morfologia, potok górski, warunki hydrauliczne

Małgorzata LEJA, Leszek KSIĄŻEK, Agnieszka HAWRYŁO*

DYSTRYBUCJA NAPEŁNIEŃ I PRĘDKOŚCI ŚREDNICH NA WBRANYCH ODCINKACH RZEKI MSZANKI

Celem pracy jest ocena rozkładu napełnień i prędkości średnich w profilu podłużnym rzeki Mszanki na odcinkach jednolitych pod względem procesu morfologicznego na nich dominującego. Na wybranych odcinkach Mszanki jednolitych pod względem morfologicznym zostały przeprowadzone pomiary za pomocą akustycznego dopplerowskiego przepływomierza profilującego ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Dane, zebrane z czterech odcinków z dominującym procesem erozji, sedymentacji oraz transportu rumowiska, zostały przeanalizowane statystycznie pod wyglądem normalności rozkładu i istotności różnic w rozkładach prędkości średnich i napełnień. Zastosowany test nieparametryczny Kruskala-Wallisa, wykazał, że badane rozkłady napełnień nie różnią się istotnie, natomiast istotnie różnice występują w rozkładach prędkości średnich.

1. WSTĘP

Regulacja rzek i potoków górskich do lat 90 ubiegłego wieku miała głównie za zadanie ochronę przed powodzią oraz zwiększenie powierzchni gruntów nadających się pod uprawy rolnicze. W wielu przypadkach doszło do zwężenia cieku, skracania biegu rzek i zamiany wielonurtowych koryt na jednonurtowe kanały o wyrównanym dnie [9]. Regulacje te zostały przeprowadzone w odizolowaniu koryta rzeki od reszty środowiska zlewni.

Przykładam rzeki poddanej regulacji jest Mszanka, której koryta warkoczowate zostały zastąpione pojedynczym zwartym kanałem. Na odcinkach poddanych regulacji w latach 1959-1980, które dotyczyły układu poziomego, zaobserwowano wcinanie się koryta w podłoże [4]. Proces ten potęgowany był również deficytem rumowiska, niegdyś podchodzącego z terenów uprawnych, a obecnie przeznaczonych pod zalesienie i łąki oraz nielegalnym wybieraniem żwiru i kamieni z koryta [2, 5, 6, 8]. Wcinanie się koryta w dolinę starano się spowolnić poprzez zastosowanie stopni i progów. W wie-

*Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, m.leja1986@gmail.com

lu przypadkach brak dbałości o stan techniczny budowli spowodował ich uszkodzenie lub zniszczenie prowadząc do ekspozycji wychodni skalnych w korycie. W efekcie zaobserwowano tendencję rzeki do migracji bocznej i powrotu koryta do stanu sprzed regulacji [3].

Na odcinku Mszanki przeprowadzono ocenę zmian morfologicznych koryta rzeki górskiej w latach 1911-2004 [3] (Tab.1). Wykonane kartowanie morfologiczne umożliwiało podzielenie rzeki na odcinki jednolite pod względem procesów na nich dominujących. Określono następujące typy koryt: erozyjne, depozycyjne, transportujące oraz takie, na którym dochodzi do erozji brzegów i sedymentacji tego materiału na tym samym odcinku. Ważnym elementem badań na temat procesów morfologicznych jest ocena równowagi hydrodynamicznej, która pozwala na scharakteryzowanie odcinków profilu podłużnego cieku z przewagą transportu rumowiska, odcinków w równowadze pomiędzy dostawą a jego odprowadzeniem i wreszcie odcinków potoku górskiego o przewadze akumulacji. Równowaga hydrodynamiczna określana jest poprzez analizę szeregu parametrów hydraulicznych, między innymi: prędkość średnią przepływu, spadek oraz napełnienie [1].

Celem pracy jest ocena rozkładu napełnień i prędkości średnich w profilu podłużnym rzeki Mszanki na odcinkach jednolitych pod względem procesu morfologicznego na nich dominującego.

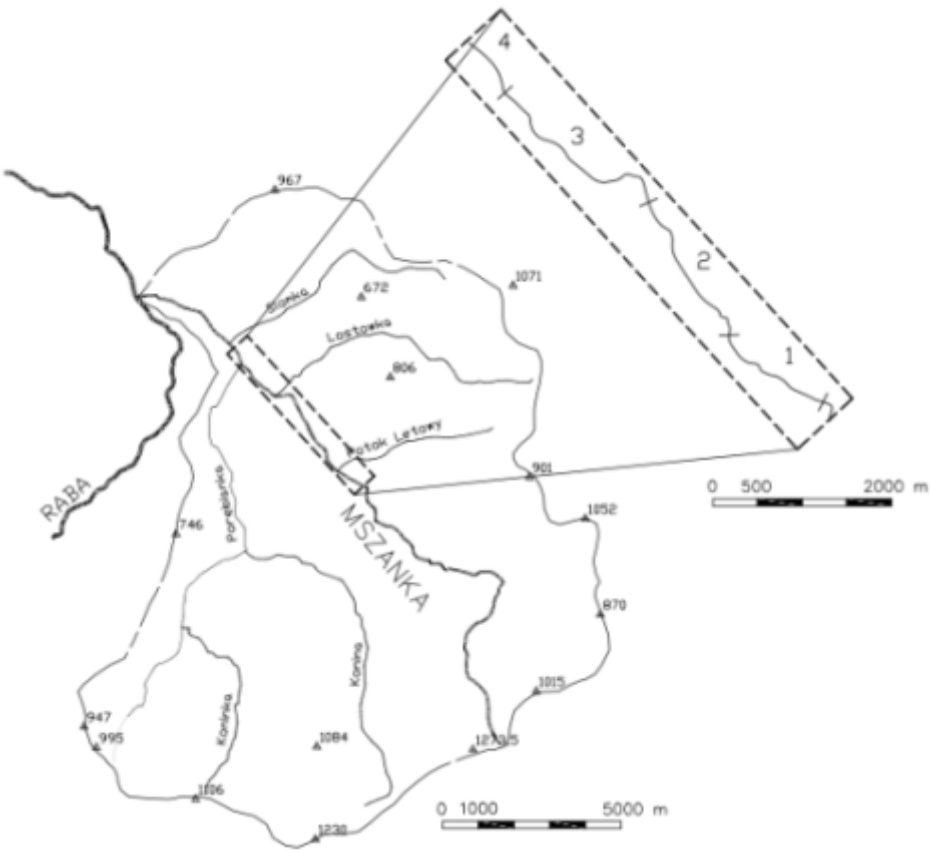
2. MATERIAŁY I METODY

Potok Mszanka jest zlokalizowany w południowej Polsce, na terenie Beskidu Wyspowego. Powierzchnia zlewni od przekroju Mszana Dolna ma 166 km^2(Rys. 1). Średni roczny opad atmosferyczny z wielolecia dla zlewni potoku jest równy 979 mm. Przepływy charakterystyczne dla zlewni według wzorów empirycznych Punzeta wynoszą $Q_s = 0{,}82\ m^3 \cdot s^{-1}$a przepływy o określonym prawdopodobieństwie$Q_{50\%}$= 21,5 $m^3 \cdot s^{-1}$, $Q_{10\%}$= 74,0 $m^3 \cdot s^{-1}$, $Q_{5\%}$ = 99,3 $m^3 \cdot s^{-1}$, $Q_{2\%}$ = 132,0 $m^3 \cdot s^{-1}$, $Q_{1\%}$ = 156,0 $m^3 \cdot s^{-1}$[6].

Na wybranych odcinkach Mszanki jednolitych pod względem morfologicznym zostały przeprowadzone pomiary za pomocą akustycznego dopplerowskiego przepływomierza profilującego ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Urządzenie to składa się z sondy zintegrowanej z systemem GPS (Global Positioning System). Sonda wyposażona jest w 9 przetworników, które dokonują pomiaru prędkości, głębokości i przepływu. Pomiar trzech składowych prędkości dokonany jest przez 4 pary wiązek i jest oparty na efekcie Dopplera. Urządzenie rejestruje wszystkie pomiary w wewnętrznej pamięci, do których jest możliwy dostęp on-line. Zastosowane oprogramowanie pozwala na wizualizację wyników w formie tabelarycznej i graficznej. Pomiar napełnień wykonany jest z dokładnością do 0,001 m, a prędkości chwilowych do 0,001 $m \cdot s^{-1}$.

Podczas badań terenowych wykonano pomiary konfiguracji dna w profil podłużnym oraz w przekrojach poprzecznych, rozkładów prędkości oraz przepływu. Pomiary zostały zlokalizowane w przestrzeni dzięki pomiarowi pozycyjnemu wykonanemu przez GPS

(wbudowany w ADCP) i naniesione na ortofotomapy w programie QuantumGIS. Następnie bazując na podziale na odcinki charakteryzujące się dominacją jednego procesu morfologicznego, dokonano podziału danych na 4 grupy reprezentujące odcinki (Tab.1).



Rys. 1.Lokalizacja odcinków badawczych na terenie zlewni potoku Mszanka

Zebrane dane zostały przeanalizowane statystycznie. Na wstępie wszystkie pomiary przebadano pod względem normalności rozkładu za pomocą testu Shapiro-Wilka. Przy badaniu normalności rozkładu prędkości średnich wyłączono z analizy wszystkie wartości równe 0, ponieważ były one generowane błędnie w sytuacji braku możliwości pomiaru prędkości przez sondę (która mierzy prędkości dopiero przy napełnieniu większym niż 0,35 m). Następnie na podstawie podziału danych na 4 grupy dokonano porównania istotności różnicy rozkładu napełnień i prędkości średnich pomiędzy tymi grupami.

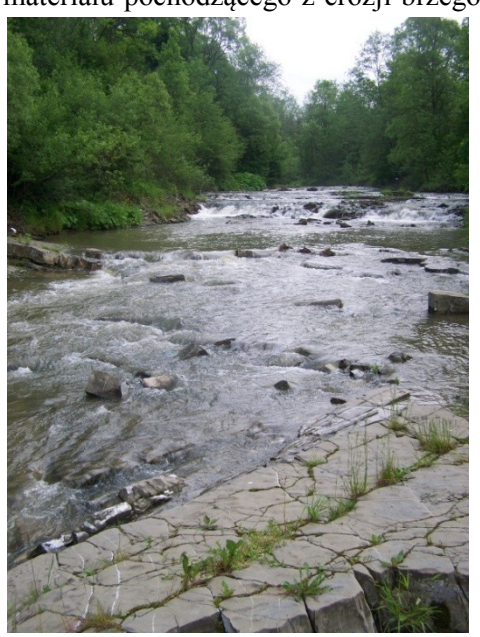
Tabela 1 Zestawienie charakterystyki odcinków badawczych [3]

Nr odcinka	Rodzaj odcinka	Długość odcinka [m]	Przepływ [$m^3 \cdot s^{-1}$]	Szerokość zwierciadła wody w przekroju [m]
1	sedymentacja materiału pochodzącego z erozji brzegów	1374	0,84	6,7
2	erozja dna	1835	1,09	5,6
3	sedymentacja	2292	1,48	12,8
4	transport rumowiska, brak jakichkolwiek form depozycyjnych w korycie	595	3,28	29,3

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Pomiary w profilu podłużnym rzeki Mszanki zostały wykonane przy przepływie w zakresie od 0,84 do 3,28 $m^3 \cdot s^{-1}$.Pomiar rozkładów prędkości i napełnień wykonano w osi nurtu głównego.

Na pierwszym odcinku dominującym procesem morfologicznym jest sedymentacja materiału pochodzącego z erozji brzegów (Tab. 1). Szerokość koryta wynosiła około 6,7 m. Minimalne napełnienie zarejestrowane w profilu podłużnym na tym odcinku wynosi 0,17 m, natomiast maksymalne 1,70 m. Jest to maksymalna wartość na całym przebadanym odcinku Mszanki. Wartości prędkości wahały się od 0,015 $m \cdot s^{-1}$ do 1,681 $m \cdot s^{-1}$. Również w tym wypadku jest to najwyższa zarejestrowana wartość podczas pomiarów.



Rys. 2 Odcinek 2 – erozyjny, wychodnie skalne

Kolejny odcinek charakteryzuje się silnym procesem erozji, który spowodował odsłonienie się licznych wychodni skalnych (Rys.2).Szerokość zwierciadła wody na odcinku drugim w przekroju wynosiła 5,5 m. Napełnienia na tym odcinku mieszczą się w granicach od 0,16 do 0,81 m. Minimalna prędkość przepływu wynosiła 0,027 $m \cdot s^{-1}$, a maksymalna 1,473 $m \cdot s^{-1}$. W tego typu korycie, uznanym za zdegradowany pod względem morfologicznym, następuje przekroczenie naprężeń granicznych podczas przejścia fali powodziowej, co jest spowodowane między innymi dużą zmiennością w

geometrii przekroju jak i spadku dna [7]. Zawężenie szerokości rzeki oraz lokalne zwiększenie spadku dna pozwalało przewidywać wystąpienie maksymalnych prędkości średnich na tym odcinku. Jednak nie udało się wykonać pomiarów w miejscach, gdzie takie prędkości mogłyby występować ze względu na ograniczenia sprzętu. Należy rozważyć wykonanie pomiarów przy większym przepływie, chociaż pokonanie tego odcinka pieszo ze względu na bardzo zróżnicowane podłoże (wychodnie skalne – Rys.2) może okazać się bardzo trudne.

Rys. 4 Odcinek 4 – transport

Proces sedymentacji dominował na trzecim odcinku badanym (Rys.3). Sedymentacja ma miejsce głównie powyżej progów wodnych. Brzegi w tej sekcji rzeki nie są tak wysokie i strome jak to miało miejsce w przypadku odcinka, na którym występowała erozja. Szerokość koryta wynosiła 12,8 m. Zakres napełnień wynosił od 0,19 m do 0,98 m. Prędkości pomierzone w profilu podłużnym wahały się od wartości równej 0,062 $m \cdot s^{-1}$ do 1,324 $m \cdot s^{-1}$. Na tym odcinku wartość średnia prędkości jest największa i wynosi 0,618 $m \cdot s^{-1}$.

Rys. 3 Odcinek 3 - sedymentacja, odsypiska żwirowe

Ostatni badany odcinek jest silnie uregulowany i zaczyna się od połączenia Mszanki oraz Porębianki. Charakteryzuje się brakiem jakichkolwiek form korytowych (Rys. 4). Procesem dominującym jest tutaj transport materiału dennego. Na odcinku tym przeprowadzono regulację za pomocą stopni wodnych i umocnień brzegów. Szerokość koryta była równa 29,3 m. Najmniejsze napełnienie wynosiło 0,22 m, największe było równe 0,96 m. Prędkości przepływu wahały się w przedziale od 0,009 $m \cdot s^{-1}$ do 1,163 $m \cdot s^{-1}$. Średnia prędkość na tym odcinku jest równa 0,406 $m \cdot s^{-1}$.

Na trzech pierwszych odcinkach (Tab.2) najwięcej pomiarów napełnień znajduje się w przedziale od 0,2–0,4 m. Natomiast na odcinku 4 ponad połowa pomiarów napełnień znajduje się pomiędzy wartościami 0,4 i 0,6 m. Na odcinkach 1, 2 i 4 najwięcej pomiarów prędkości znajduje się w zakresie od 0,2 do 0,4 $m \cdot s^{-1}$.W przypadku odcinka 3, gdzie dominuje sedymentacja 25% pomiarów jest w zakresie od 0,6 do 0,8 $m \cdot s^{-1}$.Wyniki te pokazują, że sprzęt ADCP sprawdził się w warunkach większych napełnień na odcinkach sedymentacyjnych.

Tab. 2 Zestawienie liczności pomiarów napełnień (A) i prędkości średnich (B) w poszczególnych odcinkach badawczych

A	Odcinki				**B**	Odcinki			
Przedziały h[m]	1	2	3	4	Przedziały V [$m \cdot s^{-1}$]	1	2	3	4
0-0,2	156	46	4	-	0-0,2	71	76	26	33
0,2-0,4	742	244	181	80	0,2-0,4	137	138	16	110
0,4-0,6	190	190	49	188	0,4-0,6	117	85	33	65
0,6-0,8	116	119	17	72	0,6-0,8	98	38	40	54
0,8-1,0	68	3	47	10	0,8-1,0	56	18	23	24
1,0-1,2	7	-	-	-	1,0-1,2	22	5	17	4
1,2-1,4	15	-	-	-	1,2-1,4	11	4	7	-
1,4-1,6	0	-	-	-	1,4-1,6	7	1	-	-
1,6-1,8	1	-	-	-	1,6-1,8	3	-	-	-
SUMA	1295	602	298	350	SUMA	522	365	162	290

Test Shapiro-Wilka wykazał, że rozkłady napełnień w nurcie dla żadnego rozpatrywanego odcinka nie spełniają wymagań rozkładu normalnego. Wykonano test nieparametryczny Kruskala-Wallisa, z którego wynika, że odcinki charakteryzujące się różnymi procesami morfologicznymi nie różnią się istotnie pod względem rozkładu napełnień. Rozkłady napełnień wykonane przy zastosowaniu przepływomierza profilującego ADCP w nurcie głównym na rozpatrywanych odcinkach są niewystarczające do określenia dominującego procesu morfologicznego.

Rozkłady prędkości średnich w nurcie dla wszystkich odcinków, zostały przebadane za pomocą testu Shapiro-Wilka.Nie są one rozkładem normalnym. Na podstawie testu nieparametrycznego Kruskala-Wallisa, ustalono, że odcinki charakteryzujących się różnymi procesami morfologicznymi różnią się istotnie pod względem rozkładu prędkości średniej w profilu podłużnym. Rozkład prędkości średniej w nurcie głównym na przebadanych odcinkach rzeki Mszanki jest cechą, która pozwala rozróżnić dominujący proces morfologiczny.

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów terenowych stwierdzono, że:

–Maksymalne pomierzone napełnienie na Mszance wynosi 1,70 m, natomiast maksymalna prędkość 1,324 $m \cdot s^{-1}$.

–Najwięcej pomiarów napełnień na badanych odcinkach Mszany znajduje się w zakresie od 0,2 m do 0,4 m. Najwięcej pomiarów prędkości średnich w profilu podłużnym jest w przedziale 0,2-0,4 $m \cdot s^{-1}$.

–Rozkład napełnień i prędkości średnich w profilu podłużnym na badanych odcinkach nie jest rozkładem normalnym.

–Parametrem różnicującym badane odcinki o odmiennym dominującym procesie morfologicznym jest rozkład prędkości w nurcie głównym koryta. Natomiast rozkłady napełnień w profilu podłużnym koryta nie są pozwalają na rozróżnienie pomiędzy odcinkami.

W celu oddania pełni dynamiki przepływu należy uzupełnić dane o pomiary w punktach, w których występuje napełnienie poniżej 0,4 m lub wykonać pomiary przy większym napełnieniu.

LITERATURA

[1] BARTNIK W., FLOREK J., *Ocena warunków równowagi hydrodynamicznej potoku górskiego na podstawie analizy hydraulicznych parametrów przepływu*, Zesz. Nauk. AR w Krakowie nr 20, 2000, str. 163-176.

[2] KONDOLF G.M., *Hungry water: effects of dam and gravel mining on river channels*, Environ. Manag. 21,1997,str. 533–551.

[3] KORPAK J., *The influence of river training on mountain channel changes (Polish Carpathian Mountains)*, Geomorphology 92,2007,str. 166–181.

[4] KOŚCIELNIAK J., Zmiany funkcjonowania górskich systemów korytowych w wyniku przeprowadzonych regulacji hydrotechnicznych, W: BŁASZCZYKIEWCZ M., GIERSZEWSKI P.,(red.) Rekonstrukcja i prognoza zmian środowiska przyrodniczego w badaniach geograficznych, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 200, str. 187-207.

[5] KSIĄŻEK L., *Proces deformacji dna koryta potoku górskiego i jego związek z siłą wleczenia pojedynczych ziaren rumowiska,* Rozprawa doktorska, Akademia Rolnicza w Krakowie, 2000, Kraków, maszynopis.

[6] MICHALIK A., BARTNIK W., KSIĄŻEK L., GOC A., *Zmiany koryta potoku Mszanka wywołane wezbraniami w latach 1995-1997*, Konf. Nauk. "Bezpieczeństwo i trwałość budowli wodnych", Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, 1999, Nr 363.

[7] MICHALIK A., KSIĄŻEK L., Dynamics of water flow on degraded sectors of mountain stream channels, Poland, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 18, No. 4, 2009, str.665-672

[8] WYŻGA B., *Wpływ eksploatacji osadów z koryt na systemy rzeczne,* W: KOTARBA A., KRZEMIEŃK., ŚWIĘCHOWICZJ.,(red.), *Współczesna ewolucja rzeź-by Polski*, VII Zjazd Geomorfologów Polskich, Kraków 19–22 września 2005, Wydawnictwo IG i GP UJ, Kraków, str. 531–536.

[9] WYŻGA B., A review on channel incision in the Polish Carpathian rivers during the 20th century. W: Gravel-Bed Rivers VI: From Process Understanding to River Restoration (red. Habersack H., Piégay H., Rinaldi M.) Elsevier 2008, str. 525–555.

DISTRIBUTION OF DEPTH AND MEAN FLOW VELOCITY IN THE LONGITUDINAL PROFILE OF THE MSZANKARIVER

Evaluation of the distribution of depth and average velocity in the longitudinal profile of the Mszanka river sections, which are uniform in terms of the dominant morphological process, is the aim of this paper. Measurements were carried out using Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) in selected sections of the Mszanka river. The data, collected from the four sections which are characterized by a process of erosion, sedimentation and sediment transport, were analyzed statistically by assessing the significance of differences in average velocity and depth distributions. Kruskal-Wallis test showed that the studied sections did not differ significantly in terms of distribution of depth, but differed significantly in terms of the average velocity distribution.