface Processes, 4, s. 37–42.
- Podział hydrograficzny Polski, 1983, Inst. Met. Gosp. Wodn., WKiŁ, Warszawa.
- Przedwojski B., Tschuschke W., 1982, *Analiza przydatności wzorów empirycznych do oceny transportu rumowiska wlezonego w warunkach cieków naturalnych zlewni rzeki Warty*, Roczn. Akad. Rol., Poznań, 133, Melioracje, 4, s. 69–80.
- Rachocki A., 1978, *Wpływ roślinności na kształtowanie koryt i brzegów rzek*, Przegl. Geogr., 50, s. 469–481.
- Rhodes D. D., 1977, *The b-f-m diagram: graphical representation and interpretation of at-a-station hydraulic geometry*, Am. J. Sci., 277, s. 73–96.
- Richards K. S., 1973, *Hydraulic geometry and channel roughness – a non-linear system*, Am. J. Sci., 273, s. 877–896.
- 1976, *Complex width-discharge relations in natural rivers sections*, Bull. Geol. Soc. Am. 87, s. 199–206.
- 1977, *Channel and flow geometry: a geomorphological perspective*, Prog. Phys. Geogr., 1, s. 65–102.
- 1982, *Rivers: form and process in alluvial channels*, Methuen, London.
- Riley S. J., 1972, *A comparison of morphometric measures of bankfull*, J. Hydrol., 17, s. 23–31.
- Roy A. G., 1983, *Optimal angular geometry models of river branching*, Geogr. Analysis, 15, s. 87–96.
- Scheidegger A. E., 1970, *Theoretical geomorphology*, Springer-Verlag, Berlin.
- Schumm S. A., 1960, *The shape of alluvial channels in relation to sediment type*, US Geol. Surv. Prof. Paper, 352-B.
- 1977, *The fluvial system*, John Wiley & Sons, New York.
- Schumm S. A., Lichty R. W., 1965, *Time, space, and causality in geomorphology*, Am. J. Sci., 263, s. 110–119.
- Sedimentation Seminar, 1977, *Magnitude and frequency of transport of solids by streams in the Mississippi basin*, Am. J. Sci., 277, s. 862–875.
- Shen H. W., 1979, *Introduction, flow resistance, sediment transport*, [w:] Shen H. W. (red.), *Modelling of rivers*, John Wiley & Sons, New York, s. 1-1–1-36.
- Shepherd R. G., 1979, *River channel and sediment responses to bedrock lithology and stream capture, Sandy Creek drainage, central Texas*, [w:] Rhodes D. D., Williams G. P. (reds.), *Adjustments of the fluvial system*, Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque, s. 255–275.
- Sibiga S., 1980, *Przydatność wzorów empirycznych dla określania transportu rumowiska wlezonego w warunkach nietrwalego ruchu wody*, Inst. Met. Gosp. Wodn., Mat. Bad., Ser. Hydrol. Oceanol.
- Simons D. B., 1979, *River and canal morphology*, [w:] Shen H. W. (red.), *Modelling of rivers*, John Wiley & Sons, New York, s. 5-1–5-81.
- Simons D. B., Li R. -M., 1979, *Analysis of watershed and river system*, [w:] Shen H. W. (red.), *Modelling of rivers*, John Wiley & Sons, New York, s. 11-1–11-58.
- Simons D. B., Richardson E. V., 1966, *Resistance to flow in alluvial channels*, US Geol. Surv. Prof. Paper, 422–J.

- Simons D. B., Richardson E. V., Nordin C. F., 1965, *Sedimentary structures generated by flow in alluvial channels*, [w:] Middleton G. V. (red.), *Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation*, Soc. Econ. Miner. Spec. Publ., 12, s. 34–52.
- Simons D. B., Ward T. J., Li R. -M., 1979, *Sediment sources and impact in the fluvial system*, [w:] Shen H. W. (red.), *Modelling of rivers*, John Willey & Sons, New York, s. 7-1–7-27.
- Skibiński J., 1976, *Próba ilościowej oceny intensywności transportu rumowiska wlezonego w rzekach środkowej Polski*, Zesz. Nauk. Szk. Głów. Gosp. Wiejsk. — Akad. Rol., Rozpr. Nauk., 74.
- Smith D. G., 1976, *Effect of vegetation on lateral migration of anastomosed channels of a glacier meltwater river*, Bull. Geol. Soc. Am., 87, s. 857–860.
- Stangenberg M., 1958, *Ogólny pogląd na skład chemiczny wód rzecznych Polski*, Polskie Archiwum Hydrobiol., 4(17), s. 289–359.
- Sylwestrzak J., 1978, *Rozwój sieci dolinnej na Pomorzu pod koniec plejstocenu*, Zakł. Nar. Ossolińskich, Wrocław.
- Tanaka T., Marui A., Yasuhara M., Takayama S., 1983, *Reconnaissance study on suspended sediment discharge during a storm event*, Ann. Rept., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, 9, s. 32–35.
- Taylor G., Woodyer K. D., 1978, *Bank deposition in suspended-load streams*, [w:] Miall A. D. (red.), *Fluvial sedimentology*, Can. Soc. Petrol. Geol., Memoir 5, s. 257–275.
- Thorne C. R., Lewin J., 1979, *Bank processes, bed material movement and planform development in a meandering river*, [w:] Rhodes D. D., Williams G. P. (red.), *Adjustments of the fluvial system*, Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque, 117–137.
- Thornes J. B., 1970, *The hydraulic geometry of stream channels in the Xingu-Araguaia headwaters*, Geogr. J., 136, s. 376–382.
- Thornes J. B., Brundsen D., 1977, *Geomorphology and time*, Methuen, London.
- Tricart J., 1960, *Zagadnienia geomorfologiczne*, PWN, Warszawa.
- Walling D. E., 1983, *The sediment delivery problem*, J. Hydrol. 65, s. 209–237.
- Walling D. E., Kane P., 1982, *Temporal variation of suspended sediment properties*, Int. Ass. Hydrol. Sci. Publ., 137, s. 409–419.
- 1984, *Suspended sediment properties and their geomorphological significance*, [w:] Burt T. P., Walling D. E. (red.), *Catchment experiments in fluvial geomorphology*, Geo Books, Norwich, s. 311–334.
- Walling D. E., Weeb B. W., 1981a, *Water quality*, [w:] Lewin J., *British rivers*, George Allen & Unwin, London, s. 126–169.
- 1981b, *The reliability of suspended sediment load data*, Int. Ass. Hydrol. Sci. Publ., 133, s. 177–194.
- 1982, *Sediment availability and the prediction of storm-period sediment yields*, Int. Ass. Hydrol. Sci. Publ., 137, s. 327–337.
- 1983, *The dissolved loads of rivers: a global overview*, Int. Ass. Hydrol. Sci. Publ., 141, s. 3–20.
- Webb B. W., Walling D. E., 1982, *The magnitude and frequency characteristics of fluvial transport in a Devon drainage basin and some geomorphological implications*, Catena, 9, s. 9–23.
- 1984, *Magnitude and frequency characteristics of suspended sediment transport in Devon rivers*, [w:] Burt T. P., Walling D. E. (red.), *Catchment experiments in fluvial geomorphology*, Geo Books, Norwich, s. 399–415.
- Williams G. P., 1978a, *The case of the shrinking channels — the North Platte and Platte Rivers in Nebraska*, US Geol. Surv. Circ., 781.
- 1978b, *Hydraulic geometry of river cross sections — theory of minimum variance*, US Geol. Surv. Prof. Paper, 1029.
- 1978c, *Bank-full discharge of rivers*, Wat. Resour. Res., 14, s. 1141–1154.
- 1984, *Paleohydrologic equations for rivers*, [w:] Costa J. E., Fleischer P. J. (red.), *Developments and applications of geomorphology*, Springer-Verlag, Berlin, s. 343–367.
- 1986, *River meander and channel size*, J. Hydrol., 88, s. 147–164.
- Witt A., 1983, *Vegetational influences on intrachannel deposition: evidence from the Kończak stream, Greater Poland Lowland, western Poland*, Quaestiones Geogr., 9, s. 145–160.

- Wolman M. G., 1955, *The natural channel of Brandywine Creek, Pennsylvania*, US Geol. Surv. Prof. Paper, 271.
- 1977, *Changing needs and opportunities in the sediment field*, Wat. Resour. Res., 13, s. 50–54.
- Wolman M. G., Miller J. P., 1960, *Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes*, J. Geol., 68, s. 54–74.
- Woodyer K. D., 1968, *Bankfull frequency in rivers*, J. Hydrol., 6, s. 114–142.
- 1975, *Concave-bank benches on Barwon River, N.S.W.*, Austr. Geogr., 13, s. 36–40.
- Woodyer K. D., Taylor G., Crook K. A. W., 1979, *Depositional processes along a very low-gradient, suspended-load stream: the Barwon River, New South Wales*, Sedim. Geol., 22, s. 97–120.
- Yalin M. S., 1977, *Mechanics of sediment transport*, Pergamon Press, Oxford.
- Zwoliński Z., 1980, *Przebieg i formy akumulacji aluwiiów na terasie zalewowej Parsęty (wezbranie wiosenne 1979 r.)*, Konf. Nauk., *Współczesne i kopalne środowiska sedymentacji skal okruchowych*, Warszawa, Cz. 2, s. 33–34.
- 1982, *Facies model of vertical accretion deposits included within a floodplain along meandering lowland rivers, the Parsęta River, Poland*, Abstracts, 11th Int. Cong. Sedim., McMaster Univ. Hamilton, 22.
- 1985a, *Sedymentacja osadów przyrostu pionowego na terasie zalewowej Parsęty*, Badan. Fizjogr. Pol. Zachod., 35, s. 205–238.
- 1985b, *Geomorficzne dostosowywanie się koryta Parsęty do aktualnego reżimu rzecznoego*, Praca doktorska, Archiwum Inst. Badań Czwartorzędu Uniw. A. Mickiewicza.
- 1985c, *Depositional model of the Parsęta River floodplain*, Abstr. Vol., 3rd Int. Fluv. Sedim. Conf., Columbia St. Univ., Fort Collins, s. 39.
- 1986a, *Postęp w badaniach środowiska terasy zalewowej: podejście morfogenetyczne*, Spraw. Pozn. Tow. Przyj. Nauk, 103, s. 106–109.
- 1986b, *Counterpoint sedimentation at sharply curved bends, the Parsęta River, Poland*, Abstracts, 7th Reg. Meeting Sedim. Int. Ass. Sedim., Kraków, s. 196.
- 1986c, *Morphogenetic activity of overbank flows on the Parsęta River floodplain, the Pomeranian Lakeland; general outline*, Acta Univ. N. Copernici, ser. Geografia 31(67), s. 81–86.
- 1986d, *Kooperacja przepływowa jako miernik zmian reżimu rzecznoego*, Mat. Ogólnopol. Konf. Hydrograf., *Hydrologia regionalna i procesy hydrologiczne w zlewniach*, Poznań, s. 221–225.
- 1986e, *Metody badań erozji bocznej w korytach rzecznych: przegląd i zastosowane techniki na Parsęcie*, Badan. Fizjogr. Pol. Zachod., 38, s. 179–212.
- 1988, *Stan badań rzek Przymorza w aspekcie geomorfologii fluwialnej*, Koszal. Studia i Materiały, 3/4, s. 125-150.
- 1990, *Implikacje sedymentologiczne zmienności teksturalnej osadów wleczonych w korycie Parsęty*, [w:] Kostrzewski A. (red.), *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*, Wyd. Nauk. Uniw. A. Mickiewicza, ser. Geografia, 50.

GEOMORPHIC ADJUSTMENT OF THE PARSEŃA CHANNEL TO THE PRESENT-DAY RIVER REGIME

Summary

The main attention was concentrated on outlining the trends in the adjustment of the river channel to the regime of a lowlands meandering river of the temperate climatic zone. The supreme task was to indicate the preconditions, the directions, the rates and the effects of the changes of the Parsęta River channel on the grounds of a repeated research into processes, sediments and forms occurring within the natural river channel in a short time-scale. A detailed research was undertaken on three study reaches along the longitudinal profile of the Parsęta River. Three channel cross-sections were chosen within each reach differing in location and shape – a straight reach, a bend with a larger curvature radius and a bend with a smaller curvature radius.

The undertaken research task and the methodology applied revealed a different hydraulic, sedimentary and geomorphic character of bends with lower curvature ratios in comparison to bends with higher curvature ratios. The indicated differences in functioning of the two types of river bends and the characteristics of the bends with lower curvature ratios substantiate the thesis that it is necessary to revise the existing opinions on development of meander bends, as well as of the processes and phenomena within them and in implications and geomorphic effects of appearing of this type of bends on the bottom of river valleys in actualistic, paleogeographic and comparable studies. A dynamic allometric analysis and adjustment models document a considerable geomorphic convergence of these bends with straight reaches of the river.

An analysis of the documentation material, relationships of at-a-station and downstream hydraulic geometry, dynamic and static allometric orientation of the river channel, values and relations of exponents of discharge cooperation (connections of water and total load discharges) and the models of adjustment of the river channel to the present-day river regime permit to formulate the following hierarchy of geomorphic adjustments of the Parsęta channel system:

a) positional adjustment – the reaches of the river channel at the bends of higher curvature ratios are better adjusted to receive a broader range of discharges than the straight reaches of the river and the bends with lower curvature ratios; these cross-sections, therefore, are characterised by the highest morphological changeability; the cross-sections of bends with lower curvature ratios in turn are characterised by a considerable stability of channel banks and a mobility of channel bottom; finally, cross-sections of the straight reaches of the river characterised by a relative morphological stability favour more rapid overflows of flood waters from the channel into the floodplain;

b) regional adjustment – isometry of the discharge cooperation is the threshold value for determining the character of the river channel adjustment in the regional aspect; the lower study reach at Bardy is characterised by isometric features of discharge cooperation which evidences about the most natural (normal) reactions of the channel to changes of the river regime; the middle study reach at Dębczyno characterised by a positive allometry of the water discharge and negative allometry of the total load discharge is adjusted to the existing variability of the river regime; the majority of discharges, therefore, including high water levels and excluding the highest do not exceed the capacity of the channel cross-sections; the upper study reach at Krosino characterised

by an inverse pattern of discharge cooperation is featured by the poor adjustment of the channel morphology to receive even slightly raised discharges and there are frequent overflows of flood waters as a result;

c) system adjustment — antithetic patterns of the downstream hydraulic geometry relationships indicate explicitly to an increasing degree of downstream channel adjustment to the changing range of water and total load discharges; the Parsęta River channel is particularly well adjusted in its downstream profile to receive discharge cooperation at low and intermediate water level zones; meaningful geomorphic metamorphosis of the river channel at high water levels determines the scale of its lack of adjustment to infrequent high and extremely high discharges; high and bankfull discharges should, therefore, be considered channel forming.

The presented hierarchy of the Parsęta channel geomorphic adjustments analysed against a broader background of the fluvial system permits to reveal the following characteristics of the Parsęta River channel system:

a) the river channel changes are of an episodic character both in time and space; periods of a longer relative geomorphic stability of the channel are interspersed with periods of short-term rapid changes and reaches of a relatively stable morphology are interspersed with reaches characterised by more sizable and faster morphology changes;

b) a differentiated mechanism of modern channel changes results from the impact of numerous factors and elements controlling the fluvial system, among which of major importance are widespread influence of intrinsic rather than extrinsic thresholds ones, continuous and strong interrelationships between fluvial processes within the river channel and geomorphic processes within the whole drainage basin, marked adaptation of river channel adjustment rate to modes and time of reaction and relaxation in a given geomorphic and hydro-meteorological situation;

c) periodical, although meaningful preponderance of the aggradation trend over continuous, mainly in time and less pronouncedly in space, degradation trend of the river and an insignificant rate of the channel migration determine a short-time dynamic equilibrium stage with a not too high amplitude of geomorphic and hydrological disturbances in the channel and in the drainage basin, an amplitude decreasing downstream for the Parsęta River channel system.

Translated by Marek Rudowski

ГЕОМОРФИЧЕСКОЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЕ РУСЛА ПАРСЕНТЫ К АКТУАЛЬНОМУ РЕЧНОМУ РЕЖИМУ

Резюме

В работе главный акцент ставится на определение тенденции приспособления речного русла к режиму низменной меандрирующей реки в зоне умеренного климата. Первостепенной задачей было показать обусловленности, направления, темпы и последствия изменений речного русла Парсенты на основе многократно повторяемых исследований процессов, осадков и форм в пределах естественного русла в коротком временном масштабе. Для полевых исследований была избрана река Парсента. В пределах каждого отрезка было отобрано по 3 поперечных разреза, различных по локализации и облику: на прямом отрезке реки, на излучине большего радиуса кривизны и на излучине меньшего радиуса кривизны.

Предпринятые исследовательские задачи и их методологические предпосылки показали разный гидравлический, седиментационный и геоморфический характер излучин с низкими соотношениями кривизны по сравнению с излучинами с большими соотношениями кривизны. Показанные различия в функционировании этих двух типов излучин, а также свойства излучин с низкими соотношениями кривизны, оправдывают выдвижение тезиса о необходимости пересмотра сложившихся до сих пор мнений о схемах развития меандрирующих излучин, ходе процессов и событий в их пределах, а также об импликациях и геоморфических эффектах наличия этого рода излучин в днах речных долин в актуалистических, палеогеографических и с равнительных исследованиях. Динамический аллометрический анализ и модели приспособления документируют значительное геоморфическое конвергенцию этих излучин к прямым отрезкам реки.

Анализ документационного материала, зависимости поперечной и продольной гидравлической геометрии, статическая и динамическая аллометрическая ориентация русла, величины и реляции показателей степени проточной кооперации, а также модели приспособления русла к актуальному речному режиму дают основания для уточнения нижепредставленной иерархии геоморфических приспособлений русловой системы Парсенты:

а) позиционное приспособление — отрезки речного русла на излучинах с большими соотношениями кривизны лучше приспособлены к приёму более широкого диапазона расходов реки, чем прямые отрезки реки и излучины с меньшими соотношениями кривизны. Поэтому их разрезы отличаются самой большой морфологической переменностью, в то время как разрезы излучин с меньшими соотношениями кривизны отличаются значительной устойчивостью берегов русла и мобильностью дна. Наконец разрезы прямых отрезков реки, показывают относительную морфологическую устойчивость, способствуют разливам паводковых вод из русла на пойму;

б) региональное приспособление — изометрия проточной кооперации является пороговой величиной для определения характера приспособления речного русла в региональном подходе. Изометрические черты проточной кооперации характеризуют отрезок в Бардах, что свидетельствует о самых натуральных (нормальных) реакциях русла на изменения речного режима. Отрезок русла в Дембчине, показывающий положительную аллометрию потока воды и отрицательную аллометрию потока осадков, приспособлен к существующей

там переменности речного режима. В силу этого большинство потоков, включая высокие, но без самых высоких, помещаются в бместимости поперечных разрезов русла. Отрезок к Кросине, имеющий обратную схему проточной кооперации, отличается самым слабым приспособлением морфологии русла к приёму хотя бы повышенных потоков, вследствие чего здесь часто случаются разливы паводковых вод.

в) системное приспособление — антитетические схемы зависимости продольной гидравлической геометрии однозначно указывают на возрастающую по течению степень приспособления русла к меняющимся объёмам потоков вод и осадков. Русло Парсенты в продольном профиле особенно хорошо приспособлено к приёму проточной кооперации низких и средних уровней воды. Значительное геоморфическое преобразование речного русла в период высоких уровней воды определяет степень его неприспособленности к редко появляющимся высоким расходам реки и водам исключительно большого объёма. Следовательно, руслообразующими следует признать высокие расходы реки, в том числе полнорусловые расходы.

Представленная иерархизация геоморфических приспособлений русла Парсенты, рассматриваемая на более широком фоне флювиальной системы, позволяет выделить следующие свойства русловой системы Парсенты:

а) изменения речного русла имеют эпизодический характер, как во временном, так и в пространственном значении. Периоды более продолжительной относительной геоморфической устойчивости чередуются с периодами кратковременных и бурных изменений, а отрезки реки с относительно устойчивой морфологией разделяются отрезками с немного большими или более быстрыми морфологическими изменениями.

б) дифференцированный механизм современных русловых перемен — эффект многих элементов и факторов, контролирующих речную систему. К самым важным из них следует отнести: более распространённое в пределах русловой системы воздействие внутренних нежели внешних порогов, постоянная и тесная связь (или зависимость) флювиальных процессов в речном русле с (от) геоморфическими процессами, происходящими на территории всего водосборного бассейна, отчётливое подчинение темпов приспособления речного русла в отношении способов и времени реакции и релаксации русла в данных геоморфических и гидро-метеорологических ситуациях.

в) периодическое, но существенное преобладание аградационной тенденции над постоянной деградационной тенденцией реки — главным образом во временном, а в меньшей степени в пространственном значении — и небольшие темпы перемещения русла определяет для короткого временного масштаба состояние динамического равновесия русловой системы Парсенты с не очень большой амплитудой геоморфических и гидравлических нарушений, появляющихся в русле и на территории водосборного бассейна, амплитуде, которая уменьшается с течением реки.

Перевела: Э. Яворска

**WYDAWNICTWA IGI PZ PN
VARIA**

Bibliografia geografii polskiej 1983. 1987, s. 428, zł 1200,–

Streszczenie prac habilitacyjnych i doktorskich 1984, 1985. 1986, s. 111, zł 250,–

Centralny katalog zbiorów kartograficznych w Polsce

zeszyt 5. **Wieloarkuszowe mapy topograficzne Polski 1576–1870.** 1984, cz. 1 s. 109, cz. 2, tab. 220, zł 3500,–

Katalog dawnych map Rzeczypospolitej Polskiej w kolekcji Emeryka Hutten-Czapskiego i w innych zbiorach. Oprac. W. Kret, 1978, s. 164, 37 map, zł 140,–; t. II, **Mapy XVIII wieku.** Oprac. T. Paćko, D. Stachnal-Talanda, E. Gołąb (w druku)

Cena w prenumeracie zł 360.—

Cena zł 3000.—

WYKAZ ZESZYTÓW DOKUMENTACJI GEOGRAFICZNEJ

za ostatnie lata

1987

- 1 A. WERWICKI — Geografia usług makroregionu funkcjonalnego Warszawy, s. 93, zł 90,—
- 2 K. PUCHALSKI — Atrakcyjność społeczno-gospodarcza jako czynnik rozwoju miasta (na przykładzie regionu miast Warszawy), s. 92, zł 90,—
- 3 A. BREYMEYER (red.) — Lasy iglaste na obszarze Polski, s. 111, zł 90,—
- 4 S. ŻUREK — ZłoŜa torfowe Polski na tle stref torfowych Europy, s. 84, zł. 90,—
- 5 M. KUPISZEWSKI — Pomiar migracji w prognozowaniu i modelowaniu zmian rozmieszczenia struktury ludności, s. 78, zł 90,—
- 6 J. DĘBSKI — ZałoŜenia i realizacja planu przestrzennego zagospodarowania Polski w latach 1971—1985, s. 92, zł 90,—

1988

- 1 H. LIBURA — Badania wyobraŹen geograficznych na przykŁadzie mieszkańców Sanoka, s. 90, zł 100,—
- 2-3 J. KOSTROWICKI (red.) — Wybrane zagadnienia z geografii rolnictwa, s. 103, zł 200,—
- 4 I. DYNOWSKA (red.) — Antropogeniczne uwarunkowania zmian odpływu i eŹimu rzek w róŹnych regionach Polski, s. 95, zł 100,—
- 5-6 L. KASPRZAK — Dyferencjacja mechanizmów formowania stref marginalnych faz leszczyńskiej i poznańskiej ostatniego zlodowacenia na Nizinie Wielkopolskiej, s. 159, zł 200,—

1989

- 1 J. MALCZEWSKI — Przestrzenna organizacja systemu placówek podstawowej ochrony zdrowia (na przykŁadzie dzielnicy Warszawa-Wola), s. 98, zł 130,—
- 2 M. BARTNICKA — WyobraŹenia przestrzeni miejskiej Warszawy (studium geografii percepcji), s. 92, zł 130,—
- 3-4 Z. ZWOLIŃSKI — Geomorficzne dostosowywanie się koryta Parsęty do aktualnego reŹimu rzecznego, s. 143, zł 260,—
- 5 A. ŁAJCZAK — ZróŹnicowanie transportu zawiesiny w karpackiej części dorzecza Wisły, s. 85, zł 130,—
- 6 P. JOKIEL, K. KOŹUCHOWSKI — Zmiany wybranych charakterystyk hydroklimatycznych Polski w bieżącym stuleciu, s. 94, zł 130,—