

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 61, 2013: 249–261
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 61, 2013)
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 61, 2013: 249–261
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 61, 2013)

Anna BUCAŁA

Zakład Badań Geośrodowiska, Instytut Geografii i PZ PAN
Department of Geoenviromental Research, Institute of Geography and Spatial Organization,
Polish Academy of Sciences

Karol PLESIŃSKI, Artur RADECKI-PAWLIK

Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Department of Water Engineering, University of Agriculture in Krakow

Warunki hydrodynamiczne oraz hydromorfologiczne w dwóch potokach gorceńskich Jaszce i Jamne w Karpatach Polskich¹

Hydrodynamic and hydromorphological conditions in two streams in the Gorce Mountains in the Polish Carpathians

Słowa kluczowe: parametry hydrodynamiczne, parametry hydromorfologiczne, Gorce, potoki Jaszce i Jamne

Key words: hydrodynamic parameters, parameters hydromorphological, Gorce Mountains, Jaszce and Jamne streams

Wprowadzenie

W chwili obecnej w Polsce dobiegają końca prace nad przygotowaniem kryteriów oceny hydromorfologicznej cieków, który to wymóg stawia nam

Unia Europejska (koniec 2015 roku), a w szczególności Ramowa Dyrektywa Wodna (Dyrektywa 2000/60/WE). Dotychczasowe działania podjęte w tym zakresie w kraju mają różny charakter, ale przede wszystkim skupiają się na ocenie warunków morfologicznych i biologicznych cieków. Trzeba jednakże zaznaczyć, że w potokach górskich, położonych obok siebie, na terenie tej samej jednostki fizyczno-geograficznej, w prawie zbliżonych warunkach klimatycznych, mogą wystąpić różne warunki hydrodynamiczne, co ma wpływ na stan zarówno morfologii, jak i na życie biologiczne cieków. Skłania to do wniosku, że ocenę hydromorfologiczną cieków

¹Przedstawione wyniki badań zostały sfinansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach grantu nr NN 306 659940 PAN oraz z działalności statutowej KIWIG UR Kraków.

należy tworzyć indywidualnie dla każdej rzeki oddzielnie. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki pomiarów i obliczeń podstawowych parametrów hydrodynamicznych wykonanych w tych samych warunkach hydrologicznych w dwóch potokach Jaszce i Jamne w Gorcach. Na podstawie przeprowadzonych obserwacji w terenie zauważono również, że w odcinkach uregulowanych koryt potoków następuje pogorszenie warunków siedliskowych organizmów wodnych i makrobentosu, co swoimi badaniami w innych ciekach karpaccich potwierdzili Kłonowska-Olejnik i Radecki-Pawlik (2000) oraz Zasepa i inni (2006). Utrzymywanie i odtwarzanie łach korytowych, stosowanie ziaren ponadwymiarowych oraz obecność grubego rumoszu powoduje poprawę stanu ekologicznego cieków (Wyźga 2007, Korpak i in. 2008). Dla zespołu zwierząt charakterystycznych dla rzek żwirowych istotne jest również, aby wykorzystywać przestrzenie między ziarnami żwiru. Zamulenie tych przestrzeni, umocnienie i wybetonowanie dna lub wcięcie się koryta do litej skały wyklucza możliwość ich przetrwania (Bojarski i in. 2005, Radecki-Pawlik 2011).

Celem artykułu jest porównanie parametrów hydrodynamicznych w potokach Jaszce i Jamne. Uzyskane wyniki badań i analiz mogą być wykorzystane jako element oceny stanu hydromorfologicznego i ekologicznego cieków według wytycznych Ramowej Dyrektywy Wodnej UE. Mogą również stanowić przykład dla inżynierów środowiska, geografów i biologów w badaniach środowiska rzeczno-

Opis badanych zlewni

Obszar badań jest zlokalizowany w Gorcach, będących częścią polskich Karpat Zachodnich. Gorce są górami średnimi (600–1300 m n.p.m.), które rozciągają się około 33 km z zachodu na wschód, w postaci szerokiego wału górskiego, o stromych stokach, głęboko rozciętych przez dopływy Raby i Dunajca (dorzecze górnej Wisły).

Badania przeprowadzono w zlewniach potoków Jaszce (11,39 km²) i Jamne (8,95 km²), które rozcinają południowe stoki Gorców. Potoki Jaszce (9,3 km) i Jamne (6,4 km) są lewobrzeżnymi dopływami górnego biegu rzeki Ochotnicy – dopływu Dunajca. Potok Jaszce bierze początek z kilku młak na stokach Jaworzyny, na wysokości 1160 m n.p.m. Jego ujście do rzeki Ochotnicy znajduje się na wysokości 610 m n.p.m. Potok Jamne wypływa ze źródła, o wydajności 0,05 dm³·s⁻¹, położonego na stokach Gorca, na wysokości 1110 m n.p.m. Ujście potoku do rzeki Ochotnicy zlokalizowane jest na wysokości 600 m n.p.m. Górne odcinki bocznych dolin prowadzą wodę okresowo, tworząc sieć cieków epizodycznych. W zlewni Jaszce długość cieków stałych wynosi 41,3 km, a w zlewni Jamne – 29,0 km, co daje gęstość cieków odpowiednio 3,5 i 3,2 km·km⁻² (Gerlach i Niemirowski 1968). Górne odcinki potoków Jaszce (rys. 1) i Jamne są mało przekształcone przez człowieka, natomiast ich dolne biegi umocnione zostały za pomocą bystrotoku (rys. 2).



RYSUNEK 1. Odcinek naturalny potoku Jaszce na odcinku górnym (fot. A. Bucala)
 FIGURE 1. Natural part on the upper reach of the Jaszce stream (photo A. Bucala)

W zlewniach Jaszce i Jamne przeważają stoki o nachyleniu powyżej 15° (ponad 70% powierzchni obszaru), o kształcie wypukłym bądź wypukłowklęsłym, często dolne odcinki stoków są bardziej strome. W górnych partiach obu dolin dominują stoki o ekspozycji południowej. W niższych partiach dolin występują przeważnie stoki o ekspozycji wschodniej i zachodniej. Pod względem budowy geologicznej omawiane zlewnie położone są w obrębie płaszczowiny magurskiej fliszu karpackiego. Gleby na obszarze badań nawiązują do skał podłoża. Występują przeważnie szkieletowe gleby brunatne rozwinięte na zwietrzelinie piaskowcowej. Doliny Jaszce i Jamne leżą w obrębie dwóch pięter klimatycznych: umiarkowanie chłodnego (o średniej temperaturze roku $4-6^\circ\text{C}$) i piętra chłodnego ($2-4^\circ\text{C}$), powyżej 1100 m n.p.m. (Hess 1965). Średnia roczna temperatura powietrza obniża się z 6°C do 3°C w dnie doliny (Obrębska-



RYSUNEK 2. Odcinek uregulowany w formie bystrotoku w ujściowym odcinku potoku Jaszce (fot. A. Bucala)
 FIGURE 2. Regulated part by concrete wall on the estuary reach of the Jaszce stream (photo A. Bucala)

-Starkłowa 1969). Średnia roczna suma opadów w latach 1958–2008 wynosiła 841 mm (dane IMGW). Obie zlewnie porastają zespoły leśne, głównie regla dolnego, a tylko w partiach powyżej 1000 m występuje świerkowy bór karpacki.

Badane zlewnie różnią się długością cieków, gęstością rozcięcia dolinami (Jaszcze $4,26 \text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$, Jamne $5,33 \text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$) i udziałem powierzchni leśnych (Gerlach i Niemirowski 1968). Różnica w udziale powierzchni leśnej wpływa na czas zalegania pokrywy śnieżnej. W zlewni Jaszcze zalesionej w około 77% roztopa przebiegają wolniej niż w zlewni Jamne, gdzie powierzchnia leśna zajmuje około 55% (Obrębska-Starkłowa 1969, Bucala 2012). Na podstawie wyników pomiarów przepływów w przekrojach wodowskazowych zlokalizowanych u wylotu dolin potoków Jaszcze i Jamne prezentowanych przez Niemirowskiego (1974) stwierdzić można, że większymi wielkościami przepływu w ciągu całego roku charakteryzuje się potok Jaszcze.

Metody badań

Badania terenowe zostały przeprowadzone w trzech przekrojach poprzecznych, zlokalizowanych na górnym (I), środkowym (II) i dolnym (III) odcinku biegu potoków Jaszcze i Jamne. Pomiar prędkości chwilowej płynącej wody dokonano za pomocą młynka hydrometrycznego firmy OTT, typu Nautilus C-2000 RS-Sensa. Urządzenie to daje możliwość pomiaru prędkości wody w zakresie od $0,001$ do $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pomiar prędkości wykonano w pionach hydrometrycznych rozmieszczonych co 1 m

w przekroju poprzecznym koryta. Prędkość mierzono bezpośrednio nad dnem oraz w kilku punktach pionu hydrometrycznego. Na podstawie wykonanych pomiarów prędkości chwilowych wykreślono tachoidy rozkładu prędkości w poszczególnych pionach pomiarowych. Wyniki pomiarów prędkości chwilowych umożliwiły wyznaczenie następujących wielkości: prędkości średniej, prędkości dynamicznej, liczby Reynoldsa (w pionie oraz tzw. ziarnowa), liczby Froude'a i naprężenia stycznego.

Obliczenia naprężeń stycznych wykonano na podstawie wykresów rozkładów prędkości nad dnem cieku w układzie półlogarytmicznym metodą opisaną przez Carlinga (1983) oraz Gordon i innych (2007). Na podstawie wykresu rozkładu prędkości w pionie można wyznaczyć wartość prędkości dynamicznej ze wzoru Gordon i innych (2007):

$$V_* = \frac{a}{5,75} [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$$

gdzie: a – współczynnik nachylenia prostej $v = f(h)$ występującej w równaniu $y = ax + b$ (gdzie: x – wysokość nad dnem, na której wykonano pomiar prędkości; b – wyraz wolny równania).

Obliczona wartość prędkości dynamicznej posłużyła do wyznaczenia jednostkowej siły działającej na dno cieku, czyli naprężenia stycznego:

$$\tau = \rho \cdot (V_*)^2 [\text{N}\cdot\text{m}^{-2}]$$

gdzie: $\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ – gęstość wody.

Następnie wyznaczono liczbę Reynoldsa (średnią i maksymalną dla głęboko-

kości w pionie hydrometrycznym oraz ziarnową):

$$Re_{sr} = \frac{v_{sr} \cdot h}{\nu} [-]$$

$$Re_{max} = \frac{v_{max} \cdot h}{\nu} [-]$$

$$Re_{dm} = \frac{v_* \cdot d_m}{\nu} [-]$$

gdzie:

v_{sr} – średnia prędkość wody [$m \cdot s^{-1}$],

v_{max} – maksymalna prędkość wody [$m \cdot s^{-1}$],

v_* – dynamiczna prędkość wody [$m \cdot s^{-1}$],

h – napełnienie w korycie [m],

d_m – wielkość cząstek przy dnie [m],

ν – kinetyczny współczynnik lepkości [$m^2 \cdot s$].

Wyznaczono również liczbę Froude'a:

$$Fr_{sr} = \frac{v_{sr}}{\sqrt{gh}} [-]$$

$$Fr_{max} = \frac{v_{max}}{\sqrt{gh}} [-]$$

gdzie: g – przyspieszenie ziemskie [$m \cdot s^{-2}$].

Pobrano również próby rumowiska dennego z łach i wypłyceń występujących w korytach cieków. Pobór został wykonany metodą powierzchniową, zgodnie z zaleceniami Wolmana (1954). Dla pobranych otoczków wyznaczono średnicę miarodajną, posługując się następującym wzorem:

$$d_m = \sum d_i \cdot p_i \cdot (\sum p_i)^{-1} [\text{mm}], [m]$$

gdzie:

d_i – średnice poszczególnych otoczków [mm], [m],

p_i – procentyl wystąpienia poszczególnych otoczków [%].

Wyniki badań i dyskusja

Potok Jamne

W potoku Jamne przekrój I znajduje się około 4 km od ujścia ciek do rzeki Ochotnicy, w zalesionej górnej części zlewni. Koryto ciek wycięte jest w litej skale i ma bieg prosty prawie na całej długości. Szerokość koryta w miejscu pomiaru wynosi 5,80 m, a wysokość brzegu 1,40 m. Na lewym brzegu występuje odkryta łacha korytowa. Poniżej przekroju w odległości około 150 m prawy brzeg ciek jest silnie erodowany podczas każdego wezbrania (świeże podcięcie boczne).

W przekroju I potoku Jamne zaobserwowano koncentrację strugi w środkowej części przekroju. Największa prędkość $V = 0,423\text{--}0,520 m \cdot s^{-1}$ wystąpiła w pionie nr 2, w miejscu nurtu głównego. Również w tym pionie naprężenie styczne osiągnęło największą wartość w przekroju $\tau = 1,511 N \cdot m^{-2}$, znacznie przekraczając wartości w pionach 1 i 3, wynoszące odpowiednio $\tau = 0,044 N \cdot m^{-2}$ i $\tau = 0,014 N \cdot m^{-2}$. Wartości liczby Reynoldsa w pionie 2 $Re = 45\,307\text{--}55\,653$ oraz liczby Froude'a $Fr = 0,361\text{--}0,444$ świadczą o występowaniu ruchu turbulentnego oraz podkrytycznego (tab. 1).

TABELA 1. Parametry hydrodynamiczne w przekrojach pomiarowych potoku Jamne
TABLE 1. Hydrodynamic parameters of the Jamne stream

Przekrój Cross section	Pion Vertical	H_{\max}	V_{sr}	V_{\max}	V_*	τ	Re_{sr}	Re_{\max}	Re_{dm}	Fr_{sr}	Fr_{\max}
		m	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$			$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$	-			-	
I	1	0,10	0,130	0,216	0,007	0,044	9 938	16 512	260	0,131	0,218
	2	0,14	0,423	0,520	0,039	1,511	45 307	55 653	2648	0,361	0,444
	3	0,03	0,127	0,146	0,004	0,014	2 905	3 348	156	0,233	0,269
II	1	0,13	0,167	0,207	0,007	0,053	16 563	20 572	350	0,148	0,183
	2	0,13	0,072	0,095	0,003	0,007	7 122	9 441	186	0,063	0,084
	3	0,14	0,199	0,262	0,010	0,105	21 334	28 041	947	0,170	0,224
	4	0,06	0,127	0,167	0,007	0,042	5 835	7 660	396	0,166	0,218
III	1	0,03	0,111	0,140	0,011	0,129	2 128	2 676	663	0,225	0,283
	2	0,17	0,211	0,272	0,013	0,167	27 400	35 349	1303	0,163	0,211
	3	0,20	0,301	0,368	0,012	0,138	46 072	56 265	1181	0,215	0,263

Objaśnienia / Explanations:

H_{\max} – wypełnienie maksymalne w pionie pomiarowym [m] / maximum water depth at the measurement points,

V_{sr} – prędkość średnia [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] / mean velocity,

V_{\max} – prędkość maksymalna [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] / maximum velocity,

V_* – prędkość dynamiczna [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] / dynamic velocity,

τ – naprężenie styczne [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$] / shear stress,

Re_{sr} – średnia liczba Reynoldsa [-] / mean Reynolds number,

Re_{\max} – maksymalna liczba Reynoldsa [-] / maximum Reynolds number,

Re_{dm} – ziarnowa liczba Reynoldsa [-] / grain Reynolds number,

Fr_{sr} – średnia liczba Froude'a [-] / mean Froude number,

Fr_{\max} – maksymalna liczba Froude'a [-] / maximum Froude number.

W pionach 1 i 3 średnica miarodajna materiału dennego była zbliżona ($d_m = 51\text{--}55$ mm), natomiast w nurcie wyniosła $d_m = 89$ mm (tab. 2). Zróżnicowanie wielkości średnic d_m jest związane z dużymi różnicami prędkości przepływu i naprężeń stycznych występujących w nurtowej i bocznych częściach przekroju poprzecznego. Wymycie otoczków o wielkości do 100 mm dowodzi o występowaniu w czasie wezbrań w przekroju I prędkości $V = 2\text{--}3$ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Przekrój II znajduje się około 2,1 km od ujścia ciek do rzeki Ochotnicy w środkowej części potoku Jamne.

W tym miejscu koryto ciek wycięte jest w litej skale i ma bieg prosty. Szerokość koryta potoku wynosi 5,45 m. Brzeg prawy ciek jest uregulowany i umocniony opaską betonową (wysokość umocnienia 2,65 m) na długości około 68 m. Natomiast brzeg lewy nie jest umocniony i ma wysokość 0,80 m. Przy prawym brzegu znajduje się łacha korytowa zakryta, która przy niskich stanach wody ulega zarastaniu. Powyżej badanego przekroju koryto ma bieg kręty.

Przekrój II znajduje się powyżej progów wodnych, którego wpływ na koryto ciek uchwycono w pomiarach

TABELA 2. Średnica miarodajna rumowiska w przekrojach pomiarowych potoku Jamne
TABLE 2. Granulometric parameters on the Jamne stream

Przekrój Cross section	Pion Vertical	d_m
		m
I	1	0,051
	2	0,089
	3	0,055
II	1	0,063
	2	0,091
	3	0,121
	4	0,080
III	1	0,083
	2	0,132
	3	0,131

Objaśnienia / Explanations: d_m – średnica miarodajna [m] / mean diameter.

hydrodynamicznych (tab. 1). Struga ciecicy jest tutaj szersza i głębsza niż w poprzednim przekroju. Napętnienie w korycie wynosi $H=0,13-0,14$ m, a tylko od strony brzegu lewego (pion 4) wynosi $H=0,06$ m. Również prędkości wody są w porównywalnym zakresie ($V=0,127-0,199$ m·s⁻¹). Tylko w pionie 2 prędkość jest mniejsza ($V=0,072-0,095$ m·s⁻¹) niż w pozostałych pionach. Na jej wartość miało wpływ zalegające powyżej ziarno ponadwymiarowe. Naprężenia styczne w pionach ($\tau=0,007-0,105$ N·m⁻²) również mają zbliżone do siebie wartości. Liczby Reynoldsa $Re=5835-28041$ oraz Froude'a $Fr=0,063-0,224$ świadczą o występowaniu ruchu turbulentnego i podkrytycznego. Średnica miarodajna materiału dennego wynosi $d_m=63-91$ mm, a tylko w pionie 3 wartość średnicy jest większa ($d_m=121$ mm). Jest to spowodowane nieznacznie większą wartością prędkości $V=0,199$ m·s⁻¹ w tym pionie oraz

wymywaniem drobnego materiału dennego (tab. 2).

Przekrój III znajduje się w dolnej części zlewni (około 350 m od ujścia ciek do rzeki Ochotnicy), gdzie koryto potoku Jamne docina się do litej skały. Powyżej badanego przekroju występują liczne progi i wychodnie skalne. Poniżej koryto potoku jest umocnione zabudową hydrotechniczną, a pod mostkiem ulega zwężeniu. Szerokość koryta w miejscu pomiaru wynosi 7,10 m, a wysokość brzegów około 2 m. Na tym odcinku ciek jest wyprostowany i uregulowany, niezadrzewiony. Ma bieg prosty – aż do ujścia do rzeki Ochotnicy. Po prawej stronie brzegu występuje łacha korytowa odkryta.

W przekroju III maksymalne napętnienie w korycie dochodzi do $H_{\max}=0,20$ m, co jest największą wartością ze wszystkich pomierzonych (tab. 1). Wartości prędkości wynoszą $V=0,111-0,368$ m·s⁻¹, zauważa się więc ich większe zróżnicowanie niż w przekroju II. Wielkości naprężeń stycznych w przekroju III są porównywalne ($\tau=0,129-0,167$ N·m⁻²). Liczba Reynoldsa waha się w przedziale $Re=27\,400-56\,265$. Natomiast w pionie 1 jej wartość jest najmniejsza ($Re=2128-2676$). W pionach pomiarowych zaobserwowano ruch turbulentny. Wartości liczby Froude'a ($Fr=0,163-0,283$) w każdym pionie są zbliżone do siebie i świadczą o występowaniu ruchu podkrytycznego.

Średnica miarodajna rumowiska w przekroju III wynosiła $d_m=131-132$ mm, tylko w pionie 1 jej wartość była mniejsza i wynosiła $d_m=83$ mm. Mniejsze wartości średnicy miarodajnej w tym punkcie odpowiadają mniejszej wartości prędkości przepływu.

Wzdłuż potoku Jamne następuje zwiększenie frakcji materiału dennego. Na odcinku źródłowym obserwuje się $d_m = 65$ mm, w odcinku środkowym następuje zwiększenie frakcji do $d_m = 89$ mm, aby w odcinku ujściowym osiągnąć wartość $d_m = 116$ mm. Zwiększające się z biegiem potoku frakcje materiału korytowego, zalegającego w dnieniu koryta, mogą świadczyć o akumulacji materiału pochodzącego z erozji koryta.

Potok Jaszczce

W potoku Jaszczce przekrój I znajduje się około 6,8 km od ujścia ciek do rzeki Ochotnicy w głęboko wciętej i zalesionej górnej części zlewni. Koryto ciek wycięte jest w litej skale i ma bieg prosty. Szerokość koryta w miejscu pomiaru wynosi 8,15 m, natomiast wysokość brzegu prawego około 1 m, a le-

wego około 1,80 m. Powyżej przekroju odsłaniają się wychodne skalne. Po obu stronach ciek występują odkryte łachy żwirowe. Na brzegu prawym pojawia się niewielkie podcięcie erozyjne.

Wyniki parametrów hydrometrycznych wykonanych w potoku Jaszczce zestawiono w tabeli 3. W przekroju I napełnienie wahało się w zakresie $H = 0,04-0,10$ m. Największa prędkość wody wystąpiła w pionie 4 ($V = 0,583-0,660$ m·s⁻¹). W pozostałych pionach pomiarowych prędkości były znacznie mniejsze i wynosiły $V = 0,072-0,129$ m·s⁻¹. Duża prędkość w pionie 4 wpłynęła na wartości innych parametrów hydrodynamicznych. Napężenie wyniosło w tym miejscu $\tau = 1,265$ N·m⁻², co było największą wartością tego parametru we wszystkich pionach pomiarowych wszystkich trzech przekrojów. Wartości

TABELA 3. Parametry hydrodynamiczne w przekrojach pomiarowych potoku Jaszczce
TABLE 3. Hydrodynamic parameters on the Jaszczce stream

Przekrój Cross section	Pion Vertical	H_{max}	$V_{\dot{s}r}$	V_{max}	V^*	τ	Re	Re _{max}	Re _{dm}	Fr _{sr}	Fr _{max}
		m	m·s ⁻¹			N·m ⁻²	-			-	
I	1	0,10	0,072	0,111	0,007	0,045	5 479	8 486	380	0,072	0,112
	2	0,09	0,083	0,103	0,008	0,062	5 711	7 087	700	0,088	0,110
	3	0,04	0,113	0,129	0,006	0,031	3 455	3 945	713	0,180	0,206
	4	0,10	0,583	0,660	0,036	1,265	44 594	50 455	2 145	0,589	0,666
II	1	0,07	0,148	0,310	0,027	0,725	7 908	16 589	1 482	0,178	0,374
	2	0,10	0,100	0,145	0,007	0,048	7 619	11 085	859	0,101	0,146
	3	0,16	0,244	0,384	0,012	0,135	29 804	46 969	1 157	0,194	0,307
	4	0,18	0,394	0,520	0,031	0,941	54 216	71 554	2 283	0,297	0,391
III	1	0,15	0,345	0,430	0,013	0,182	39 574	49 308	835	0,284	0,354
	2	0,13	0,244	0,360	0,010	0,107	24 265	35 777	725	0,216	0,319
	3	0,13	0,550	0,700	0,034	1,177	54 659	69 567	2 298	0,487	0,620
	4	0,08	0,192	0,232	0,007	0,052	11 749	14 189	478	0,217	0,262

Oznaczenia jak w tabeli 1 / Explanations according Table 1.

liczby Reynoldsa oraz liczby Froude'a wynosiły $Re = 44594\text{--}50455$ oraz $Fr = 0,589\text{--}0,666$, są to wartości również dużo większe niż w pozostałych pionach przekroju. W pionach 1, 2 i 3 wartości omawianych parametrów wynosiły odpowiednio $\tau = 0,031\text{--}0,062 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$, $Re = 3455\text{--}8486$ oraz $Fr = 0,088\text{--}0,206$. W przekroju występował ruch turbulentny oraz podkrytyczny.

Średnica miarodajna materiału dennego w przekroju I wynosiła $d_m = 74\text{--}168 \text{ mm}$ (tab. 4). W pionie 4, pomimo wysokiej prędkości przepływu $V = 0,583 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, wartość średnicy miarodajnej rumowiska wyniosła tylko $d_m = 79 \text{ mm}$. W przekroju I występują wychodnie skalne oraz ziarna ponadwymiarowe, między którymi jest zdeponowany drobny materiał (obecność form koryto-

wych zapewnia dobre warunki siedliskowe dla organizmów żywych). Dodatkowo, zwiększona szorstkość koryta ciek w tym przekroju, zwiększająca dynamikę i turbulencję, powoduje, że wartość prędkości wody płynącej tuż nad dnem ciek ($V = 0,238\text{--}0,240 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) jest znacznie mniejsza niż prędkość średnia (co jest zjawiskiem normalnym). Można więc twierdzić, że większe wartości prędkości średniej nie zawsze są tożsame z występowaniem grubego rumożu dennego. Stąd ważnym parametrem w ocenie transportowanego materiału jest również prędkość chwilowa zmierzona tuż nad dnem ciek, a nie tylko prędkość średnia i naprężenie styczne.

Przekrój II znajduje się około 4,9 km od ujścia ciek do rzeki Ochotnicy w środkowej części potoku Jaszcz. Szerokość koryta ciek w miejscu pomiaru wynosi 5,75 m. Koryto jest wycięte w skale, niezadrzewione, ma kręty bieg. Wysokość brzegu lewego wynosi około 2,30 m. Brzeg ten jest intensywnie podcinany w wyniku czego odsłaniają się wychodnie skalne, które zasilają koryto ciek materiałem. Wysokość brzegu prawego jest niewielka (około 0,30 m) i przechodzi w równinę zalewową. Przy brzegu prawym znajduje się odkryta łąka żwirowa.

W przekroju II nurt przebiegał prawą stroną koryta, stąd w pionach 3 i 4 prędkości wynosiły $V = 0,244\text{--}0,520 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, tj. były wyraźnie większe niż w pionach 1 i 2 ($V = 0,100\text{--}0,310 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Wartości naprężenia stycznego były największe w pionach 1 i 4, wynosząc odpowiednio $\tau = 0,725 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$ i $\tau = 0,941 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$. Liczby Reynoldsa i Froude'a były największa w pionach 3 i 4, ich wartości wynosiły odpowiednio $Re = 29\,804\text{--}71\,554$ oraz

TABELA 4. Średnica miarodajna w przekrojach pomiarowych potoku Jaszcz

TABLE 4. Granulometric parameters on the Jaszcz stream

Przekrój Cross section	Pion Vertical	d_m
		m
I	1	0,074
	2	0,116
	3	0,168
	4	0,079
II	1	0,072
	2	0,162
	3	0,130
	4	0,097
III	1	0,081
	2	0,092
	3	0,088
	4	0,087

Objaśnienia / Explanations: d_m – średnica miarodajna [m] / mean diameter.

$Fr = 0,194-0,391$. Występował ruch turbulentny i podkrytyczny. Po drugiej stronie cieku, w pionach 1 i 2, wartości liczby Reynoldsa były mniejsze ($Re = 7619-16\,589$), jednak nadal występował ruch turbulentny. Natomiast liczba Froude'a była nieznacznie mniejsza ($Fr = 0,101-0,374$). Tak jak w przekroju I, również w tym miejscu występowały na dnie wychodnie skalne oraz ziarna ponadwymiarowe, stąd największe wartości średnicy miarodajnej $d_m = 130-162$ mm, występujące w środkowej części przekroju, nie są tożsame z największymi prędkościami w tych pionach. W bocznych częściach przekroju średnica rumowiska wynosi $d_m = 72-97$ mm (tab. 3 i 4).

Przekrój III znajduje się w dolnej części potoku Jaszce (około 260 m od ujścia cieku do rzeki Ochotnicy), gdzie koryto cieku jest wyprostowane, uregulowane i umocnione z dwóch stron opaską betonową długości około 250 m aż do ujścia z rzeką Ochotnicą. Szerokość koryta potoku w miejscu pomiaru wynosi 6,15 m, a wysokość brzegu prawego i lewego odpowiednio 1,30 i 1,70 m. Przy brzegu prawym znajduje się odsłonięta łacha żwirowa. Powyżej badanego przekroju koryto potoku jest kręte, głęboko wcięte i docina się do litej skały. Występują tu liczne wychodnie i progi skalne, które są niszczone w wyniku procesów erozyjnych.

W przekroju III wartości prędkości średniej były zróżnicowane i wynosiły od $V = 0,192$ m·s⁻¹ w pionie 4 do $V = 0,550$ m·s⁻¹ w pionie 3. Pomimo zróżnicowania prędkości wody wielkość rumowiska w całym przekroju jest podobna ($d_m = 81-92$ mm). Największe

naprężenie styczne $\tau = 1,177$ N·m⁻² wystąpiło w pionie 3. W pozostałych pionach było mniejsze ($\tau = 0,052-0,182$ N·m⁻²). Wartość liczby Reynoldsa wyniosła $Re = 11\,749-69\,567$, co oznacza występowanie ruchu turbulentnego. Wartość liczby Froude'a była największa w pionie 3 ($\tau = 0,487-0,620$ N·m⁻²), natomiast wyraźnie mniejsza w pozostałych pionach ($\tau = 0,216-0,354$ N·m⁻²). W przekroju III występował ruch podkrytyczny. Rumowisko denne było umiarkowanie wysortowane. Średnicamiarodajnarumowiska wzdłuż potoku Jaszce zmienia się w znaczący sposób. W przekroju I oraz II, gdzie odcinki są naturalne, wartości d_m są zbliżone do siebie (odpowiednio 109 i 115 mm – tab. 3 i 4). Natomiast w przekroju III wielkość rumowiska wyniosła $d_m = 87$ mm, co jest efektem oddziaływania zabudowy podłużnej koryta cieku. W korytach uregulowanych, szczególnie za pomocą materiałów gładkich, jakim jest beton, tak jak w tym przypadku, podczas wezbrań prędkość przepływającej wody jest dużo większa niż podczas tego samego przepływu w korytach naturalnych. Wpływ na to ma mała szorstkość ścian koryta, brak łach korytowych w dnie cieku oraz koncentracja przepływu. Struga ciecicy, płynąca z dużą prędkością, uruchamia rumowisko w korycie, które po przejściu fali zostaje zdeponowane. Materiał w przekroju jest najczęściej jednorodny, bez form korytowych. Takie warunki utrudniają bytowanie organizmów wodnych i makrobentosu (Kłonowska-Olejnik i Radecki-Pawlik 2000, Zasepa i in. 2006).

Wnioski i podsumowanie

Z przeprowadzonej analizy parametrów hydrodynamicznych i granulometrycznych dla potoków Jaszczce i Jamne można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Przeprowadzone pomiary potwierdzają obserwacje Niemirowskiego (1974), że potok Jaszczce charakteryzuje się większymi wartościami prędkości przepływów w stosunku do potoku Jamne.

2. W uregulowanym odcinku potoku Jaszczce stwierdzono większe wartości parametrów hydrodynamicznych, w szczególności prędkości średniej i naprężenia stycznego, niż w odcinkach nieuregulowanych. Duże siły działające na dno cieką oraz duża wartość prędkości płynącej wody były w stanie uruchomić i transportować rumowisko o większej średnicy, powodując jego wymycie.

3. W naturalnych, nieuregulowanych korytach obu badanych potoków zmierzone wartości prędkości chwilowej charakteryzowały się większą zmiennością ($\Delta V = 0,038-0,094$) niż w odcinkach uregulowanych ($\Delta V = 0,011$).

4. Każda zauważona budowla hydrotechniczna, znajdująca się w korycie cieką lub w jego bliskiej odległości (przekroje: II Jamne, III Jaszczce), wpływała na hydrodynamikę koryta, najczęściej poprzez swoją małą szorstkość, zwiększając przez to prędkość wody płynącej w rejonie jej oddziaływania.

5. Duże wartości parametrów hydrodynamicznych obserwowanych w odcinku uregulowanym koryta oraz jednorodny materiał denny zalegający w dnie

koryta mogą spowodować pogorszenie warunków siedliskowych dla organizmów wodnych i makrobentosu.

6. Średnica miarodajna rumowiska zalegającego w dnie cieką potoku Jamne zwiększała się wzdłuż jego biegu, co świadczyło o dostawie materiału skalnego do koryta w wyniku niszczącego działania wody na skarpy brzegów, powodującego erozję boczną. Zjawisko to nie było obserwowane w potoku Jaszczce, gdzie wielkość materiału dennego na całej długości cieką była do siebie zbliżona.

7. Zgodnie z zaleceniami Ramowej Dyrektywy Wodnej (Dyrektywa 2000/60/WE) powinno dążyć się do przebudowy przekrojów poprzecznych koryt cieków, łagodząc nachylenia skarp brzegów i pozwalając na rozlanie się wód rzecznych na tereny zalewowe, co spowodowałoby większe zróżnicowanie parametrów hydrodynamicznych oraz spłaszczenie potencjalnej fali wezbraniowej. Ponadto zaleca się zmianę technicznych ubezpieczeń koryt cieków na elementy proekologiczne, które w mniejszym stopniu wpływałyby na hydrodynamikę przepływu. Potok Jamne ma do dziś odcinki, gdzie można by przeprowadzić choćby fragmentaryczną renaturyzację koryta, co wiązałoby się z wykupem gruntu. Jednak prace regulacyjne podejmowane w korytach potoków w kolejnych latach naszego stulecia, szczególnie po 2002 roku, wskazują na to, że chociaż wykonywane są za unijne pieniądze, to dezyderaty RDW dotyczące utrzymania dobrej jakości koryt nie są brane pod uwagę.

Literatura

- BOJARSKI A., JELEŃSKI J., JELONEK M., LITEWKA T., WYŻGA B., ZALEWSKI J. 2005: Zasady dobrej praktyki w utrzymaniu rzek i potoków górskich. Ministerstwo Środowiska, Departament Zasobów Wodnych, Warszawa.
- BUCAŁA A. 2012: Współczesne zmiany środowiska przyrodniczego dolin potoków Jaszczce i Jamne w Gorcach. *Prace Geograficzne* 231, IGIPZ PAN, Warszawa.
- CARLING P.A. 1983: Threshold of coarse sediment transport in broad and narrow natural streams. *Earth Surf. Process. Landforms* 8: 1–18.
- Dane IMGW – Dane opadowe (1958–2008) udostępnione w ramach porozumienia zawartego w dniu 29.09.2010 pomiędzy Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej a Instytutem Geografii i PZ PAN.
- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=D-D:15:05:32000L0060:PL:PDF>).
- GERLACH T., NIEMIROWSKI M. 1968: Charakterystyka geomorfologiczna dolin Jaszczce i Jamne. W: Doliny potoków Jaszczce i Jamne w Gorcach. Red. A. Medwecka-Kornaś. *Studia Naturae A*, 2: 11–22.
- GORDON N.D., McMAHON T.A., FINLAYSON B.L., GIPPEL C.J., NATHAN R.J. 2007: Stream Hydrology. An introduction for ecologists. John Wiley and Sons, London.
- HESS M. 1965: Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich. Zeszyty Naukowe UJ, *Prace Geograficzne* 11, Kraków.
- KŁONOWSKA-OLEJNIK M., RADECKI-PAWLIK A. 2000: Zróżnicowanie mikrosiedliskowe makrobezkręgowców dennych w obrębie łach korytowych potoku górskiego o dnie żwirowym. XVIII Zjazd Hydrobiologów Polskich, Białystok.
- KORPAK J., KRZEMIEN K., RADECKI-PAWLIK A. 2008: Wpływ czynników antropogenicznych na zmiany koryt cieków karpackich. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 4, Monografia. PAN, Kraków.
- NIEMIROWSKI M. 1974: Dynamika współczesnych koryt potoków górskich (na przykładzie potoków Jaszczce i Jamne w Gorcach). *Prace Geograficzne* 34, *Prace Instytutu Geograficznego* 56, UJ, Kraków.
- OBREŃSKA-STARKŁOWA B. 1969: Mezoklimat zlewni potoków Jaszczce i Jamne. *Studia Naturae A*, 3.
- RADECKI-PAWLIK A. 2011: Hydromorfologia rzek i potoków górskich. Działy wybrane. Uniwersytet Rolniczy, Kraków.
- WOLMAN M.G. 1954: A method of sampling coarse river-bed material. *Transaction, American Geophysical Union* 35 (6), 951–956.
- WYŻGA B. 2007: Gruby rumosz drzewny: depozycja w rzece górskiej, postrzeżenie i wykorzystanie do rewitalizacji cieków górskich. Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków.
- ZASĘPA P., KŁONOWSKA-OLEJNIK M., RADECKI-PAWLIK A. 2006: Wpływ wybranych zmian abiotycznych w rejonie łachy zwirowej potoku górskiego na mikrosiedliska makrobezkręgowców dennych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 4 (2), 221–232.

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki analizy parametrów hydromorfologicznych i hydrodynamicznych w sąsiadujących ze sobą potokach Jaszczce i Jamne, położonych w Gorcach. Analiza warunków hydrodynamicznych cieków skłania do wniosku, że w korytach potoków występują zróżnicowane warunki i parametry przepływu, chociaż ich zlewnie mają zbliżoną budowę geologiczną i rzeźbę terenu oraz leżą na obszarze jednej jednostki fizyczno-geograficznej. Celem artykułu jest porównanie parametrów hydrodynamicznych w potokach Jaszczce i Jamne. W świetle wprowadzania w Polsce Ramowej Dyrektywy Wodnej UE i doprowadzenia wód do dobrego ekologicznego stanu należy wziąć pod uwagę lokalne warunki hydrodynamiczne cieku, aby w ten sposób wytypować odcinki koryt wymagające renaturyzacji. Ocena stanu hydromorfologicznego cieku dokonana na podstawie uśrednionych parametrów może prowadzić

do poważnych błędów, gdyż często lokalne przekształcenia koryta wpływają istotnie na stan ekologiczny całego ciek.

Summary

Hydrodynamic and hydromorphological conditions in two streams in the Gorce Mountains in the Polish Carpathians. The results of the analysis of hydromorphological parameters and hydrodynamic of neighbouring catchments Jaszce and Jamne streams, located in Gorce. Analysis of the hydrodynamic conditions of the streams leads to the conclusion that the two small streams valleys of similar geological structure and relief, the area in the same physical-geographical units have different conditions of flow parameters. The aim of this article is compare the hydrodynamic parameters in Jaszce and Jamne streams. In the light of the entry in the Polish EU Water Framework Directive and bring water to a good ecological status should take into account local conditions, hydrodynamic stream, in order to predict the trough

sections requiring restoration. Evaluation of hydromorphological stream, made on an average of the parameters can lead to serious errors, as often local transformation trough substantially affect the ecological status of the stream.

Authors' addresses:

Anna Bucala
Instytut Geografii i PZ PAN
Zakład Badań Geośrodowiska
ul. Św. Jana 22, 31-018 Kraków
Poland
e-mail: abucala@zg.pan.krakow.pl

Karol Plesiński
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki
al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków
Poland
e-mail: k.plesinski@ur.krakow.pl

Artur Radecki-Pawlik
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki
al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków
Poland
e-mail: rmradeck@cyf-kr.edu.pl