INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr I/1/2015, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 59–72
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

DOI: http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2015.1.1.005

ANALIZA PRZEOBRAŻEŃ KORYTA RZEKI CZARNA W DŁUGIM OKRESIE CZASU W WYBRANYCH PROFILACH WODOWSKAZOWYCH

Marta Łapuszek
Politechnika Kraakowska im. Tadeusza Kościuszko

ANALYSIS OF LONG-TERM RIVERBED TRANSFORMATION IN THE SELECTED GAUGING STATIONS OF THE CZARNA RIVER

Streszczenie

Dokonano analizy zmienności położenia dna koryt rzecznych w czasie w wybranych trzech profilach wodowskazowych: Rakowie, Staszowie i Połańcu na rzece Czarnej, w długim, ponad 50-letnim okresie czasu, w powiązaniu ze stwierdzoną działalnością antropogeniczną w korycie cieku. Ponadto przeprowadzono analizę składu granulometrycznego rumowiska kształtującego badane przekroje korytowe w celu rozpoznania struktury koryta cieku, a także określenia intensywności przemieszczania się rumowiska. Czarna jest lewobrzeżnym dopływem Wisły, na znacznej długości jest rzeką przeobrażoną w wyniku regulacji technicznej, a w 36+000 km jej biegu zbudowany został zbiornik zaporowy Chańcza. Ujście Czarnej do Wisły położone jest w okolicy Połańca. Poprzez zmiany koryta rzeki w układzie pionowym i poziomym dążą do wykształcenia nowego profilu równowagi hydrodynamicznej w zaburzonych warunkach systemu fluwialnego. Jak wykazują obserwacje koryt badanego cieku, zwykle tempo tych zmian jest bardzo szybkie tuż po wystąpieniu zaburzenia, po czym w czasie ulega osłabieniu, a koryto osiąga ponownie równowagę hydrodynamiczną (np. w Połańcu). Ważną rolę w procesie kształtowania koryta rzeki odgrywa też proces erozji brzegów, w wyniku którego koryto zasilane jest materiałem o grubszej frakcji w stosunku do frakcji rumowiska, w którym utworzone jest dno rzeki. W korytach,

gdzie ten proces ma miejsce obserwuje się agradację dna. Z obserwacji zmienności średnic charakterystycznych na długości Czarnej i z analizy rozkładu uziarnienia w poszczególnych profilach badawczych wynika, że stopniowe zmniejszanie się ziaren na długości rzeki jest zakłócone w wyniku dostawy rumowiska niesionego przez dopływy Czarnej, jej zdolności do transportu ziaren o maksymalnej średnicy. Ponadto zakłócenia te obserwuje się na odcinku powyżej i poniżej zbiornika Chańcza.

Słowa kluczowe: koryto rzeczne, erozja denna, równowaga hydrodynamicna

Summary

The analysis of variability of riverbed elevation recorded at three selected gauging cross-sections: Raków, Staszów and Połaniec on Czarna River is presented in the current paper. The studies concern the period of more than fifty year. Focus was on the analysis of the riverbed changes in relation with known anthropogenic activities in the bed of the river. In addition, an analysis of grine size distribution of sediment forming the river channel was examined. The studie was done in order to identify the structure of riverbed, as well as the intensity of sediment movement throughout the ricer course. Czarna river is a left tributary of the Vistula river, at a considerable length, is transformed as a result of technical river channel regultion. At 36+000 km of the river course, Chańcza dam was set. The mouth of Czarna river is located close to the Town of Połaniec. The river channel aspire to shape a new longitudinal profile of hydrodynamic balance in new conditions of fluvial system, by changing its shape in the vertical and horizontal direction. As indicated by river channel observations, changes are very fast after a disturbance, after which they are weakening, and the riverbed reaches again hydrodynamic equilibrium (eg. In Połaniec). An important role in riverbed development plays also bank erosion process. Riverbed is supplied with thicker grains than this fraction, which forms the bottom. In the river channels where this process takes place accummulation of sediment in the bottom is observed. According to observations, the variability of sediment characteristic diameter along Czarna river course is disturbed. This is due to the seiment supply by the tributaries of Czarna river and its ability to transport the grains with a maximum diameter. Moreover, these disturbances are observed in the section upstream and downstream of the Chańcza reservoir.

Key words: *river channel, riverbed ersion, hydrodynamic balance*

WSTĘP

Rzeki są ważnymi czynnikami morfogenetycznymi kształtującymi powierzchnię ziemi. Ich działalność, polegająca na nieustannym rozczłonkowywaniu i fragmentacji form powstałych w wyniku działania sił wewnętrznych, prowadzi do ciągłych przemian rzeźby terenu. W dolinach górskich, przeważa proces pogłębiania (erozji) koryt rzek i potoków, który jest spowodowany między innymi znacznymi spadkami podłużnymi determinującymi dużą zdolność transportową strumienia oraz działalnością człowieka (pobór rumowiska, obiekty hydrotechniczne itp.). W dolinach pogórzy i wyżyn obserwuje się tendencję do agradacji (akumulacji) koryt rzecznych. Jest to spowodowane niewielkimi spadkami terenu i glebami przepuszczalnymi, głównie lessami (Starkel L. (red.), 1999.).

Na wielu odcinkach rzek ingeruje się w systemy korytowe. Przeobrażenia koryt rzecznych wynikają też z przekształceń związanych ze zmianą sposobu użytkowania zlewni. Z dotychczasowych badań dotyczących zmienności koryt rzecznych wynika, że wprowadzenie zmian na jednym z odcinków cieku często pociąga za sobą pojawienie się zmian w innych jego miejscach (Korpak i In., 2008). Dlatego zasadne jest kompleksowe badanie całych systemów korytowych w celu rozpoznania tempa erozji lub agradacji koryt oraz prognozowanie tendencji rozwojowych.

W artykule przedstawiono ocenę przebiegu zmian położenia den koryt rzecznych w długim okresie czasu, w wybranych profilach wodowskazowych rzeki Czarnej, lewobrzeżnego dopływu górnej Wisły, w powiązaniu ze stwierdzoną działalnością antropogeniczną w korycie i w dolinie cieku. Ponadto przeprowadzono analizę składu granulometrycznego rumowiska kształtującego badane przekroje korytowe w celu rozpoznania struktury koryta cieku, a także określenia intensywności przemieszczania się rumowiska.

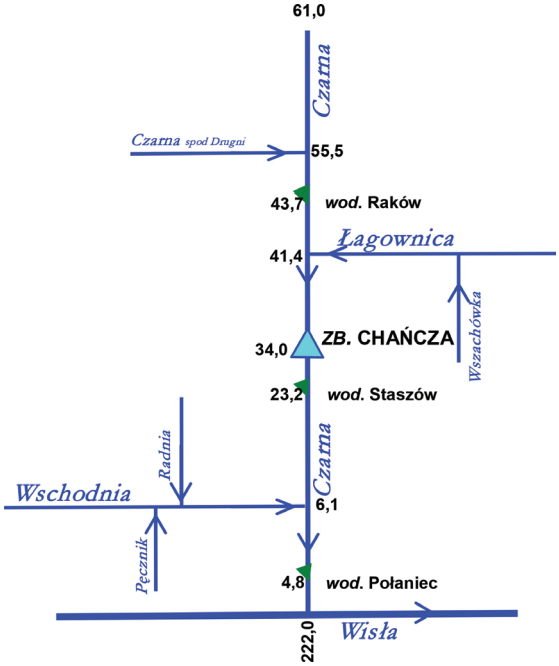
Tak nakreślone badania umożliwią ocenę wpływu działań na intensywność procesu, a następnie podjęcie środków mających na celu zapobieganie negatywnym skutkom nadmiernej erozji bądź agradacji koryta.

CEL I OBSZAR BADAŃ

Celem artykułu jest przedstawienie wyników analizy transformacji koryt rzecznych w długim okresie czasu oraz ocena charakteru zaobserwowanych zmian korytowych. Przedstawiono też podstawy metodyczne dotyczące określania zmian położenia dna koryt rzecznych w długim okresie.

Ponadto dokonano oceny składu granulometrycznego materiału dennego w wybranych przekrojach badawczych i przeanalizowano zmienność granulacji na długości Czarnej w powiązaniu z zaobserwowanymi w niej zakłóceniami wy-

wołanymi na przykład działalnością hydrotechniczną w korycie cieku lub związanymi ze zmianą sposobu użytkowania doliny cieku.



Rysunek 1. Lokalizacja analizowanych wodowskazów na Czarnej.
Figure 1. The gauging stations location on the Czarna river.

Rzeka Czarna powstaje przez połączenie strumieni górskich Gór Świętokrzyskich: u podnóża pasma Cisowskiego z Bagna Białe Ługi oraz z okolicy Drugni. Oba strumienie łączą się ze sobą w okolicy miejscowości Smyków. W obszarze źródliskowym Czarnej Staszowskiej występują piaskowce i kwarcyty dewońskie, łupki i piaskowce kambryjskie, przykryte miejscami cienką warstwą piasków lodowcowych. Czarna po połączeniu źródliskowych potoków płynie przez Raków. Tereny te zagospodarowane są jako pastwiska. Płynąc na tym odcinku, rzeka wykształciła dolinę charakteryzującą się płaskim dnem, a miejscami stromymi zboczami (w okolicy Rakowa) (Ciepiela E., 1982, Książek i In, 2005.). Czarna zbierając wody ze wschodniego obszaru Gór Świętokrzyskich, często stwarza zagrożenie powodziowe, szczególnie wiosną w czasie roztopów. W 36+000 km biegu rzeki zbudowany został zbiornik zaporowy Chańcza. Zbiornik powstał w latach 1974–1984. Całkowita pojemność zbiornika wynosi 19,31 mln m^3, pojemność powodziowa – 5,06 mln m^3, powierzchnia zalewu przy maksymalnym poziomie piętrzenia – 410 ha. Wysokość maksymalna zapory wynosi 15 m (Dynowska i In., 1991.). Zbiornik jest zasilany bezpośrednio

dopływem o nazwie Łagowica. Do najważniejszych zadań zbiornika należą: zaopatrzenie w wodę użytkowników zlokalizowanych poniżej zbiornika, redukcja fal powodziowych, zachowanie rezerwy w warstwie użytecznej zbiornika na pokrycie potrzeb komunalnych, stworzenie warunków dla turystyki i rekreacji, umożliwienie produkcji energii elektrycznej. Poniżej zbiornika Chańcza Czarna płynie przez miejscowość Staszów i w tym odcinku charakteryzuje się piaszczystymi brzegami. Następnie Czarna płynie przez miejscowość Rytwiany. Ujście Czarnej do Wisły położone jest w okolicy Połańca (Dynowska i In., 1991.). Badany obszar charakteryzuje się dużymi możliwościami infiltracji wód, co przy małym spadku podłużnym rzeki sprzyja magazynowaniu wód i wolniejszemu odpływowi ze zlewni, który w większości odbywa się podziemnie. Dlatego reżim badanej rzeki charakteryzują: przeciętne zasoby wodne, duża bezwładność hydrologiczna, nieporównywalnie większa od rzek karpackich (mała zmienność przepływów), w korytach obserwuje się małe nasilenie erozji dennej (Ciupa T., 1991, Łajczak A., 1999.).

Na rys.1 przedstawiono schemat rzeki Czarnej z największymi dopływami, na rysunku zaznaczono też lokalizację zbiornika Chańcza i położenie badanych profili wodowskazowych (rys.1).

METODYKA BADAŃ

Analizę zmienności koryt rzecznych przeprowadzono z założeniem podanym przez Punzeta (Punzet J.,1994), a sprawdzonym przez autorkę niniejszej publikacji, że układ stanów minimalnych rocznych z wielolecia odpowiada położeniu dna, a zmiana stanów wody jest równoznaczna ze zmianami położenia dna w określonym przedziale czasu (Łapuszek M., 2003).

Wieloletnie ciągi stanów minimalnych rocznych w badanych profilach podzielono na przedziały czasowe, w których określono funkcję, opisującą położenie dna cieku w danym roku *T*. Funkcja $H_i(T)$ określająca zależność stanu minimalnego rocznego w danym roku obserwacyjnym od czasu (lata) w *i*-tym przedziale czasowym jest zapisana następująco (Łapuszek M., 2003):

$$H_i(T) = H_{śr}(T) + \varepsilon \tag{1}$$

gdzie:

ε – składnik losowy (składnik resztowy, zwany resztą);

$H_{śr}(T)$ – funkcja regresji wyrażona w postaci funkcji liniowej:

$$H_{śr}(T) = E(H|T) = \alpha T + \beta \tag{2}$$

gdzie:

T – rok obserwacyjny;

α – wskaźnik intensywności erozji lub akumulacji, cm·rok^{-1};

β – stała, cm.

Wartość parametru α wskazuje na średnie roczne obniżenie dna cieku w roku T. Symbol E(H|T) oznacza warunkową wartość oczekiwaną stanu średniego minimalnego w roku T, a parametry α i β są szacowane metodą najmniejszych kwadratów. Wzory (1) i (2) są ważne tylko w zakresie określonym przez badacza.

W obliczeniach uwzględniono wszystkie zmiany położenia zer wodowskazów oraz zmiany ich lokalizacji. Wyniki obliczeń zweryfikowano na podstawie analiz zmian położenia dna cieku w pomierzonych przekrojach poprzecznych. Do weryfikacji wykorzystane zostały archiwalne i aktualne przekroje poprzeczne koryta (IMGW). Na podstawie zmian zaobserwowanych w ich położeniu w badanych przedziałach czasowych obliczono średnie roczne obniżenie dna. Uzyskane w ten sposób wartości porównano z wartością współczynnika przy zmiennej czasowej T funkcji $H_i(T)$, który określa intensywność zmian koryta (erozja/agradacja) (Łapuszek M., 2003). Weryfikacja tego typu mogła być jednak przeprowadzona tylko w wybranych przekrojach z uwagi na ograniczoną wiarygodność dostępnych przekrojów historycznych.

Określenie rodzaju materiału dennego i jego granulometrii przeprowadzono na podstawie pomiarów terenowych i analizy laboratoryjnej pobranych prób. Badania wykonano za pomocą pomiarów bezpośrednich, polegających na pobraniu próby z koryta rzeki, metodą sitową, zgodnie z normą (PN-ISO 4364:2005.), a także zbierając materiał piaskowy do pojemników, aby następnie poddać go analizie wagowo-sitowej w laboratorium. W każdym profilu badawczym pobrano od 2 do 3 próbek w celu wyeliminowania błędów wynikających z losowego charakteru poboru.

Pobrane rumowisko przygotowano do badań (wytrząsanie, rozczłonkowanie i suszenie), a następnie przesiano na zestawie znormalizowanych sit (PKN-CEN ISO/TS 17892-4, *Oznaczenie składu granulometrycznego*.). Na podstawie otrzymanych wyników określono skład granulometryczny pobranego materiału i obliczono wartości średnic charakterystycznych rumowiska (d_{10}, d_{50} i d_{90}).

ANALIZA ZMIENNOŚCI KORYT RZECZNYCH W CZASIE W BADANYCH PROFILACH WODOWSKAZOWYCH CZARNEJ

Analizę zmienności koryta rzeki Czarnej wykonano w trzech profilach wodowskazowych, są to profile, w których obserwacje stanów wody były prowadzone przez okres dłuższy niż 50 lat (*Wodowskazy na Rzekach Polskich…*, 1972.).

Wodowskaz Raków, zlokalizowany w 43,7 km biegu rzeki Czarnej i zamykający zlewnię o powierzchni A = 221 km^2, usytuowany jest przy moście kolejowym na trasie Jędrzejów–Bogoria. Powyżej przekroju badawczego znajduje się młyn wodny, który może oddziaływać na wielkość przepływu w okolicy

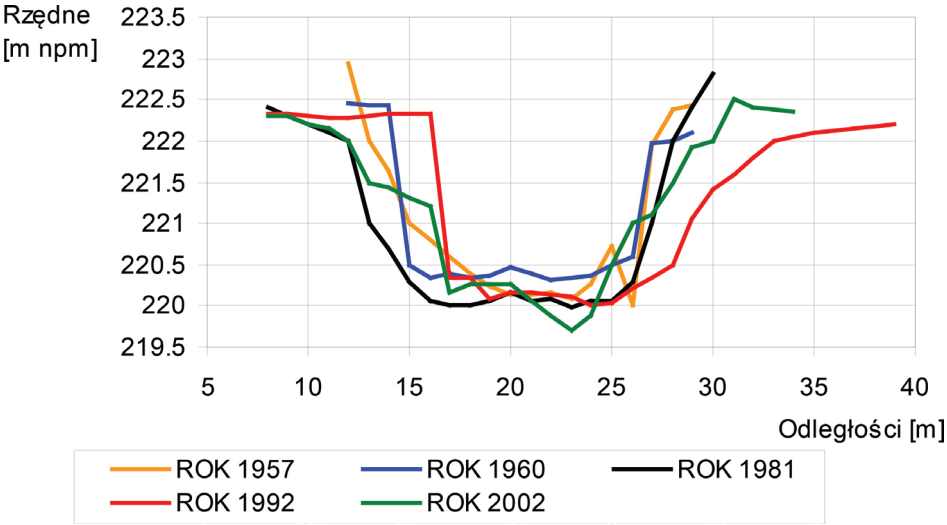
posterunku wodowskazowego (*Wodowskazy na Rzekach Polskich*..., 1972.). Koryto Czarnej w okolicy wodowskazu Raków jest przeobrażone w wyniku licznie przeprowadzanych jego regulacji. Obecnie uregulowane koryto ma szerokość w dnie około 10 m, a wysokość brzegów, ukształtowanych z nachyleniem 45°, wynosi około 0,5 m. Brzegi porośnięte są trwałą, wysoką roślinnością trawiastą oraz krzakami i wysoką wikliną (częściowo występuje las łęgowy). Dno jest utworzone w drobnych piaskach, płaskie, profil koryta jest wyrównany na obserwowanym odcinku rzeki. W profilu wodowskazowym Raków przeanalizowano przebieg stanów minimalnych rocznych w latach 1959–2009. W wymienionym okresie czasu w profilu Raków obserwuje się nieznaczną tendencję do agradacji koryta, wynoszącej w latach 1959–1990 średnio 0,39 cm/rok, a w latach 1991–2009 średnio 0,32 cm/rok (tab.1). Dlatego koryto badanego cieku można uznać za stabilne w układzie pionowym, co świadczy o tym, że właściwie dobrano jego parametry regulacyjne. Koryto ma jednak tendencję do migracji w kierunku poziomym (rys.2). Wyniki obliczeń zweryfikowano na podstawie analizy zmienności profili poprzecznych z lat 1957-2002 (tab.1).

Tabela 1.Zmienność położenia dna koryta Czarnej w profilu wodowskazowym Raków.
Table 1.The variability of Czarna riverbed in Raków gauging station.

Przedział czasowy	Równanie intensywności przegłębienia/nadbudowy	Wskaźnik obniżenia/agradacji dna (cm/rok)	
		wg. równania	wg. przekroju
1959 – 1990	$H_1 = 0,39\ T - 657,69$	0,39	0,19
1991 – 2009	$H_2 = 0,32\ T - 547,19$	0,32	0,1

Wodowskaz Staszów zlokalizowany jest w 23,2 km biegu rzeki Czarnej i zamyka zlewnię o powierzchni $A = 572\ km^2$. Wodowskaz usytuowano przy moście drogowym u wylotu ul. Szpitalnej w Staszowie (*Wodowskazy na Rzekach Polskich*..., 1972.). Po przeprowadzonej wizji lokalnej koryta Czarnej w okolicy wodowskazu Staszów stwierdzono, że koryto rzeki jest uregulowane. Ma ono kształt trapezowy, jego szerokość w dnie wynosi około 15 m, brzegi ukształtowano w nachyleniu 1:1,5, a ubezpieczenia brzegowe wykonane częściowo ze ścian larsena, a częściowo z kraty PP, która jest obecnie porośnięta trawą. Dno jest utworzone w drobnych piaskach, jest płaskie, profil koryta jest wyrównany w obserwowanym odcinku rzeki. W profilu wodowskazowym Staszów przeanalizowano przebieg stanów minimalnych rocznych w latach 1942–2009. W latach 1942–1960 dno koryta Czarnej obniżało się średnio o 1,9 cm/rok. Następnie do 1979 roku uległo ono nadbudowie o około 60 cm. Przez kolejne pięć lat obserwowano intensywne obniżanie się dna (5,65 cm/rok). W latach 1986–2000 ponownie miała miejsce agradacja dna, a następnie ponowne jego obniżanie (tab.2). Można więc stwierdzić, że w całym obserwowanym okresie czasu procesy erozji

i agradacji dna zachodzą naprzemiennie. Zmienność ta wynika z częstych, prowadzonych w związku z utrzymaniem dobrej przepustowości koryta w okolicy mostu, prac polegających na systematycznym udrażnianiu koryta. Weryfikacja na podstawie analizy zmienności geometrii profili poprzecznych możliwa była dla trzech przedziałów czasowych (tab.2).



Rysunek 2. Zmienność geometrii profilu wodowskazowego w Rakowie.
Figure 2. Variability of river channel geometry in Raków gauging station.

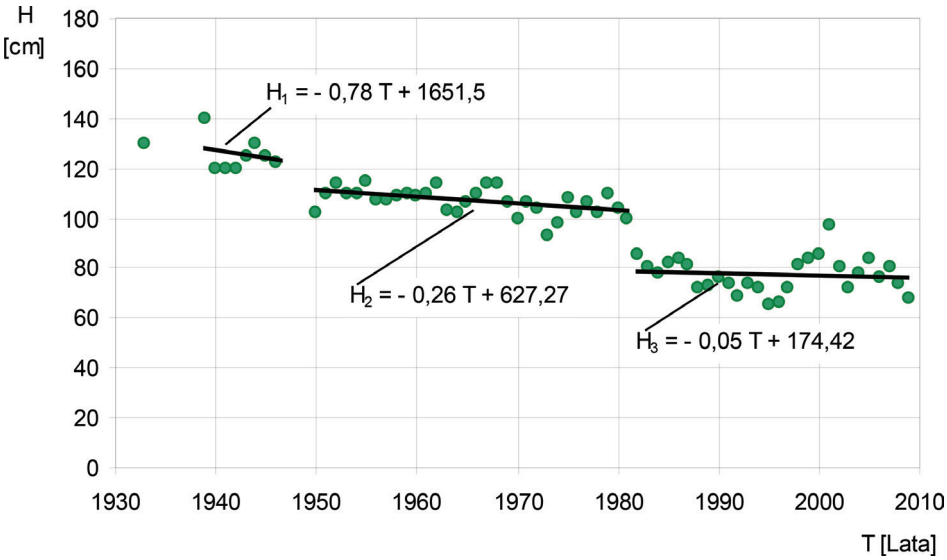
Tabela 2.Zmienność położenia dna koryta Czarnej w profilu wodowskazowym Staszów.
Table 2.The variability of Czarna riverbed in Staszów gauging station.

Przedział czasowy	Równanie intensywności przegłębienia/nadbudowy	Wskaźnik obniżenia/agradacji dna (cm/rok)	
		wg. równania	wg. przekroju
1942 – 1960	H = – 1,9 T + 3834,55	– 1,9	– *
1971 – 1979	H = 3,17 T – 6135,5	3,17	1,0
1980 – 1985	H = – 5,65 T + 11330,95	– 5,65	– 4,6
1986 – 2000	H = 4,29 T – 8400,93	4,29	2,1
2001 – 2009	H = – 2,07 T + 4309,33	– 2,07	– *

* brak danych do obliczeń

Wodowskaz Połaniec zlokalizowany jest w 4,8 km biegu rzeki Czarnej i zamyka zlewnię o powierzchni A = 1348 km^2. Wodowskaz znajduje się w wolnym profilu rzeki przy brzegu prawym, 36 m powyżej mostu (*Wodowskazy na Rzekach Polskich*..., 1972.). Koryto Czarnej w okolicy wodowskazu Połaniec jest uregulowane. Obecnie ma ono szerokość w dnie 20 m, wysokość brzegów, które w wyniku regulacji ukształtowano z nachyleniem 45°, wynosi 2,0 m. Brzegi porośnięte są wysoką roślinnością trawiastą, krzakami i wysoką wikliną (częściowo występuje las łęgowy). Obserwowane na obu brzegach strome podcięcia świadczą o występowaniu procesu erozji bocznej koryta na analizowanym odcinku rzeki (fot.1). Dno rzeczne jest utworzone w drobnych piaskach, jest płaskie, a profil koryta jest wyrównany. W profilu Połaniec poddano analizie przebieg stanów minimalnych rocznych w latach 1939–2009. W całym obserwowanym okresie czasu w profilu obserwuje się występowanie erozji dna. ale o niezbyt dużej intensywności (rys.3, tab.3). Koryto po wykonanych regulacjach, polegających na usunięciu wysp i łach piaskowych, ma tendencję do obniżania dna. Ponadto, w korycie rzeki Czarnej w okolicy wodowskazu Połaniec podczas wezbrań pojawiających się na Wiśle, woda z koryta Wisły w postaci tak zwanej cofki dostaje się do koryta Czarnej, a następnie w wyniku jej powrotu do koryta Wisły obserwuje się wynoszenie rumowiska z omawianego odcinka Czarnej.

Fotografia 1. Koryto Czarnej w okolicy wodowskazu Połaniec (fot. arch. IIGW – PK).
Photo 1. Czarna river channel close to Połaniec gauging station (photo arch. IIGW – PK).



Rysunek 3. Zmienność stanów minimalnych rocznych i funkcje regresji w profilu wodowskazowym Połaniec na Czarnej.
Figure 3. Variability of annual minimum water levels and estimated linear trend at the Połaniec cross-section on the Czarna river.

Tabela 3. Zmienność położenia dna koryta Czarnej w profilu wodowskazowym Połaniec.
Table 3. The variability of Czarna riverbed in Połaniec gauging station.

Przedział czasowy	Równanie intensywności przegłębienia/nadbudowy	Wskaźnik obniżenia/agradacji dna (cm/rok)	
		wg. równania	wg. przekroju
1939 – 1946	$H_1 = – 0,78\ T + 1651,5$	– 0,78	– *
1950 – 1981	$H_2 = – 0,26\ T + 627,27$	– 0,26	– 0,2
1982 – 2009	$H_3 = – 0,05\ T + 174,42$	– 0,05	– 0,2

* brak danych do obliczeń

BADANIA SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO MATERIAŁU DENNEGO W WYBRANYCH PROFILACH BADAWCZYCH CZARNEJ

Analizie poddano rozkład granulacji rumowiska dennego koryta rzeki Czarnej na jej długości. Badania te pozwoliły na ocenę zmienności granulacji na długości cieku w powiązaniu z zaobserwowanymi w niej zakłóceniami, związa-

nym przede wszystkim z oddziaływaniem na nią zbiornika zaporowego Chańcza, a także większych dopływów zasilających Czarną niesionym rumowiskiem. Badania te stanowią ponadto uzupełnienie wiedzy na temat przebiegu zmian korytowych cieku w profilach wodowskazowych.

W pięciu profilach badawczych na podstawie pobranych prób rumowiska rzecznego opracowano krzywe rozkładu uziarnienia (rys.4) oraz obliczono wartości średnic charakterystycznych rumowiska: d_{10}, d_{50} i d_{90} (tab.4).

Z wyników pomiarów i obliczeń wynika, że na długości Czarnej, w zakresie d_{10} średnice rumowiska zawierają się w granicach od 0,015 mm, na odcinku powyżej zbiornika Chańcza, do 0,025 mm na odcinku poniżej zbiornika do ujściowego profilu Połaniec. Średnice d_{50} na odcinku od Rakowa do profilu powyżej cofki zbiornika zwiększają się z 0,07 mm do 0,1 mm. Ten wzrost średnicy rumowiska na długości jest związany z lokalnym zmniejszeniem spadku podłużnego koryta cieku wywołanym oddziaływaniem cofki zbiornika na ten odcinek. Poniżej zbiornika widoczne jest stopniowe zmniejszanie się średnicy d_{50}. Z wielkości wynoszącej 0,17 mm maleje ona stopniowo do 0,1 mm w Staszowie. Na odcinku do Połańca średnica ta rośnie i w Połańcu osiąga wartość 0,25 mm. Wielkość średnicy d_{90} na długości rzeki w jej górnym biegu na odcinku od profilu Raków do cofki zbiornika Chańcza wzrasta z 0,32 mm do 0,34 mm. Poniżej zbiornika, na długości rzeki, średnica rośnie z 0,41 mm do 0,45 mm w odcinku ujściowym (profil Połaniec) – tab.4.

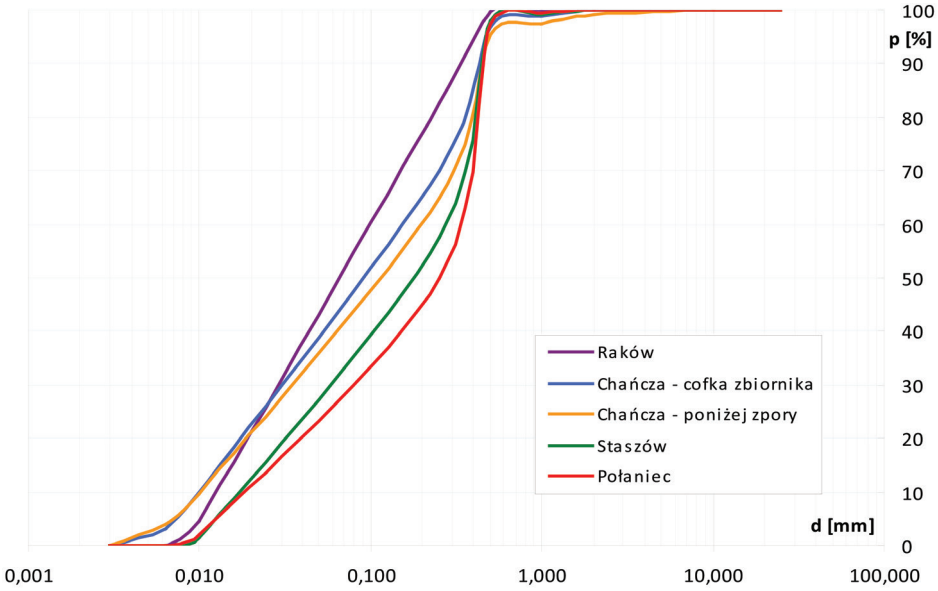
Tabela 4. Średnice charakterystyczne rumowiska w pięciu profilach Czarnej (wg.A.Lenar-Matyas 2012).
Table 4.Characteristic diameters of sediment in five gauging stations of Czarna river (by A.Lenar-Matyas 2012).

Miejsce poboru rumowiska	km rzeki	Średnice charakterystyczne (mm)		
		d_{10}	d_{50}	d_{90}
Raków	43 + 700	0,013	0,065	0,33
Chańcza – cofka zbiornika	40 + 300	0,01	0,09	0,34
Chańcza – ponizej zbiornika	34 + 100	0,01	0,11	0,41
Staszów	23 + 200	0,018	0,18	0,43
Połaniec	4 + 800	0,019	0,25	0,45

Krzywe uziarnienia rumowiska w badanych profilach na długości Czarnej są zróżnicowane. W profilu Raków dominuje materiał frakcji gruboziarnistej typu piasek średni (MSa), którego zawartość w badanej próbie stanowi 80%. Zawartość ziaren o średnicy mniejszej od 0,02 mm (frakcja typu pył gruby – CSi) wynosi 20%. W profilach Staszów i Połaniec rozkłady krzywych uziarnienia

wykazują, że materiał frakcji typu piasek średni (MSa) stanowi od 55% (profil Połaniec) do 60% (profil Staszów) próby. Zawartość ziaren o średnicy większej od 0,5 mm (frakcja typu piasek gruby – CSa) wynosi tylko 2% próby w obu profilach. Udział ziaren o średnicy mniejszej od 0,02 mm, czyli frakcji drobnoziarnistej typu pył gruby (CSi), wynosi 10% w obu analizowanych profilach (rys.4).

Z obserwacji zmienności średnic charakterystycznych na długości Czarnej i z analizy rozkładu uziarnienia w poszczególnych profilach badawczych wynika, że stopniowe zmniejszanie się ziaren na długości rzeki jest zakłócone w wyniku dostawy rumowiska niesionego przez dopływy Czarnej, jej zdolności do transportu ziaren o maksymalnej średnicy. Ponadto zakłócenia te obserwuje się na odcinku powyżej i poniżej zbiornika Chańcza. W profilu powyżej cofki zbiornika w materiale dennym dominuje frakcja typu piasek średni (MSa), której zawartość szacuje się na 60% powyżej cofki zbiornika oraz 65% poniżej zbiornika. Udział ziaren o średnicy mniejszej od 0,02 mm (pył gruby – CSi) wynosi 12% próby w obu profilach. Udział ziaren o średnicy większej niż 0,5 mm (piasek gruby – CSa) wynosi 8% próby w obu badanych profilach (rys.4).



Rysunek 4. Krzywe uziarnienia w badanych profilach Czarnej (wg.A.Lenar-Matyas 2012).

Figure 4. Grain size distribution in investigated gauging stations of Czarna river (by A.Lenar-Matyas 2012).

WNIOSKI

1. We wszystkich trzech badanych profilach wodowskazowych koryto Czarnej jest przeobrażone w wyniku prac regulacyjnych, jakie były w rzece prowadzone głównie w XX wieku. Najbardziej widoczne zmiany, jakie odnotowano w badanych korytach to: zawężenie i pogłębienie koryt, usunięcie łach korytowych, wyprostowywanie nurtu.
2. Poprzez zmiany koryta rzeki w układzie pionowym i poziomym dążą do wykształcenia nowego profilu równowagi hydrodynamicznej w zaburzonych warunkach systemu fluwialnego. Jak wykazują obserwacje koryt badanego cieku, zwykle tempo tych zmian jest bardzo szybkie tuż po wystąpieniu zaburzenia, po czym w czasie ulega osłabieniu, a koryto osiąga ponownie równowagę hydrodynamiczną. Na Czarnej w Połańcu, po wykonanych regulacjach technicznych koryta, dno przez kolejne lata miało tendencję do intensywnego obniżania się. Dopiero po kilku latach tempo erozji dennej zostało spowolnione i koryto w tym profilu osiągnęło równowagę hydrodynamiczną.
3. Ważną rolę w procesie kształtowania koryta rzeki odgrywa proces erozji brzegów, w wyniku którego koryto zasilane jest materiałem charakteryzującym się grubszymi frakcjami w stosunku do frakcji rumowiska, w którym utworzone jest dno rzeki. W korytach, gdzie ten proces ma miejsce obserwuje się agradację dna. Wynika to ze zmniejszonej zdolności do transportu ziaren o maksymalnej średnicy i określonym ciężarze właściwym cząstek przy danych warunkach przepływu panujących w cieku. Proces ten obserwuje się w korycie Czarnej w profilu wodowskazowym Raków, gdzie występuje agradacja koryta w całym obserwowanym okresie.
4. Badanie przebiegu zmienności uziarnirnia rumowiska rzecznego we wszystkich pięciu analizowanych profilach badawczych Czarnej wykazało, że zmienność średnic charakterystycznych d_{10} jest znikoma, natomiast średnice d_{50} oraz d_{90} charakteryzuje znaczne zróżnicowanie na długości rzeki.
5. Na Czarnej, gdzie zlokalizowany jest zbiornik zaporowy Chańcza obserwuje się zakłócenie procesu stopniowego zmniejszania się ziaren na długości rzeki. W profilu powyżej cofki zbiornika następuje zwiększenie wielkości średnic charakterystycznych d_{50} i d_{90}.

LITERATURA

Ciepiela E., *Ziemia Staszowska. Środowisko. Przyroda. Klimat*, (w:) Staszowski, t. I. Staszów: Staszowskie Towarzystwo Kulturalne, 1982,

Ciupa T., *Współczesny transport fluwialny w zlewni Białej Nidy*, WSP, Kielce 1991
Dynowska I., Maciejewski M. (red.), *Dorzecze Górnej Wisły*, PWN, Warszawa – Kraków 1991.
Korpak J., Krzemień K., Radecki-Pawlik A., *Wpływ czynników antropogenicznych na zmiany koryt cieków karpackich*, Monografia, 4/2008, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi, PAN, Kraków 2008
Książek L., Michalik A., *Degradacja koryt rzecznych jako skutek działalności człowieka. Typologia i warunki referencyjne wód powierzchniowych*, Wyd. IMGW, Warszawa 2005.
Łajczak A., *Współczesny transport i sedymentacja materiału unoszonego w Wiśle i głównych dopływach*, Monografia Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, 15, Warszawa 1999
Łapuszek M., *The investigation of riverbed erosion in a mountainous river*, Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics, Vol. 50, No. 1, 2003.
PKN-CEN ISO/TS 17892-4, *Oznaczenie składu granulometrycznego*.
PN-ISO 4364:2005, *Pomiar przepływu w korytach otwartych. Pobieranie próbek materiału dennego*.
Punzet J. (1994) *Podsumowanie wykonanych badań nad zmiennością koryt rzek karpackich w XX wieku*. Gospodarka Wodna. Nr 4.
Starkel L. (red.), *Geografia Polski, środowisko przyrodnicze*, PWN, Warszawa 1999.
Wodowskazy na Rzekach Polskich, Część II. *Wodowskazy w dorzeczu Wisły i na rzekach Przymorza na wschód od Wisły*, WKiŁ, Warszawa 1972.

dr inż. Marta Łapuszek
Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel. 012 628 28 89
mlapusze@iigw.pl

Badania przedstawione w artykule są finansowane z projektu badawczego Komitetu Badań Naukowych nr PB-5546/B/T02/2010/38.

Wpłynęło: 26.09.2014
Akceptacja do druku: 11.02.2015