

Ryszard Ślizowski, Artur Radecki-Pawlik, Krzysztof Huta

ANALIZA WYBRANYCH PARAMETRÓW HYDRODYNAMICZNYCH NA BYSTRZU O ZWIĘKSZONEJ SZORSTKOŚCI NA POTOKU SANOCZEK

ANALYSIS OF CHOSEN HYDRODYNAMICS PARAMETERS ALONG THE RAPID HYDRAULIC STRUCTURE WITH INCREASED ROUGHNESS – THE SANOCZEK STREAM

Streszczenie

W ostatnim czasie istnieje coraz bardziej ożywiona dyskusja na temat nowoczesnych budowli wodnych inżynierii rzecznej, które spełniałyby wymagania stawiane przez ekologów. Jedną z takich budowli jest bystrze o zwiększonej szorstkości. W niniejszej pracy przedstawiono jeden z tego typu obiektów. Znajduje się on na potoku Sanoczek, w Bieszczadach.

Jednym z ważniejszych czynników powodujących naruszenie stabilności bystrza i koryta w strefie jego oddziaływania jest prędkość maksymalna występująca na bystrzu lub tuż poniżej. Celem niniejszej pracy jest określenie rozkładu prędkości na bystrzu na potoku Sanoczek i w strefie jego oddziaływania.

Rozszerzenie badań o strefy oddziaływania bystrza jest bardzo istotne do ustalenia warunków stabilności nie tylko bystrza, ale także koryta powyżej i poniżej bystrza. Pomiar rozkładu prędkości w korycie powyżej i poniżej bystrza miały na celu zbadanie czy warunki hydrauliczne przepływu są porównywalne, co świadczyłoby o wystarczającej redukcji zwiększonej energii przepływającego strumienia.

W pracy dokonano także analizy prędkości stycznych, prędkości średniej i dynamicznej, występujących na bystrzu i w strefie jego oddziaływania. W celu dokładnej analizy pracy bystrza, poza głównym celem pracy, postawiono także cel dodatkowy określenia charakteru przepływu na bystrzu i w strefie jego oddziaływania.

Słowa kluczowe: bystrze o zwiększonej szorstkości, potok górski, prędkość, naprężenia styczne

Summary

At the present time once can easily noticed very lively discussion about introducing modern, ecological friendly hydraulic structures in river training works which are suppose to stay up to the standards given by hydrobiologists, ecologists as well as fluvial geomorphologists. One of the proposals of such structures is a rapid hydraulic structure (RHS) with increased roughness. Along the presented paper such structure is presented. It was constructed within the river channel of the Sanoczek Stream in the Bieszczady Mountains, a part of Polish Carpathians. One of the main problems connected with changes of stability of hydraulic structures (in that case also with RHS) is velocity of running water causing huge turbulence and shear stresses. Thus, the objective of the following paper is to present the distribution of velocities values along the RHS and within the region of its influence. The main aim of the research was to describe conditions upstream and downstream of the structure and compare them in terms of stability of the RHS. Parallel with the main aim, the distribution of shear stresses as well as shear velocities along the RHS apron and the region within its influence are also presented. The work was conducted in Agricultural University of Krakow and was a part of the master thesis.

Key words: rapid hydraulic structure, mountain stream, shear stresses, shear velocity

WPROWADZENIE

Poglądy na potrzebę i zadania regulacji cieków oraz na zasady ich projektowania i realizacji uległy w ostatnich latach dużym zmianom, które najogólniej mówiąc, wynikają z dostrzeżenia tego, że potok jest ważnym elementem środowiska naturalnego i czynnikiem je kształtującym. Do niedawna regulacje potoków traktowano jako przedsięwzięcie techniczne lub głównie technicznie, nie zawsze i niewiele zwracając uwagi na jego oddziaływanie i rolę w środowisku naturalnym, stanowiącym obszar życiowy zwierząt i roślin, obszar rekreacji dla człowieka i stale odnawiany magazyn wód dla wszystkich [Żelazo 1992; Żelazo, Popek 2002].

Koryto potoku powinno znajdować się w stanie równowagi dynamicznej i biologicznej. Koryto potoku charakteryzuje się:

- dużym zróżnicowaniem układu dna i brzegów i przemiennie występującymi strefami głębokimi, o małych prędkościach przepływu i strefami płytszymi o większej prędkości i turbulencji,
- licznymi nieregularnościami dna (kamienie, żwirowiska i inne występy) zmniejszającymi lokalne prędkości przepływu i służącymi jako schronienie i znaki orientacyjne dla ryb,
- nawisami brzegów, korzeniami drzew rosnących na brzegach,
- urozmaiconymi, bardzo różnoziarnistymi odcinkami dna, tworzącymi korzystne warunki dla rozwoju bezkręgowców, które stanowią pożywienie dla ryb.

Różnica między rzeką naturalną a uregulowaną technicznie polega na tym, że pierwsza z wymienionych charakteryzuje się bogactwem liczbowym i różnorodnością struktur rzecznych (meandrów, dołów w dnie i płycizn, przekrojów, nachyleń, skarp, rozszerzeń, zwężeń i nawisów), a druga ich ubóstwem. Warunkiem życia i rozwoju organizmów jest zróżnicowanie struktur rzecznych, skąd w rzece naturalnej mamy dużo ryb i ich gatunków, a w rzece uregulowanej technicznie, niewiele lub wcale [Kajak 1991; Kłonowska-Olejniki i in. 2006; Zasepa i in. 2006 a].

Sprzeczności pomiędzy warunkami panującymi w korytach potoków uregulowanych według zasad technicznych a wymaganiami flory i fauny, a także całego środowiska i krajobrazu, stały się impulsem do poszukiwań nowych rozwiązań w regulacji potoków. Odpowiedzią na to są kompromisowe rozwiązania projektowe, których ingerencja w środowisko jest znacznie mniejsza, lecz jednocześnie nie zawsze możliwe jest pełne zaspokojenie potrzeb i wymagań wszystkich użytkowników. Regulacja taka nazywana regulacją naturalną (bądź bliską naturze), jest uznawana za rozwiązanie optymalne, które jest coraz szerzej stosowane również w naszej praktyce. W literaturze można znaleźć różne próby sformułowania niektórych zasad regulacji naturalnej, lecz nie wyczerpują one tematu i nie są w pełni z sobą zgodne [Żelazo, Popek 2002]. Generalną zasadą regulacji naturalnej potoku, która z założenia powodować ma uporządkowanie i ujednoczenie warunków naturalnych, jest to, że nie powinna ona niszczyć całej różnorodności koryta, gdyż decyduje o wartościach przyrodniczych, rekreacyjnych, a częściowo także gospodarczych rzeki i doliny. Projektowanie regulacji naturalnej różni się od projektowania regulacji technicznej zarówno samą metodyką, jak również rozwiązaniami technicznymi. Rozwiązania techniczne w regulacji naturalnej, z uwagi na indywidualne cechy i uwarunkowania poszczególnych potoków, nie mogą być w pełni powtarzalne, tym niemniej można sformułować pewne zasady, mające charakter ogólny. Najważniejsze z nich odnoszą się do samego koryta potoku i można je przedstawić następująco:

- trasę potoku projektować należy w sposób niepowodujący nadmiernych szkód w środowisku i prowadzić tak, aby jak najmniej różniła się od potoków nieuregulowanych, swobodnie płynących, co osiąga się poprzez poprowadzenie nowej trasy w korycie istniejącym,

- na odcinkach, gdzie trasa projektowana będzie prowadzona poza istniejącym korytem, geometria tej trasy powinna być zbliżona do rozwiązań w naturze. Łuki nowej trasy mogą być opisane krzywymi zalecanymi do stosowania w regulacji potoków,

- prowadząc uregulowaną trasę w istniejącym korycie, nie likwiduje się lub ogranicza likwidację istniejących:

- wysp, gdyż wraz z innymi nieregularnościami tworzą one bogactwo form wpływających korzystnie na rozwój różnych organizmów i mogą stanowić ważne miejsca dla życia ptaków,

- łach korytowych, odsypisk i namulisk stanowiących tarliska oraz skupisk roślinności, w których chronią się i żerują ryby,
- kryjówek ryb,
- wskazane jest, aby w przekrojach poprzecznych wzdłuż biegu potoku były zróżnicowane: głębokości, szerokości, nachylenia skarp oraz prędkości przepływu,
- likwidacja istniejących zadrzewień i zakrzaczeń dopuszczalna jest jedynie tam, gdzie jest to niezbędne, np. gdy stanowią dużą przeszkodę dla wykonawstwa robót lub przyczyniają się do erozji skarp, brzegów lub terenów zalewowych.

Dotychczas stosowane metody stabilizacji potoków górskich polegają na wybudowaniu wielu stopni. Stopień, obiekt przegradzający koryto, jest elementem sztucznym zaburzającym naturalny bieg cieku [Ratomski 2006]. Co prawda osiąga się w ten sposób cel budowy stopni, które zmniejszają spadek podłużny dna, prędkości, siły unoszenia oraz rozpraszają energię wody. Lecz doświadczenia wykazały, że oprócz zamierzonych celów stopień wywołuje także niekorzystny wpływ na charakter przepływu i do największych dewastacji dochodzi właśnie w pobliżu stopnia. Przyczyną uszkodzeń jest duża ilość energii na stopniu, której rozproszenie wymaga stosowania różnego rodzaju środków technicznych, które zwiększają znacznie koszty. Innymi mankamentami budowy stopni są: konieczność odprowadzania wód w czasie ich budowy, duże koszty wykonania i eksploatacji.

Rozwiązaniem kompromisowym zaspokajającym potrzeby i wymogi wszystkich użytkowników mogą być metody regulacji, wykorzystujące naturalne elementy zwiększające szorstkość koryta. Rozwiązaniem będącym efektem poszukiwań budowli spełniających wymogi zarówno techniczne, jak i przyrodnicze mogą być bystrza o zwiększonej szorstkości.

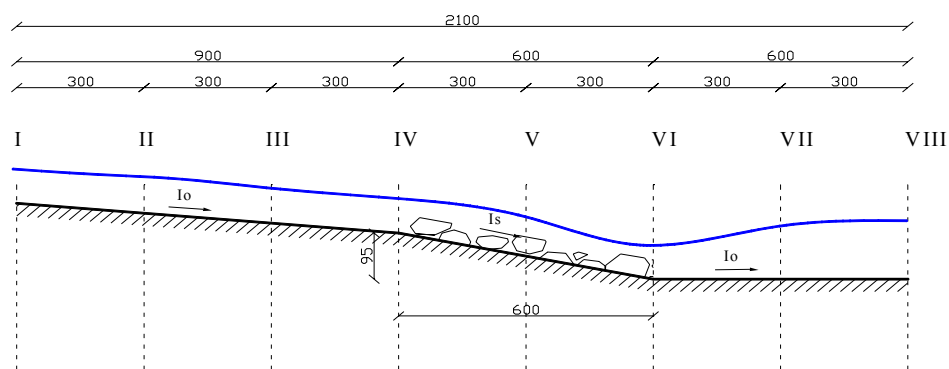
Bystrza o sztucznie zwiększonej szorstkości są to krótkie odcinki potoku o spadku 1:3–1:15 z wytworzoną dużą szorstkością poprzez ułożenie bloków kamiennych o rozmiarach około 1 m, w taki sposób, aby były one stabilne i maksymalnie zwiększały szorstkość. Działanie tych konstrukcji polega na wytworzeniu tak dużej szorstkości, że energia przepływającej wody w dużej części zostaje rozproszona na bystrzu, a nie poniżej niego [Hartung, Schulerin 1970; Ślizowski 1993; Ślizowski, Radecki-Pawlik 1998, 2000; Radecki-Pawlik, Ślizowski 1998]. W prezentowanej pracy przedstawiono działanie bystrza o zwiększonej szorstkości wykonanego na potoku Sanoczek, który jest jednym z cieków karpackich w Bieszczadach.

OPIS BADANEGO OBIEKTU I METODYKA PRACY

Potok Sanoczek przepływa przez miejscowość Zabłotce położoną w gminie Sanok. Całkowita powierzchnia zlewni potoku Sanoczek wynosi 174,25 km².

Powierzchnia zlewni w kilometrze 3+850, gdzie wykonano zabudowy wynosi 125,50 km². Całkowita długość potoku od źródeł do ujścia do rzeki San wynosi 27,600 km. Długość potoku od źródeł do kilometra 3+850 w miejscowości Zabłotce wynosi 23,750 km. Szerokość trasy regulacyjnej potoku od km 3+850 do km 4+000 wynosi 10,00 m. Przepływ miarodajny $Q_m = Q_{50\%}$ wynosi 37,80 m³.s⁻¹, natomiast przepływ kontrolny $Q_k = Q_{20\%}$ wynosi 79,00 m³.s⁻¹. Potok Sanoczek został uregulowany ubezpieczeniami brzegowymi w postaci narzutu kamiennego na długości 132 mb.

Korekcje spadku podłużnego wykonano poprzez budowę bystrza o zwiększonej szorstkości z narzutu kamiennego o wysokości 0,95 m i nachyleniu $I = 1:10$ (rys. 1) [Huta 2006]. Bystrze to jest przedmiotem analizy w niniejszej pracy.



Rysunek 1. Szkic rozmieszczenia przekrojów pomiarowych (wymiały w cm)

Pomiary rozkładu prędkości wykonano w ośmiu przekrojach poprzecznych.

W każdym przekroju poprzecznym pomiary wykonano w trzech pionach, w osi koryta i w odległości 2 m od skarp. W pionach pomiarowych prędkości mierzono na trzech głębokościach, przy dnie, zwierciadło wody, 0,6 m od zwierciadła wody. Wykonano 216 pomiarów prędkości. Pomiarami objęto bystrze przekrój IV, V, VI, jak również obszar oddziaływania bystrza powyżej przekrój I, II, III i poniżej przekrój VII, VIII (rys. 1). Pomiar prędkości wykonano młynkiem hydrometrycznym typu NAUTILUS 2000, będącym urządzeniem bezprądkowym, wykonującym pomiar prędkości na podstawie zmian pola elektromagnetycznego zachodzącego podczas przepływu wody w rejonie głowicy młynka (fot. 1).



Fotografia 1. Pomiar prędkości wody urządzeniem NAUTILUS 2000 podczas określania rozkładów prędkości na bystrzu o zwiększonej szorstkości na potoku Sanoczek, fot. K. Huta

Wyniki pomiarów prędkości uśredniono z trzech pomiarów wykonanych w każdym punkcie pomiarowym. W pionach pomiarowych określono: napętnienie (h), prędkość średnią (V_{sr}), prędkość maksymalną (V_{max}). Kolejno wykonano obliczenia w poszczególnych przekrojach i pionach pomiarowych: prędkości dynamicznych V^* , naprężeń stycznych τ , prędkości średnich V_{sr} , prędkości maksymalnych V_{max} , głębokości w pionach pomiarowych h_p . Wyniki obliczeń i pomiarów przedstawia tabela 1.

WYNIKI BADAŃ WRAZ Z DYSKUSJA

Analizując parametry hydrodynamiczne przedstawione w tabeli 1 oraz rysunku 1, można zauważyć, że najmniejsze prędkości występują w przekrojach powyżej bystrza (przekrój I) oraz w przekroju VIII poniżej bystrza. Wartości prędkości i naprężeń powyżej i poniżej bystrza są porównywalne, co świadczy o jego prawidłowej pracy.

Tabela 1. Rozkład prędkości i naprężeń na długości bystrza – potok Sanoczek

Nr	L	V*	τ	V _{śr}	V _{max}	h _{pionu}
I/1	0	0,011	0,121	0,122	0,163	0,3
I/2	0	0,0054	0,029	0,122	0,134	0,57
I/3	0	0,011	0,121	0,157	0,174	0,42
II/1	3	0,012	0,144	0,151	0,231	0,32
II/2	3	0,0045	0,02	0,153	0,187	0,4
II/3	3	0,0094	0,088	0,17	0,215	0,3
III/1	6	0,013	0,169	0,22	0,365	0,3
III/2	6	0,029	0,841	0,295	0,302	0,27
III/3	6	0,022	0,44	0,15	0,219	0,33
IV/1	9	0,0189	0,357	0,638	0,639	0,12
IV/2	9	0,02	0,4	0,483	0,499	0,14
IV/3	9	0,021	0,41	0,569	0,599	0,14
V/1	12	0,0296	0,876	0,665	0,814	0,16
V/2	12	0,019	0,361	1,702	1,719	0,07
V/3	12	0,0347	1,204	0,973	1,092	0,11
VI/1	15	0,0038	0,0144	0,389	0,408	0,14
VI/2	15	0,0067	0,0448	0,557	0,56	0,21
VI/3	15	0,0101	0,102	0,388	0,463	0,24
VII/1	18	0,0118	0,139	0,284	0,308	0,3
VII/2	18	0,009	0,081	0,256	0,28	0,37
VII/3	18	0,0033	0,0109	0,115	0,134	0,3
VIII/1	21	0,0108	0,1166	0,119	0,127	0,21
VIII/2	21	0,0049	0,024	0,121	0,135	0,39
VIII/3	21	0,0051	0,026	0,102	0,14	0,51

Oznaczenia w tabeli:

V* – prędkość dynamiczna [m s^{-1}],

τ – naprężenia styczne [N m^{-2}],

v_{śr} – prędkość średnia [m s^{-1}],

v_{max} – prędkość maksymalna [m s^{-1}],

h_{pionu} – głębokość w pionie pomiarowym [m],

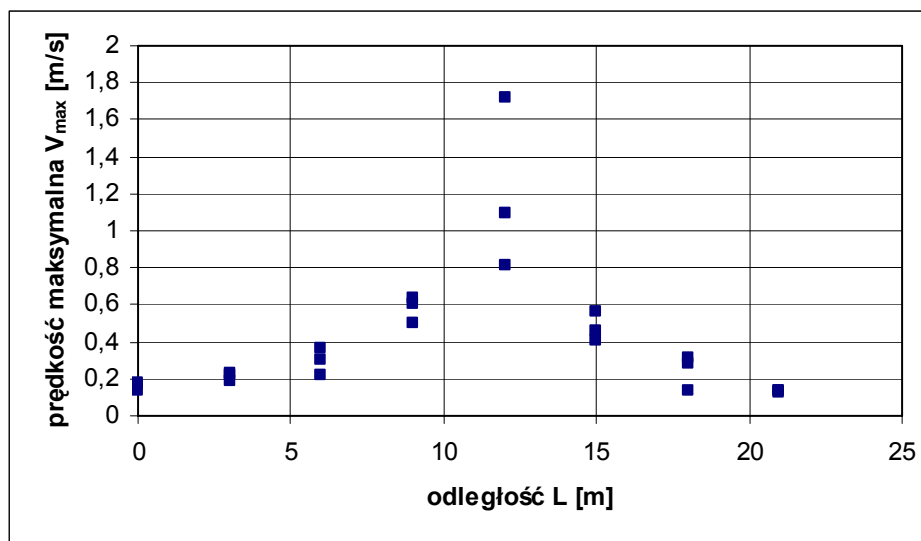
Nr – numer przekroju – patrz rysunek 1,

L – odległość przekrojów pomiarowych [m].

W korycie poniżej bystrza uzyskano podobne warunki hydrauliczne przepływu jak w korycie powyżej bystrza, czyli zwiększona energia wywołana zwiększonym spadkiem dna koryta została rozproszona poprzez jego szorstką powierzchnię.

Największe prędkości i naprężenia występują na bystrzu w przekrojach IV i V, które są usytuowane w odległościach 9–12 m, czyli w połowie długości bystrza.

W przekrojach od VI do VII następuje stopniowe zmniejszanie prędkości, aby w przekroju VIII osiągnąć warunki hydrauliczne przepływu w korycie porównywalne z warunkami w przekroju I powyżej bystrza. Zależność prędkości maksymalnych od położenia przekroju badanego przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Zależność prędkości maksymalnych od położenia przekroju względem bystrza

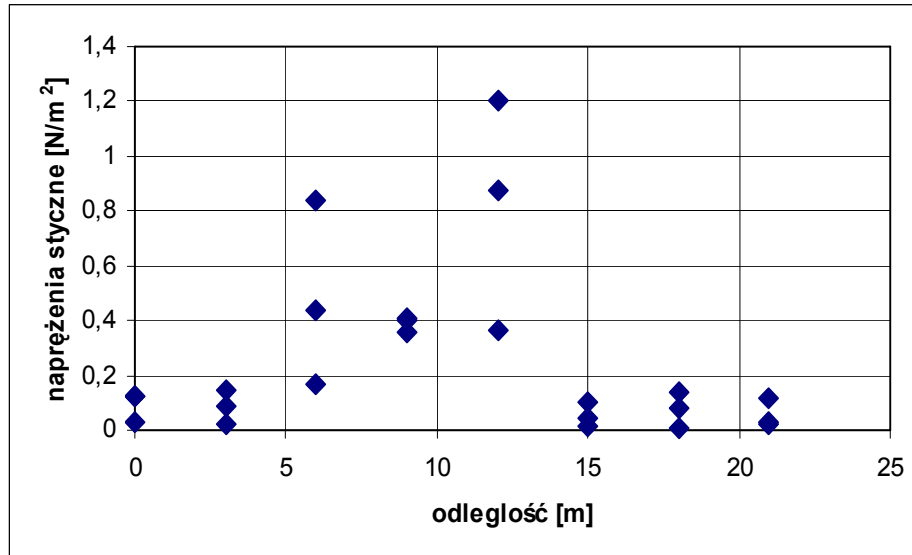
Można zauważyć, że prędkości maksymalne występują w odległości $L = 12$ m w przekroju V usytuowanym w środku bystrza. Od przekroju V następuje stałe zmniejszanie prędkości.

W przekroju VI na końcu bystrza prędkości maksymalne nie przekraczają wartości $0,6 \text{ m s}^{-1}$ (rys. 2).

Kolejno, zależność naprężeń stycznych od położenia przekroju względem bystrza przedstawiono na rysunku 3.

Analizując rysunek 2, można zauważyć, że naprężenia styczne zwiększają się w trakcie zbliżania się do przekroju III odległego o 6,0 m od początku bystrza. Największą wartość naprężeń stycznych zaobserwowano w środku bystrza w przekroju $V \tau = 1,2 \text{ N m}^{-2}$.

W przekroju VI naprężenia styczne zmniejszają się aż do wartości $\tau = 0,14 \text{ N m}^{-2}$.



Rysunek 3. Zależność naprężeń stycznych od położenia przekroju względem bystrza

W strefie oddziaływania bystrza powyżej i poniżej naprężenia styczne uzyskują wartości porównywalne. W przekroju I $\tau = 0,029 \text{ N m}^{-2}$, a w przekroju VIII $\tau = 0,024 \text{ N m}^{-2}$. Rozkład naprężeń świadczy o prawidłowej pracy bystrza i wystarczającym rozproszeniu energii przepływającego przez bystrze strumienia.

Jako ostatnią zależność przedstawiono zależność prędkości średnich od odległości (rys. 4).

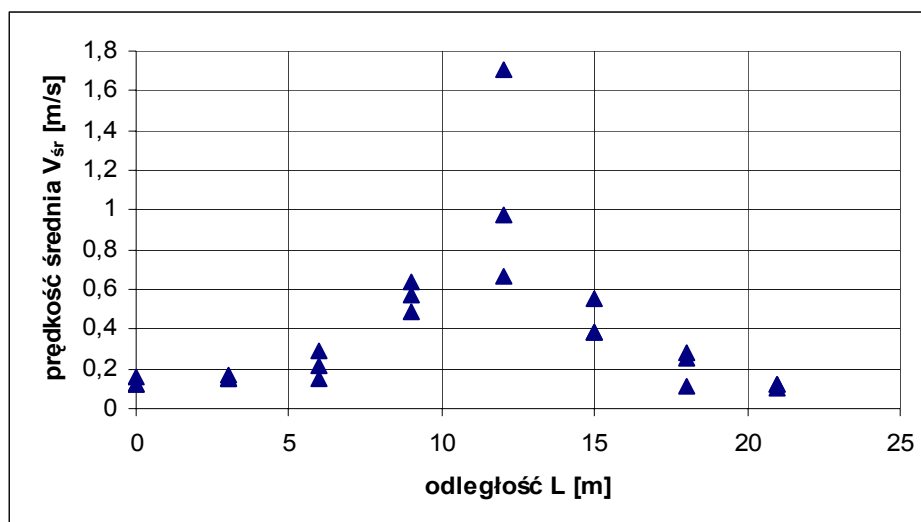
Z analizy rysunku 4 wynika, że największe prędkości średnie zlokalizowane są na bystrzu. W strefie oddziaływania bystrza prędkości średnie są porównywalne w przekroju I $v_{\text{sr}} = 0,122 \text{ m s}^{-1}$, a w przekroju VIII $v_{\text{sr}} = 0,121 \text{ m s}^{-1}$.

Jak wynika z tabeli 1 również prędkości dynamiczne V^* największą wartość uzyskują na bystrzu (przekrój V) $V^* = 0,0347 \text{ m s}^{-1}$. Najmniejsze i porównywalne prędkości dynamiczne występują w strefie oddziaływania bystrza, powyżej, przekrój I $V^* = 0,0054 \text{ m s}^{-1}$ poniżej w przekroju VIII $V^* = 0,0049 \text{ m s}^{-1}$.

Biorąc pod uwagę cały obszar objęty pomiarami zarówno największe prędkości maksymalne V_{max} , jak i największe naprężenia styczne τ oraz największe prędkości dynamiczne występują w przekroju V usytuowanym w odległości $L = 12 \text{ m}$ dokładnie w środku bystrza, w odległości 3,0 m od przelewu bystrza.

Taki rozkład prędkości ma istotne znaczenie dla stabilności samego bystrza, jak i koryta powyżej i poniżej bystrza. Prędkości od przelewu bystrza stopniowo zwiększają się aż do przekroju V, następnie zmniejszają się stopniowo do podnóża bystrza – przekrój VI. W przekroju poniżej bystrza (przekrój VI)

wartość prędkość zmniejsza się o 50% w stosunku do przekroju V. W ostatnim przekroju poniżej bystrza (przekrój VIII) zmniejszenie prędkości w porównaniu z przekrojem VI wynosi również 50%.



Rysunek 4. Zależność prędkości średniej od położenia przekroju względem bystrza

WNIOSKI

Problematyką bystrzy o zwiększonej szorstkości zajmowało się wielu autorów, do tej pory nie udało się jednak uzyskać kompleksowych rozwiązań dotyczących zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami bystrza, którymi są: długość, spadek, szerokość, wysokość bystrza, głębokość wody na bystrzu, wielkość kamieni oraz sposób ich ułożenia, układ zwierciadła wody na bystrzu i w strefie jego oddziaływania, wielkość rozmycia dna poniżej bystrza.

Obserwacje dotychczas wykonywanych bystrzy o zwiększonej szorstkości potwierdzają słuszność stosowania tego typu konstrukcji do regulacji potoków szczególnie tam, gdzie do dyspozycji jest dostateczna ilość kamienia naturalnego.

Ze względu na swe zalety bystrza o zwiększonej szorstkości wydają się być pozbawione wad spotykanych w dotychczasowych metodach regulacji. Poprawne funkcjonowanie bystrza może zapewnić tylko jego prawidłowe zaprojektowanie. Stosowane dotychczas metody projektowania bystrzy nie zawsze prowadzą do prawidłowego doboru parametrów.

Usprawnienie procesu projektowania bystrzy wymaga dokładnej znajomości wpływu bystrza na zjawiska hydrauliczne zachodzące w cieku.

Z przeprowadzonych badań terenowych dotyczących pomiarów prędkości na bystrzu i w strefie jego oddziaływania oraz ich analizy można wysnuć następujące wnioski:

- Największe prędkości maksymalne, prędkości średnie, prędkości dynamiczne, naprężenia styczne występują na bystrzu w połowie jego długości.
- Zmniejszenie prędkości maksymalnych, średnich, dynamicznych i naprężeń stycznych następuje na bystrzu, co świadczy o działaniu zwiększonej szorstkości bystrza.
- Prędkości maksymalne, średnie, dynamiczne i naprężenia styczne powyżej bystrza w odległości od przelewu 9,0 m oraz poniżej bystrza w odległości 6,0 m od stopy bystrza są porównywalne i niewielkie (niezagrożające stabilności bystrza) w porównaniu z występującymi na bystrzu, wnioski powyższe świadczą o prawidłowym działaniu bystrza i wystarczającej redukcji nadmiernej energii spowodowanej nagłym spadkiem dna.
- Warunki hydrauliczne przepływu w korycie powyżej bystrza są porównywalne z warunkami poniżej bystrza, a zwiększona energia nie zostaje przenoszona do koryta poniżej bystrza.
- Rozkład prędkości na bystrzu i w strefie jego oddziaływania jest prawidłowy.
- Z przedstawionych obliczeń wynika, że cel regulacji został osiągnięty przez zastosowanie odpowiedniego typu zabudowy.
- Dla uzyskania pełnej oceny należy przeprowadzić badania dla większej gamy przepływów.

BIBLIOGRAFIA

- Hartung F., Scheurlein H. *Design of overflow rock dams*. Beitrag no. 36, Talsperenkongres, Montreal 1970.
- Huta K. *Rozkład prędkości na bystrzu o zwiększonej szorstkości na przykładzie bystrza na potoku Sanoczek*. Praca magisterska. Akademia Rolnicza w Krakowie, 2006.
- Kajak Z. *Wody otwarte*. Ekologiczne podstawy gospodarowania środowiskiem przyrodniczym. *Wizje – problemy – trudności* 77. SGGW w Warszawie CPBP 04–10, 1991, s. 66–83.
- Kłonowska-Olejnik M., Radecki-Pawlik A., Skalski T. *Wybrane metody biologiczne w ocenie stanu ekosystemu uregulowanego cieku górskiego (potok Młynne, Gorce)*. XX Zjazd Hydrobiologów Polskich, 5–8 września 2006, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń (UMK), 2006, s. 124.
- Radecki-Pawlik A., Ślizowski R. *Bystrze o zwiększonej szorstkości jako element ekologicznej stabilizacji potoków górskich*. Przegląd Naukowy, SGGW, Warszawa 1998, 15, s. 153–162.
- Ratomski J. *Podstawy projektowania zabudowy potoków górskich*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2006.
- Ślizowski R. *Bystrze o zwiększonej szorstkości jako element zabudowy potoków górskich*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie. Rozprawa habilitacyjna nr 181, 1993.

- Ślizowski R., Radecki-Pawlik A. *Bystrze z kamienia naturalnego jako przykład nowoczesnej, ekologicznej budowli regulacyjnej w zlewniach rzecznych*. Przegląd Naukowy, SGGW, Warszawa 1998, 15, s. 162–170, poz. bibl. 7.
- Ślizowski R., Radecki-Pawlik A. *Distribution of maximum velocities and Froude numbers on a rapid hydraulic structure apron*. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities (EJPAU), 2000, 3, 1, s. 1–13, poz. bibl.14.
- Zasępa P., Kłównska-Olejniki M., Radecki-Pawlik A. *Wpływ wybranych zmian abiotycznych w rejonie łachy żwirowej potoku górskiego na mikrosiedliska makrobezkręgowców dennych*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, Kom. Techn. Inf. Wsi, PAN Oddz. w Krakowie, 2006, 4/2, s. 221–232.
- Żelazo J. *Badania prędkości i oporów przepływu w naturalnych korytach rzek nizinnych*. Rozprawy naukowe i monografie, Warszawa 1992, SGGW.
- Żelazo J., Popek Z. *Podstawy renaturyzacji rzek*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2002, s. 319.

Prof. dr hab. inż. Ryszard Ślizowski
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej

Prof. dr hab. inż. Artur Radecki-Pawlik
Katedra Inżynierii Wodnej
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Mgr inż. Krzysztof Huta
Przedsiębiorstwo Budowlane „Huta”, Odrzechowa

Recenzent: *Prof. dr hab. Jerzy Ratomski*