

MICHAŁ WASILEWICZ

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

ANALIZA ZMIENNOŚCI TOPOGRAFII KORYTA WKRY NA ODCINKACH O RÓŻNYM STOPNIU PRZEKSZTAŁCENIA

Streszczenie. W pracy podjęto próbę oceny, jakie parametry koryta rzeki wpływają najbardziej na zróżnicowanie topografii dna. Badania przeprowadzono na Wkrze, w środkowym biegu rzeki, pomiędzy km 90 a 150. Wytypowano siedem stanowisk położonych na naturalnych i przekształconych odcinkach rzeki. Badania obejmowały analizę układu poziomego na podstawie zdjęć lotniczych oraz opracowanie szczegółowej topografii koryta z użyciem echosondy. Na podstawie opracowanych map batymetrycznych wykreślono profil podłużny dna w linii największych głębokości. Powstał profil dna z wyraźnymi rozmyciami tworzącymi sekwencje bystrze-płoso. Wszystkie odcinki charakteryzują się zauważalnym zróżnicowaniem profilu podłużnego. W połączeniu z informacjami dotyczącymi układu koryta w planie można było określić, które z rozmyć są wynikiem układu poziomego rzeki i związanej z tym cyrkulacji poprzecznej, a które z nich są wywołane przez inne czynniki, takie jak: zwalone pnie drzew, wyspy, progi piętrzące, jazy. Badania potwierdziły związek pomiędzy głębokością rozmyć dna a parametrami układu poziomego. Analiza wyników wykazała, iż na głębokość rozmyć dna stanowiących ważny element zróżnicowania abiotycznego, a będących skutkiem cyrkulacji poprzecznej, istotny wpływ mają promień krzywizny oraz spadek zwierciadła wody.

Słowa kluczowe: topografia dna, koryto rzeczne, dolina Wkry

Wstęp

W pracy opisano badania czynników kształtujących warunki środowiskowe rzeki będącej typowym przykładem nizinnej rzeki średniej wielkości. Procesy korytowe, które odpowiadają za morfologię koryta – topografię dna, kształt profilu podłużnego, przekrojów poprzecznych oraz rozkłady prędkości, są zjawiskiem bardzo złożonym. Na ich przebieg wpływa wiele czynników: warunki hydrauliczne, hydrologiczne, geologiczne, a także przekształcenia rzek, zabudowa koryt, budowle wodne oraz sposób eksploatacji.

O warunkach życia organizmów zasiedlających rzekę wraz z otaczającą doliną decyduje w głównej mierze stan chemiczny wody oraz morfologia koryta. Jakość wody nie może odbiegać od jakości wód naturalnych, aby rozwój organizmów mógł odbywać się na optymalnym poziomie. Znaczące odstępstwa od tego stanu mogą spowodować długookresowe i często nieodwracalne zakłócenia w funkcjonowaniu biocenozy rzeki. Rola jakości wody jest mocno podkreślana w definiowaniu procesu renaturyzacji (HILLBRICHT-ILKOWSKA 1998, ŻELAZO i POPEK 2002).

Drugim, po chemicznym stanie wody, czynnikiem wpływającym na kondycję biocenozy rzeki jest stan zróżnicowania morfologicznego rzeki. Wyraża się on poprzez obecność struktur korytowych – w postaci wysp, odsypisk, przegłębień, bystrzy, poprzez zróżnicowanie kształtów przekrojów poprzecznych, zmienność nachylenia skarp brzegów, występowanie nawisów brzegowych, charakter substratu dna, rozkłady prędkości przepływu w przekroju podłużnym i poprzecznym, oraz naturalne przeszkody w korycie w postaci zwalonych konarów drzew, korzeni, dużych głazów.

Czynnikiem wyjściowym w kształtowaniu zróżnicowania morfologicznego koryta jest jego układ w planie. Rozkłady prędkości, kształty przekrojów poprzecznych czy zróżnicowanie substratu dna są w dużym stopniu pochodną kształtu trasy koryta. Na jego kształt mają wpływ czynniki, takie jak: geomorfologia doliny, reżim hydrologiczny, położenie w zlewni (BROOKES 1988, CALOW i PEETS 1992, FALKOWSKI i POPEK 1998). Naturalne przeszkody w postaci pni drzew, głazy, żwirowe bądź piaszczyste łachy, sztuczne elementy, np. progi czy deflektory, przyczyniają się do zmiany krętości biegu rzeki. Elementy te zmieniają strukturę prędkości i kierunki przepływu strug wody, intensyfikując procesy erozji dna i (lub) brzegów w niektórych miejscach koryta oraz akumulację sedymentów w innych jego częściach (ŻELAZO i POPEK 2002).

Cel pracy, obszar badań i metodyka

Celem pracy było rozpoznanie zróżnicowania morfologicznego i hydraulicznego koryta rzeki wynikającego z jej przekształcenia podczas robót regulacyjnych.

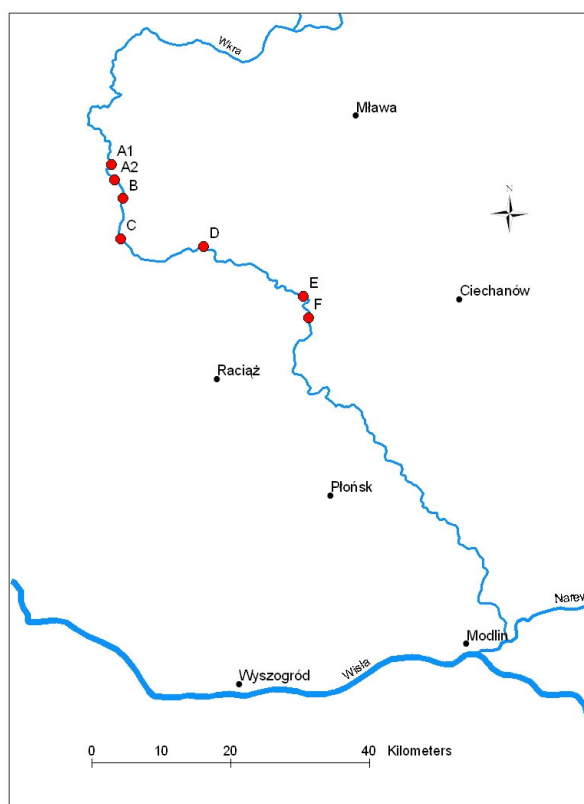
Badania przeprowadzono na siedmiu stanowiskach położonych na naturalnych i przekształconych odcinkach środkowej Wkry. Lokalizację stanowisk przedstawiono na rysunku 1.

Badania skoncentrowano na odcinku pomiędzy Poniatowem a Unierzyżem (km 151+00 – km 92+00). Wyboru homogenicznych odcinków badawczych dokonano na podstawie ich cech charakterystycznych, a głównym kryterium był stopień przekształcenia rzeki przez człowieka. Dodatkowo przy wyborze odcinków brano pod uwagę kształt rozwinięcia układu poziomego i występowanie budowli piętrzących.

Do badań wytypowano:

- na odcinkach o nieprzekształconym układzie poziomym – trzy stanowiska badawcze, oznaczone symbolami: „A1”, „E”, „F”,
- na odcinkach uregulowanych – cztery stanowiska badawcze, oznaczone symbolami: „A2”, „B”, „C”, „D”.

Odcinki uregulowane Wkry są stosunkowo mało zróżnicowane pod względem układu poziomego, kształtu i wymiarów przekroju poprzecznego oraz stosowanych ubezpieczeń



Rys. 1. Lokalizacja stanowisk badawczych
Fig. 1. Location of research sites

brzegów. Roboty regulacyjne zostały wykonane w klasyczny, techniczny sposób. Koryto uzyskało sztuczny układ w planie, charakteryzujący się długimi odcinkami prostymi sporadycznie przedzielonymi łagodnymi łukami. Występują również fragmenty, gdzie koryto regulacyjne pokrywa się częściowo z dawną trasą rzeki, czego efektem jest bardziej urozmaicony kształt układu poziomego (więcej jest łuków o parametrach odpowiadających rzekom nieuregulowanym). Na odcinkach uregulowanych rzadko występuje wysoka roślinność brzegowa. Odcinki uregulowane Wkry zostały uzbrojone w liczne budowle: jazy, które miały służyć racjonalnej i intensywnej gospodarce rolnej, oraz stopnie, których celem była stabilizacja dna rzeki.

Na odcinkach nieuregulowanych układ poziomy Wkry jest znacznie bardziej rozwinięty i zróżnicowany. Jest ukształtowany w postaci sekwencji krzywizn o zmiennej geometrii i zróżnicowanych wartościach promienia krzywizny i kąta środkowego łuku. Na przeważającej długości trasa rzeki jest serpentynująca, występują również odcinki meandrujące. Układ poziomy rzeki wpływa w istotny sposób na kształtowanie profilu dna, jak i na erozję brzegów. Na łukach o dużych krzywiznach (małe promienie łuku) w wyniku cyrkulacji poprzecznej powstają silne prądy złobiające o dużym potencjale

erozyjnym. W miejscach, gdzie brzegi są wysokie oraz brakuje naturalnego umocnienia korzeniami drzew, występują zjawiska erozji. Przejawia się to w podmywaniu brzegu na poziomie wody niskiej, co generuje obrywanie i osuwanie się dużych mas ziemnych. Oprócz erozji brzegowej na łukach prądy żłobiące powodują również pogłębianie koryta. Wskutek tego głębokości na łukach są większe niż na tzw. przejściach nurtowych – odcinkach przejściowych pomiędzy łukami o odwrotnej krzywiznie, stąd też na odcinkach o dobrze rozwiniętym układzie poziomym głębokości wody zmieniają się znacznie na długości koryta.

Odcinki Wkry sklasyfikowane jako nieuregulowane pod wieloma względami odznaczają się dużym stopniem naturalności, jednakże trudno je traktować jako w pełni naturalne, gdyż w korycie rzeki istnieją liczne budowle hydrotechniczne lub pozostałości po nich, a także budowle komunikacyjne. Istnienie tych budowli wywarło i wywiera istotny wpływ na dynamikę rzeki.

Na wytypowanych stanowiskach scharakteryzowano układ poziomy rzeki (promienie łuków, kąty wewnętrzne), ustalono morfologię dna koryta, skład mechaniczny materiału dennego (analiza sitowa na zestawie sit o średnicach od 0,32 do 32 mm), przeprowadzono pomiary prędkości przepływu w szeregu punktów płaszczyzny przekroju poprzecznego cieku według zasad stosowanych w hydrometrii.

Pomiary topografii dna przeprowadzono urządzeniem Ceeducer składającym się z echosondy zintegrowanej z odbiornikiem GPS. Dokładność pomiaru głębokości wynosiła ± 2 cm, natomiast dokładność położenia w układzie współrzędnych geograficznych – ± 1 m.

Rejestrację głębokości (położenia dna) prowadzono w punktach, które były zlokalizowane na liniach przesuwania się pontonu w poprzek rzeki odległych od siebie mniej więcej o 10 m. Otrzymane z echosondy i GPS punkty posłużyły do opracowania w środowisku GIS planów warstwowych dna badanych odcinków rzeki z cięciem warstwicowym co 10 cm. Analizę lokalizacji przegłębień dna przeprowadzono z wykorzystaniem programu Statistica. Do analizy statystycznej wybrano 24 łuki i dla nich określono parametry morfologiczne: szerokość koryta B , promień łuku R , kąt wewnętrzny α , wielkość rozmycia mierzona ilorazem głębokości maksymalnej do głębokości średniej oraz średnicę zastępczą d_{50} , prędkość średnią w przekroju, spadek zwierciadła wody.

Wyniki

Charakterystyka parametrów geometrycznych układu poziomego

Odcinki naturalne mają łuki o krzywiznie większej niż odcinki uregulowane, o kącie środkowym zbliżonym lub przekraczającym kąt prosty (tab. 1). Łuki o największych kątach występują na stanowisku „A1”. Średnia wartość kąta wynosi 109° , a maksymalna – aż 208° . Stanowisko „A1” charakteryzuje się największym zróżnicowaniem wartości kąta wewnętrznego. Amplituda zmienności na odcinkach uregulowanych została zmniejszona w wyniku przeprowadzonych prac.

Odcinki uregulowane charakteryzują się większymi promieniami łuków w stosunku do odcinków naturalnych. Poza stanowiskiem „A2” średnia wielkość łuku przekracza 100 m (ok. 6-7 B_{sr} , tj. średniej szerokości koryta). Największe promienie występują na

Tabela 1. Zestawienie parametrów analizowanych łuków
Table 1. The record sheet of the meander parameters

Lp.	Nr łuku	B_{sr}	Parametry łuku							d_{50}	V_{sr}	I-spadek
			R	R/B	α	$\alpha/90^\circ$	H_{max}	H_{sr}	Δh			
1	A 1-1	17,36	39,20	2,26	208,00	2,31	1,30	0,65	2,00	0,46	0,56	0,0000729
2	A 1-2	15,02	45,35	3,02	180,00	2,00	1,70	0,76	2,24	0,46	0,57	0,0005750
3	A 1-4	14,70	78,70	5,35	31,60	0,38	1,40	0,64	2,17	4,06	0,56	0,0003488
4	A 1-5	16,79	118,34	7,05	62,00	0,69	1,15	0,58	1,99	4,06	0,56	0,0003488
5	A 1-6	17,90	228,20	12,75	136,50	1,52	0,90	0,55	1,65	1,3	0,56	0,0003488
6	A 2-1	13,00	86,85	6,68	68,00	0,76	1,25	0,80	1,56	0,61	0,86	0,0002308
7	A 2-2	13,70	75,15	5,49	76,00	0,84	1,40	0,81	1,72	1,59	1,04	0,0005135
8	A 2-3	15,10	118,10	7,82	97,00	1,08	1,35	0,65	2,08	12,94	1,13	0,0010164
9	B-1	13,85	208,30	15,04	50,00	0,56	0,90	0,58	1,54	3,33	0,74	0,0000702
10	B-4	11,46	87,40	7,63	36,00	0,40	1,40	0,76	1,85	8	0,82	0,0001997
11	B-5	12,67	92,80	7,32	52,00	0,58	1,25	0,83	1,52	0,29	0,81	0,0001997
12	B-7	12,50	116,00	9,28	30,00	0,33	1,60	0,97	1,65	0,42	0,61	0,0005060
13	C-1	16,39	49,60	3,03	90,00	1,00	1,70	0,84	2,03	0,61	0,77	0,0006389
14	C-2	19,49	113,50	5,82	56,00	0,62	1,20	0,55	2,19	1,25	0,83	0,0003780
15	C-3	19,28	137,10	7,11	40,00	0,44	1,10	0,61	1,80	0,64	0,91	0,0004259
16	D-1	11,00	172,50	15,68	90,00	1,00	2,05	1,47	1,40	0,36	0,73	0,0001292
17	D-2	11,00	95,50	8,68	95,00	1,06	1,90	1,27	1,49	0,48	0,69	0,0001292
18	D-3	9,00	156,50	17,39	133,00	1,48	1,90	1,42	1,34	0,42	0,75	0,0001292
19	E-1	19,10	39,90	2,09	98,00	1,09	2,80	1,08	2,60	0,56	0,65	0,0003069
20	E-2	19,00	45,10	2,37	57,00	0,63	2,10	0,97	2,16	0,56	0,57	0,0003684
21	E-3	25,00	37,40	1,50	112,00	1,24	3,30	1,58	2,09	0,54	0,56	0,0003700
22	F-2	14,43	23,90	1,66	154,00	1,71	3,50	1,16	3,01	6,48	0,42	0,0005844
23	F-3	15,00	46,20	3,08	70,00	0,78	3,80	1,24	3,08	6,48	0,7	0,0004783
24	F-5	15,00	23,40	1,56	101,00	1,12	3,90	1,12	3,49	9,01	0,82	0,0009733

stanowisku „D”, które zostało uregulowane w odmienny sposób niż pozostałe. Zgodnie z regulacją naturalną trasę poprowadzono w formie sekwencji łagodnych, przeciwstawnych łuków. Średnia wartość promienia wynosi prawie 125 m (ok. 8 B_{sr}). Najdłuższy spośród odcinków uregulowanych promień, o wartości 208 m (ok. 14 B_{sr}), występuje na stanowisku „B”. Łuk o najmniejszym promieniu znajduje się na stanowisku „D”. Jego wartość wynosi 45,2 m (3 B_{sr}). Jest to łuk, który pierwotnie miał inną geometrię. Erozja brzegów doprowadziła do zmiany trasy i zmniejszenia długości promienia. Odcinki naturalne mają średnio krótsze promienie łuków w porównaniu z odcinkami uregulowa-

nymi. Największym zróżnicowaniem odznacza się stanowisko „A1”. Znajdują się tam łuki o maksymalnych wśród łuków na odcinkach naturalnych wartościach promieni: największy ma promień o długości 228 m ($15 B_{sr}$). Najkrótsze promienie łuków występują na stanowisku „F”. Trzy z pięciu łuków mają promień o długości około 23 m ($1,5 B_{sr}$). Łuki te znajdują się na bocznej odnodze koryta głównego, która obecnie prowadzi większość płynącej wody.

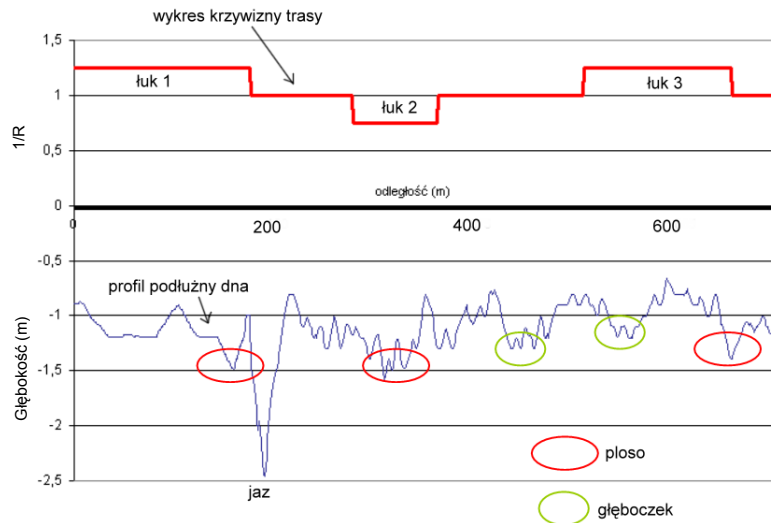
Pod względem występowania struktur korytowych (są to wszelkiego rodzaju urozmaicenia linii brzegowej: rozmycia, a także wyraźne wypłylenia dna, bystrza, wyspy, piaszczyste łachy oraz przegłębienia w postaci plos na łukach i mniejsze rozmycia zlokalizowane bardziej losowo, nazywane głębozcami) nie widać wyraźnych różnic między odcinkami naturalnymi i uregulowanymi.

Lokalizacja sekwencji: bystrze–płoso

Na podstawie opracowanych map batymetrycznych stworzono profil podłużny dna w linii największych głębokości z wyraźnymi rozmyciami tworzącymi sekwencje bystrze–płoso (rys. 2). Wielkość rozmycia oznaczono jako

$$\Delta h = H_{max}/H_{sr}$$

gdzie: H_{max} – głębokość maksymalna na łuku, H_{sr} – głębokość średnia na łuku.



Rys. 2. Przykładowy profil podłużny dna na odcinku badawczym „A2” wraz z wykresem krzywizny trasy i lokalizacją rozmyć.

Fig. 2. Example of the longitudinal bottom profile along “A2” site with the bend graph and location of scours

Na wszystkich badanych odcinkach występuje zróżnicowanie profilu podłużnego. Nawet na odcinkach uregulowanych w wyniku procesów erozyjnych nastąpiło zróżnicowanie głębokości. Na stanowiskach „A1”, „D”, „E”, „F” przegłębienia występują średnio

w odstępach co 70-80 m, co według LEWISA i WILLIAMS (1984) odpowiada przeciętnym odległościom obserwowanym w rzekach nizinnych i równych 5-7 B_{sr} . Na pozostałych stanowiskach odległości pomiędzy plosami są znacznie większe i wynoszą: na „A2” – 150 m, na „B” – 110 m, na „C” – 200 m, jest to odpowiednio 10 B_{sr} , 8 B_{sr} i 10 B_{sr} .

Wskazuje to, że w korycie Wkry na badanych odcinkach, obok rozmyć (przełębień) wynikających z oddziaływania cyrkulacji poprzecznej spowodowanej krętością układu poziomego, nazywanych „plosami”, występują także inne rozmycia – przypadkowo zlokalizowane, które – w odróżnieniu od poprzednich – nazwano „głęboczkami”. Na podstawie analizy układu poziomego określono, które z rozmyć są wynikiem układu poziomego rzeki i związanej z tym cyrkulacji poprzecznej, a które są wywołane innymi, losowymi czynnikami (głęboczki).

Analiza topografii dna

W licznych źródłach (BROOKES 1988, CARLING i PEETS 1992, CALOW i PEETS 1992, PRZEDWOJSKI 1998) wskazuje się, że na wielkość rozmycia w sposób decydujący wpływa układ trasy w planie. Nie jest to jednak jedyny parametr mogący mieć znaczenie w kształtowaniu dna na łuku. Analiza przebiegu zjawiska wskazuje, iż czynnikami takimi mogą być: prędkość przepływu (V_{sr}), spadek zwierciadła wody (I), rodzaj rumowiska charakteryzowany średnicą zastępczą (d_{50}). Aby wyjaśnić rolę różnych czynników w kształtowaniu wielkości rozmycia plosa, zastosowano analizę regresji. Do wstępnej analizy przyjęto następujący model regresji:

$$\Delta h = f(R/B; V_{sr}; d_{50}; I)$$

W tabeli 1 zestawiono wszystkie charakterystyczne parametry analizowanych łuków.

Analiza cząstkowych korelacji (wykonana programem Statistica) dotycząca wielkości rozmycia z różnymi parametrami morfologicznymi wykazała, iż wielkość rozmycia Δh pozostaje w najsilniejszym (istotnym statystycznie) związku z parametrami R/B , opisującymi krzywiznę trasy i ze spadkiem zwierciadła wody I . Pozostałe parametry nie są skorelowane z wielkością rozmycia w sposób istotny statystycznie. Na tej podstawie do dalszych analiz wykorzystano następującą postać równania regresji:

$$\Delta h = f(R/B; I)$$

Uzyskane wyniki charakterystyk badanych odcinków koryta pozwoliły na ustalenie następującego równania regresji:

$$\Delta h = (R/B)^{-0,22457} \cdot I^{0,10943}$$

Analiza statystyczna regresji została przeprowadzona na wartościach logarytmowanych parametru R/B oraz spadku I . Błąd standardowy estymacji wyniósł 0,132, natomiast skorygowany współczynnik korelacji $R^2 = 0,74$.

Wnioski

Badania przeprowadzone na odcinkach Wkry o różnym stopniu przekształcenia wykazały różnicowanie cech koryta rzeki.

Morfologia koryta na odcinkach krzywoliniowych jest bardziej zróżnicowana niż na odcinkach prostoliniowych. Na łukach występują wyraźnie zaznaczone obszary rozmyć – plosa wywołane cyrkulacją poprzeczną. Zlokalizowane są w różnych częściach łuku: początkowej, środkowej i końcowej, a w niektórych przypadkach sięgają łuku następnego. Takie usytuowanie plos nie jest w pełni zbieżne z prawidłowością opisaną prawami Fargue’a (WOŁOŻYŃ 1974). Najistotniejszy wpływ na głębokość rozmyć, będących skutkiem cyrkulacji poprzecznej, mają promień krzywizny oraz spadek zwierciadła wody.

W korycie prostym oraz na łukach (naturalnych i uregulowanych) występują także inne lokalne przegłębienia. Wydaje się, że ich częstotliwość oraz lokalizacja występowania na łukach są związane z krzywoliniowością trasy, lecz analizowane parametry nie pozwalają przedstawić zależności opisujących ich rozmiary i rozmieszczenie.

Również na odcinkach prostych nie można stwierdzić prawidłowości w lokalizacji takich przegłębień. Na obserwowaną zmienność ich lokalizacji mogą mieć wpływ lokalne zaburzenia przepływu, np. występowanie drzew, skutki wykonanych w przeszłości prac ziemnych i inne czynniki.

Literatura

- BROOKES A., 1988. Channelized rivers: perspectives for environmental management. Wiley, Chichester.
- CALOW P., PEETS G.E., 1992. The rivers handbook. Vol. 1. Blackwell, Oxford.
- CARLING P.A., PEETS G.E., 1992. Lowland floodplain rivers. Geomorphological perspectives. Wiley, Chichester.
- FALKOWSKI T., POPEK Z., 1998. Zmiany położenia dna w korycie Wkry na tle zróżnicowania morfogenetycznego jej doliny i przyległych wysoczyzn. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 458: 33-43.
- HILLBRICHT-ILKOWSKA A., 1998. Różnorodność biologiczna siedlisk słodkowodnych: problemy, potrzeby, działania. *Idee Ekol.* 13, 7 (Bioróżnorodność w środowisku wodnym. Red. M. Kraska): 13-54.
- LEWIS G., WILLIAMS G., 1984. Rivers wildlife handbook: a guide to practices which further the conservation of wildlife on rivers. The Royal Society for the Protection of Birds, Bedfordshire.
- PRZEDWOJSKI B., 1998. Morfologia rzek i prognozowanie procesów rzecznych. Wyd. AR, Poznań.
- WOŁOŻYŃ J., 1974. Regulacja rzek i potoków. PWN, Warszawa.
- ŻELAZO J., POPEK Z., 2002. Podstawy renaturyzacji rzek. Wyd. SGGW, Warszawa.

ANALYSIS OF THE WKRA RIVER-BED CHANGES IN ASPECT OF DIFFERENT STATE OF MODIFICATION

Summary. The research was conducted on seven sites located in natural and transformed reaches of the Wkra River. The research included the following factors: physical properties of sediments, shaping of velocity distribution along the river course and in cross-sections, variability of bottom topography, relationships between the depth of bottom washing and parameters of river-bed

Wasilewicz M., 2009. Analiza zmienności topografii koryta Wkry na odcinkach o różnym stopniu przekształcenia. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 3, #105.

shape, analysis of change in longitudinal profile. An attempt was made to establish what parameters are crucial for diversification of abiotic conditions. The depth of bottom washing, which is an important element of abiotic diversity and which results from transversal circulation, is mostly influenced by radius of curvature and decline of water-table.

Key words: river-bed topography, river-bed, Wkra River valley

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Michał Wasilewicz, Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, Poland, e-mail: michal_wasilewicz@sggw.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:
28.04.2009

Do cytowania – For citation:

*Wasilewicz M., 2009. Analiza zmienności topografii koryta Wkry na odcinkach o różnym stopniu przekształcenia. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 3, #105.*

