

*Wojciech Bartnik, Leszek Książek*

## **REGULACJA RZEK I POTOKÓW GÓRSKICH W WARUNKACH RÓWNOWAGI HYDRODYNAMICZNEJ**

---

### ***RIVER AND MOUNTAIN STREAMS TRAINING WORKS UNDER THE HYDRODYNAMIC BALANCE CONDITIONS***

#### **Streszczenie**

Gospodarcze wykorzystanie rzek i potoków spowodowało degradację równowagi ekologicznej i intensyfikację procesów morfologicznych, co na większości rzek i potoków doprowadziło do wystąpienia erozji i obniżenia ich dna. Zmiany te wymuszają podejmowanie działań zmierzających do stabilizacji dna i brzegów koryt rzecznych.

W pracy przeanalizowano dokumentację projektową regulacji pod kątem sprawdzenia czy podejmowane prace są wystarczające dla bezpiecznego przepuszczenia wód katastrofalnych i czy uwzględniają procesy morfologiczne kształtujące ich koryta. Wykonano obliczenia warunków przejścia fali powodziowej na kilku wybranych potokach górskich w różnych warunkach utrzymania ich koryt.

Stwierdzono, że pod względem hydraulicznym projektowane regulacje spełniają swoje zadania zapewniając wymaganą przepustowość koryta. Zachowanie projektowanej przepustowości wymaga ciągłych prac konserwacyjnych. Przy wymiarowaniu koryt z dnem stabilnym ograniczeniem jest szerokość doliny, która w terenie zurbanizowanym nie pozwala zaprojektować przekroju poprzecznego koryta o kształcie najkorzystniejszym z hydraulicznego punktu widzenia. W przypadku wymiarowania koryt z dnem ruchomym należy tak dobrać wymiary koryta regulacyjnego, aby nie nastąpiło zerwanie obrukowania dna cieku dla przepływu miarodajnego. Wylizanie warunków początku ruchu w sposób uproszczony prowadzi do przewymiarowania koryt. Powoduje to lokalną akumulację rumowiska dennego, a warunek równowagi hydrodynamicznej nie jest spełniony. Szacowanie składu granulometrycznego na podstawie formuł empirycznych powinno być zastąpione pomiarami bezpośrednimi, ponieważ na warunki początku ruchu rumowiska ma wpływ także wielkość rumowiska oraz jego kształt.

**Słowa kluczowe:** regulacja rzek, bezpieczeństwo powodziowe, równowaga hydrodynamiczna

### Summary

*Using rivers and mountain streams for economic purposes led to the loss of ecological balance and to the intensification of morphological processes, which in most cases caused erosion as well as the lowering of riverbed. Such changes have made stabilising the river bed and its banks necessary.*

*In our work, on the basis of the analysis of project documentation and the simulations of flood events on several mountain streams, we made an attempt to answer the question: are the river training works enough to let the catastrophic floods pass safely and do they take into account the morphological processes which have a formative influence on the riverbeds?*

*It has been proved that as far as hydraulic structures are concerned, the adjustments that are being planned comply with the requirement of ensuring the required capacity of the river channel. Maintaining the required capacity of the river channel creates the need for constant remedial works. When dimensioning cross-sections with stable bottoms, the width of the river valley is a serious limitation which, in urban environment, does not allow the engineers to design a cross-section of a river channel whose shape would be most efficient one. In case of river channels with moveable bottoms, the size of the river cross-section should be chosen so as not to entrain to the transport the armouring layer for normal flow. Simplified calculations of the initial conditions of bedload transport lead to overdimensioning of the river channel. This, in turn, leads to local accumulation of the bed material and the condition of hydrodynamic balance is not fulfilled. Moreover, the size and shape of individual grains influence the incipient motion of bedload transport. What follows is that the empirical formulae used for estimating the granulometric composition of the deposit should be replaced with direct measurements.*

**Key words:** river training, safety against floods, hydrodynamic balance

### WSTĘP

Przyczyną utraty naturalności rzek jest rozwój gospodarczy. Presję na środowisko dolin rzecznych wywierał rozwój rolnictwa, który oceniano ilością pozyskanych gruntów do produkcji rolnej, rozwijający się przemysł oraz rozrastające miasta, które wymagały większych dostaw wody [Żelazo, Popek 2002]. Z drugiej strony rozwój ten wymusza podejmowanie działań podnoszących bezpieczeństwo obszarów w sąsiedztwie cieków wodnych.

Rzeki Podkarpacia pogłębiły swoje koryta w poprzednim wieku od 2 m do 4 m (tab. 1), a w wyniku erozji wstecznej pogłębiają się również koryta ich dopływów. W latach 90. XX wieku można zauważyć pojawienie się impulsu erozji wgłębnej w wyniku zmian użytkowania zlewni. Problemami, z którymi współcześnie musimy się zmierzyć jest na przykład przesuszenie dolin rzecznych, brak ciągłości ekologicznej cieków, czy też zarządzanie ryzykiem powodziowym.

**Tabela 1.** Średnia wartość erozji dennej w wybranych przekrojach w XX wieku  
**Table 1.** The average value of erosion at selected cross-sections within 20<sup>th</sup> century

Rzeka River	Przekrój Cross-section	Wartość erozji dennej [m] The value of erosion [m]
Soła	Oświęcim	2,0
Skawa	Wadowice	2,5
Raba	Gdów	3,0
Dunajec	Żabno	2,5
Dunajec	Czchów	1,0
Wisłoka	Brzeźnica	3,0

Negatywnymi skutkami wcięcia się cieków widocznymi w skali lokalnej są:

- podmywanie budowli regulacyjnych, filarów mostów oraz wynurzenie brzegowych ujęć,
- nadmierne przesuszanie gruntów uprawnych w dnach dolin,
- obniżenie stanów wezbraniowych poniżej strefy korzeniowej, wysychanie starorzeczy, ubożenie roślinnych i zwierzęcych zbiorowisk nadrzecznych ekosystemów,
- zamarzanie wody do dna w okresie zimowym oraz wzrost temperatury wody w okresach upałów i związany z tym spadek zawartości tlenu w wodzie, wywołany zanikiem bieżącej wymiany pomiędzy wodami rzecznyymi i wodami krążącymi w aluwiach.

Nadrzędnym celem podejmowanych działań w dolinach rzek jest ochrona przeciwpowodziowa, ukierunkowana na zmniejszanie strat powodziowych. Podejmowana regulacja rzek i prace utrzymaniowe w korytach rzecznych mają za zadanie stabilizację koryt rzecznych, ale jednocześnie powinny zapewnić równowagę hydrodynamiczną cieku [Bojarski i in. 2005]. Wytworzenie lub odbudowa takich warunków w cieku następuje, gdy będzie on odprowadzał w dół swego biegu taką samą ilość rumowiska wleczonego, jaka jest dostarczana do danego przekroju doliny, a profil podłużny dna nie będzie podlegał procesowi akumulacji ani erozji.

Przebieg zmian morfodynamicznych podlega ocenie poprzez wyznaczenie wartości parametrów granicznych dla warunków zerwania obrukowania dna cieku, charakterystyki pokrywy dna szorstkiego, kształtu ziarna i charakteru zjawisk związanych z przejściem wód wezbraniowych. Ta ocena warunków przywrócenia równowagi hydrodynamicznej powinna być określona na podstawie wyznaczenia hydraulicznych parametrów przepływu wody i ruchu materiału dennego dla wartości granicznych, charakterystycznych dla materiału dennego rzeki lub potoku (tab. 2) [Bartnik, Florek 2000].

**Tabela 2.** Schemat hydrodynamicznej oceny potoku górskiego  
**Table 2.** Scheme of the mountain-stream hydrodynamic estimation

Ocena równowagi hydrodynamicznej rzek i potoków Mountain-stream hydrodynamic estimation				
1.	kształt ziaren grain shape	uzależnienie naprężeń bezwymiarowych od współczynnika kształtu ziaren dimensionless stresses dependence on the coefficient of grain shape		
2.	transport rumowiska bedload movement	transport całkowity rumowiska wleczonego jako suma transportów cząstkowych przy zmiennych naprężeniach granicznych, w funkcji odchylenia standardowego krzywej przesiewu total bedload movement as a sum of partial fraction movement during changing critical stresses and in a function of sieve curve standard deviation		
3.	warunki początku ruchu the beginning of the bedload movement	naprężenia graniczne critical shear stresses	Spadek graniczny Critical slope	Głębokość graniczna Critical depth
4.	prognoza procesów obrukowania presumable armouring layer	prawdopodobieństwo nie ruszenia się ziaren w zależności od nadwyżki siły wleczenia jako funkcja naprężeń granicznych do naprężeń normalnych the probability of no movement of grains connected with drag force surplus as a function of critical stresses to normal stresses relation		
5.	ocena równowagi hydrodynamicznej hydrodynamic balance estimation	przepływ zrywający obrukowanie większy od przepływu miarodajnego: stan stabilizacji flow which entrains to the transport armouring layer exceeds normal flow: hydrodynamic equilibrium	Przepływ zrywający obrukowanie mniejszy od przepływu miarodajnego: erozja wgłębna Flow which entrains to the transport armouring layer lower than the normal flow: Erosion	

Szczegółowo ocena ta pozwala na scharakteryzowanie odcinków profilu podłużnego ciekę z przewagą transportu rumowiska i erozji wgłębnej, odcinków w równowadze pomiędzy dostawą a odprowadzeniem i wreszcie odcinków ciekę o przewadze akumulacji rumowiska.

Wykonana zabudowa hydrotechniczna może podlegać ocenie pod kątem przepustowości, zachowania równowagi hydrodynamicznej ciekę (fot. 1 – brak równowagi hydrodynamicznej), ciągłości korytarza ekologicznego czy walorów przyrodniczych.

Odpowiedź na pytanie, czy podejmowane prace regulacyjne, mające na celu bezpieczne przepuszczenie wód katastrofalnych, zmierzają do zachowania równowagi hydrodynamicznej dna koryt rzecznych, staje się przejawem dbałości o środowisko dolin rzecznych.



**Fotografia 1.** Uszkodzone umocnienie brzegu, potok Wyskitnianka, 2007 r.  
**Picture 1.** The bank protection failure, the Wyskitnianka stream, 2007

### OCENA PRZEPUSTOWOŚCI KORYT RZECZNYCH

Zabudowa koryta potoku Stradomka pomiędzy km 7+160 a km 8+800 polegała na likwidacji osuwisk skarp i nasypów oraz przeciwdziałaniu erozji dennej i brzegowej. Były to prace regulacyjne, które można określić jako likwidacja skutków powodzi. W ramach tych prac nadano rzece nowy bieg, zasypując jednocześnie starorzecze, wykonano gurty stabilizacyjne oraz opaski faszynowo-kamienne, podwyższono brzegi [Projekt 2002]. Obliczenia koryta regulacyjnego wykonano dla przepływu miarodajnego  $Q_m = Q_{50\%}$ .

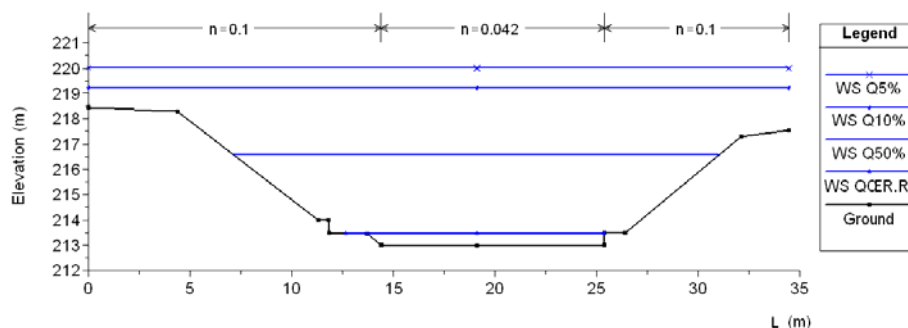
W celu określenia wpływu zarastania koryt rzecznych roślinnością sztywną i brakiem konserwacji oraz transportu rumowiska wleczonego na konfigurację dna przeprowadzono obliczenia dla przepływów: średniego rocznego  $Q_{\text{śr.}}$  oraz o prawdopodobieństwie wystąpienia  $Q_{50\%}$ ,  $Q_{10\%}$  i  $Q_{5\%}$  dla trzech przypadków:

Przypadek 1 – stan zerowy: koryto regulacyjne,  $n = 0,027$ , tereny zalewowe  $n = 0,06$ ,

Przypadek 2 – brak konserwacji: koryto główne,  $n = 0,042$ , tereny przybrzeżne,  $n = 0,1$ ,

Przypadek 3 – zmiana przekrojów w wyniku transportu rumowiska,  $n = 0,035$  i  $n = 0,06$ .

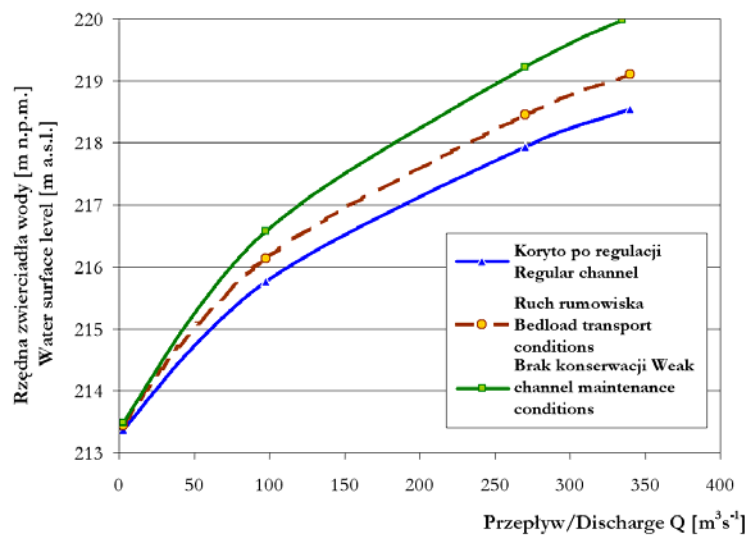
Rysunek 1 przedstawia obliczone poziomy zwierciadła wody w przekroju km 7+715 na potoku Stradomka dla różnych przepływów dla przypadku 2. Przepustowość koryta jest wystarczająca do bezpiecznego przepuszczenia przepływu miarodajnego  $Q_m = Q_{50\%}$ , natomiast poziom zwierciadła wody przy przepływie, np.  $Q_{10\%}$  przewyższa brzeg prawy o 1,6 m.



**Rysunek 1.** Poziom zwierciadła wody dla różnych przepływów  $Q_{\%}$ , km 7+715 – przypadek 2

**Figure 1.** The water surface elevation for discharges  $Q_{\%}$ , km 7+715 – run 2

Na rysunku 2 przedstawiono krzywe konsumpcyjne w omawianym przekroju poprzecznym. W wyniku zmian warunków utrzymania koryta regulacyjnego następuje zmiana jego przepustowości. Nie tylko zarastanie koryta roślinnością i brak konserwacji powoduje podniesienie się poziomu zwierciadła wody, ale także zmiana ukształtowania dna wywołana transportem rumowiska dennego.



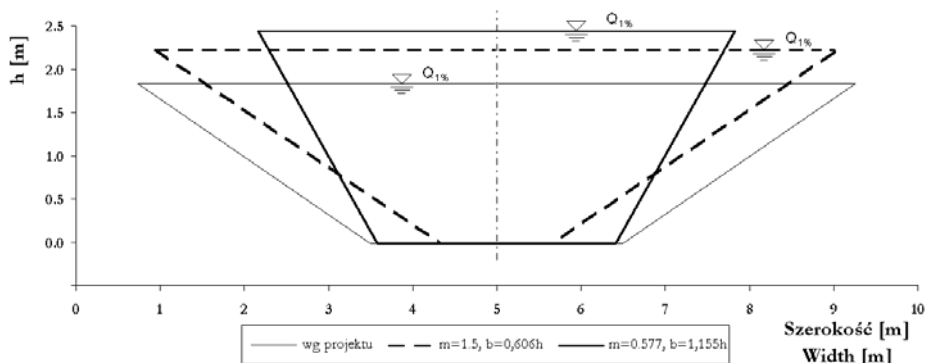
**Rysunek 2.** Krzywe konsumpcyjne dla różnych warunków utrzymania koryta, km 7+715

**Figure 2.** The rating curves for different channel maintenance conditions, km 7+715

### WYMIAROWANIE KORYT Z DNEM STABILNYM

Wymiarowanie koryt z dnem stabilnym nie stanowi zasadniczo problemu, a dostępne materiały pozwalają na wyznaczenie bystrotoku betonowego z okładziną kamienną o dowolnych kształtach. Najczęstszym ograniczeniem jest szerokość doliny. Wcięte koryta i brak terenów zalewowych na obszarach zurbanizowanych nie pozwalają zaprojektować przekroju poprzecznego koryta o hydraulicznie najkorzystniejszym kształcie.

Przykładem takiej sytuacji może być potok Uzwica w miejscowości Rajbrot. W ramach usuwania skutków powodzi w 1997 r. wykonano obudowę potoku typu żłobowego z elementów prefabrykowanych typu PP. Obudowę pełną wykonano do wysokości odpowiadającej napełnieniu przy przepływie miarodajnym  $Q_m = Q_{50\%}$  [Projekt 1998]. Ze względu na ukształtowanie doliny rzecznej nie było możliwe zaprojektowanie hydraulicznie najkorzystniejszego kształtu przekroju [Lewandowski 2006], a takie rozwiązanie pozwoliłoby skrócić długość umocnienia dna i brzegów o ok. 1,3 m (obwód zwilżony 9,5 m i 8,3 m) dla  $Q_{1\%}$  (rys. 2). Linia przerywaną wykreślono kształt przekroju przy zachowaniu takiego samego nachylenia skarp, jak koryta regulacyjnego  $m = 1,5$ , natomiast linią ciągłą pogrubioną przekroju hydraulicznie najkorzystniejszego dla kąta nachylenia skarp  $\alpha = 60^\circ$  ( $m = 0,577$ ,  $b = 1,155h$ ).



**Rysunek 3.** Kształt przekrojów: regulacyjnego oraz hydraulicznie najkorzystniejszego  
**Figure 3.** The shape of cross-sections: the river regulating one and the most efficient one

### WYMIAROWANIE KORYT Z DNEM RUCHOMYM

W przypadku wymiarowania koryt z dnem ruchomym, należy tak dobrać wymiary koryta regulacyjnego, aby dla zadanych warunków przepływu warunki początku ruchu rumowiska nie zostały przekroczone. Do określenia, przy jakim reżimie przepływu nie będzie transportu rumowiska wytyczne [Ratomski 2000] zalecają wykorzystywać prędkość dopuszczalną i naprężenia dopuszczalne wyliczane w sposób uproszczony. Badania wskazują, że na warunki początku ruchu rumowiska ma wpływ nie tylko reżim przepływu, ale także wielkość rumowiska oraz jego kształt.

Zgodnie z wytycznymi średnia prędkość przepływu w przekroju regulacyjnym wyliczona jest ze wzoru Chezy'ego, a prędkość dopuszczalna z zależności [Bartnik, Strużyński 2002]:

$$v_{dop.} = 8,7 \cdot d_m^{1/2} \cdot R^{1/6} \quad (1)$$

Wzory na siłę unoszenia  $\tau_0$  oraz dopuszczalną siłę unoszenia  $\tau_{dop.}$  [ $N \cdot m^{-2}$ ] mają postać:

$$\tau_0 = \gamma_w \cdot R_h \cdot I \quad (2)$$

$$\tau_{dop.} = \left( \frac{8,7}{k} \right)^2 \cdot d_m \cdot \gamma_w \quad (3)$$

Do obliczeń prędkości przepływu przeprowadzonych w Katedrze Inżynierii Wodnej AR (KIW AR) wykorzystano program HEC-RAS. W obliczeniach przepływu ustalonego bazuje on na 1D równaniu zachowania energii (równanie Bernoullie'go), w którym opory ruchu liczone są ze wzoru Manninga. Normalne naprężenia styczne  $\tau_0$  obliczono z równania (2), a graniczne naprężenia styczne  $\tau_{gr}$  z zależności:

$$\tau_{gr} = f_m \cdot d_m \cdot \Delta\gamma_s \quad (4)$$

gdzie:  $f_m$  – bezwymiarowe naprężenia styczne dla średnicy miarodajnej. Na podstawie pomiarów radioznaczniowych prowadzonych w KIW AR uzyskano  $f_m = 0,033$  [Michalik 2000; Bartnik, Michalik 2000]. Bezwymiarowe naprężenia styczne można uzyskać też, bazując na odchyleniu standardowym krzywej przesiewu  $\delta = (d_{86}/d_{14})^{0,5}$ . W takim przypadku otrzymujemy wartość  $f_m$  osobno dla frakcji drobnych i grubych:

$$f_m = 0.039 \cdot \delta^{0,26} \quad \text{dla } d_i \cdot d_m^{-1} < 0.6 \quad (5.1)$$

$$f_m = 0.028 \cdot \delta^{0,26} \quad \text{dla } d_i \cdot d_m^{-1} \geq 0.6 \quad (5.2)$$



W tabeli 3 zamieszczono obliczenia wartości parametrów odpowiadające warunkom początku ruchu rumowiska zgodnie z procedurą zawartą w wytycznych oraz przeprowadzonych w KIW AR. Obliczenia dynamiki cieczy wg KIW AR pozwalają na wyznaczenie zarówno prędkości średniej w korycie, jak i osobno prędkości w korycie głównym i terenach zalewowych, prawym i lewym. Podobnie z naprężeniami stycznymi, które dotyczą tylko koryta głównego. Wartości w tabeli 3 są to minimalne i maksymalne wartości występujące na odcinku 800 m.

Zgodnie z wytycznymi obydwie parametry użyte do oceny warunków równowagi dna, prędkość dopuszczalna oraz dopuszczalna siła unoszenia wykazują, że warunki początku ruchu nie zostały przekroczone. Takie podejście jest podejściem uproszczonym. Szczegółowa analiza wskazuje, że przy zadanych parametrach koryta regulacyjnego i zadanym przepływie miarodajnym odpowiadającym wodzie  $Q_{50\%}$  należy się spodziewać ruchu rumowiska  $\tau_0 > \tau_{gr}$ .

**Tabela 3.** Parametry początku ruchu rumowiska obliczone różnymi metodami  
**Table 3.** The initial values of bedload transport calculated with the use of different methods

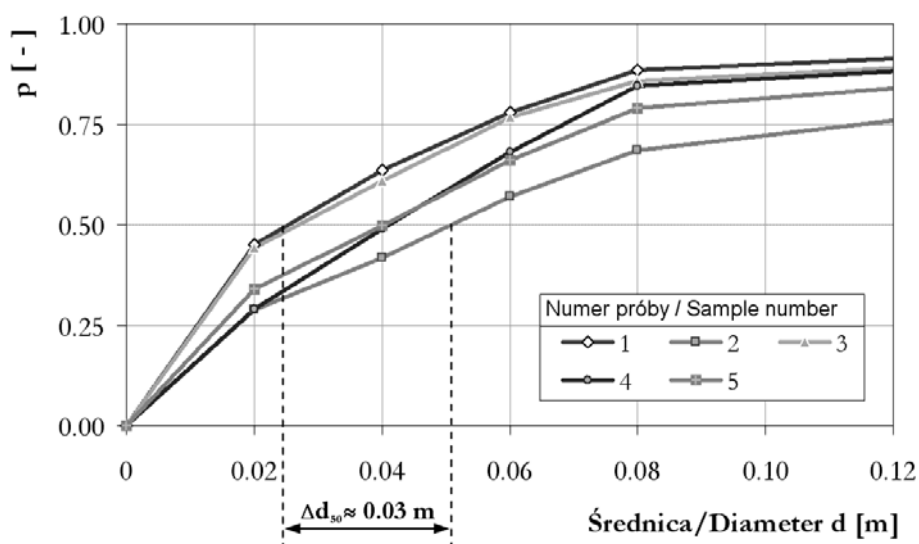
Parametr Variables	Wytyczne Instructions	Obliczenia przeprowadzone w KIW AR Calculations performed at Dept. of Water Engineering	
prędkość przepływu ( $q_{50\%}$ ) flow velocity ( $q_{50\%}$ )	$v_o = 1,64 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ $v_{dop} = 1,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; ( $b = 20 \text{ m}$ , $I = 1\text{‰}$ )  $v_o < v_{dop}$	$v_{sr} = 1,82 \div 2,14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (whole cross-section)	$v_{gr} = 2,09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ wg Dębskiego,
		$v_{sr} = 2,39 \div 2,88 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (main channel)	$v_{gr} = 2,08 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ wg MP
naprężenia styczne – siła unoszenia ( $q_{50\%}$ ) shear stress – drag force ( $q_{50\%}$ )	$\tau_0 = 19,4 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$ $d_m = 0,029 \text{ m}$ $\tau_{dop} = 19,6 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$  $\tau_0 < \tau_{dop}$ .	$\tau_0 = 28,6 \div 42,2 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$	$d_m = 0,029 \text{ m}$ , $f_m = 0,033$ $\tau_{gr} = 15,5 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$
		$\tau_0 > \tau_{gr}$	

Badania wskazują, że na warunki początku ruchu rumowiska ma wpływ, nie tylko reżim przepływu, ale także wielkość rumowiska oraz jego kształt. Przykładowo, w zależności od kształtu ziaren wartości naprężeń krytycznych wynoszą:

$d_{84} = 0,058 \text{ m}$	ziarna kuliste $f_m = 0,047$	$\tau_{gr} = 41,1 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$ ,
	ziarna elipsoidalne $f_m = 0,030$	$\tau_{gr} = 28,2 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$ ,
	ziarna płaskie $f_m = 0,020$	$\tau_{gr} = 18,8 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Z tego względu szacowanie składu granulometrycznego na podstawie formuł empirycznych powinno być zastąpione pomiarami terenowymi. Zalecany w wytycznych wzór został wyprowadzony przy założeniu, że wielkość rumowiska na danym odcinku cieką zależy od mocy strumienia wody, jako czynnika powodującego erozję  $d_{50} = f(J, A, q, Q_{50\%})$  [Ratomski 2000]. Działalność człowieka w zlewni [Książek, Michalik 2005] zaburza tę zależność dlatego określanie charakterystyk rumowiska powinno być dokonywane w bezpośrednich badaniach składu granulometrycznego rumowiska.

Rysunek 4 przedstawia krzywe przesiewu rumowiska pobranego na odcinku potoku Targaniczanka, którego długość wynosi 215 m. Miejsce poboru próby 1 zlokalizowane było w km 2+685, a próby 5 w km 2+470. Odcinek ten znajduje się w terenie zurbanizowanym i podlega silnym przeobrażeniom, dlatego w zależności od miejsca poboru próby – bystrze, odsypisko, nurt – różnice średnic  $d_{50}$  i  $d_m$  dochodzą do 0,03 m, a odchylenie standardowe zmienia swoje wartości w zakresie  $\delta = 2,7-3,7$  [Książek, Szkaradek 2006].



**Rysunek 4.** Krzywe granulometryczna uziarnienia dennego na odcinku o długości 215 m, Targaniczanka, 2004 r.

**Figure 4.** Grain size distributions at research reach on the distance of 215 m, Targaniczanka, 2004

Efektom procesów morfologicznych w rzekach i potokach jest transport rumowiska wleczonego. Na większości rzek i potoków mamy do czynienia z erozją, która doprowadziła do obniżenia dna głównych dopływów Wisły o kilka metrów. Podobne procesy zaobserwowano w rzekach i potokach w Ma-

łopolsce. Rumowisko jest transportowane zarówno w dół cieku, jak i w poprzek koryta. Spiralny ruch wody na zakolach powoduje przesuwanie rumowiska i odsypywanie w formie łach na brzegu wypukłym. Na terenach zalewowych umacnianie brzegu wypukłego należy wykonywać tylko w uzasadnionych przypadkach. Umocnienie obydwu brzegów na zakolach nie zwiększa bezpieczeństwa powodziowego.

## WNIOSKI

Stwierdzono, że:

– pod względem hydraulicznym projektowane regulacje spełniają swoje zadania, zapewniając wymaganą przepustowość koryta. Zachowanie projektowanej przepustowości koryta wymaga jednak okresowych prac konserwacyjnych. Stabilne łachy w ciągu kilku sezonów wegetacyjnych pokrywają się roślinnością miękką, następnie sztywną. Konsekwencją takich procesów jest zwiększenie oporów ruchu, a tym samym dochodzi na tych terenach do nadpiętrzenia zwierciadła wody na skutek zmiany warunków przepływu,

– na terenach zalewowych umacnianie brzegu wypukłego należy wykonywać tylko w uzasadnionych przypadkach. Umocnienie obydwu brzegów na zakolach nie zwiększa przepustowości koryta – bowiem na brzegu wypukłym obserwuje się łachy żwirowo-piaszczyste, a więc sedymentację materiału,

– wymiarowanie koryt z dnem stabilnym nie stanowi zasadniczo problemu. Najczęstszym ograniczeniem jest szerokość doliny. Bardzo głęboko wcięte koryta i brak terenów zalewowych na obszarach zurbanizowanych nie pozwalają zaprojektować przekroju poprzecznego koryta o kształcie najkorzystniejszym z hydraulicznego punktu widzenia, np. dla projektu bystrotoku z okładziną kamienną,

– w przypadku wymiarowania koryt z dnem ruchomym, należy tak dobrać wymiary koryta regulacyjnego, aby nie nastąpiło zerwanie obrukowania dna cieku. Do określenia, przy jakim reżimie przepływu nie będzie transportu rumowiska, wytyczne zalecają wykorzystywać prędkość dopuszczalną i naprężenia dopuszczalne, wyliczane w sposób uproszczony. Jest to jednak podejście prowadzące do przewymiarowania koryt. Lokalnie powoduje to akumulację rumowiska dennego, a warunek równowagi hydrodynamicznej nie jest spełniony. Badania wskazują, że na warunki początku ruchu rumowiska ma wpływ nie tylko reżim przepływu, ale także wielkość rumowiska oraz jego kształt. Z tego względu szacowanie składu granulometrycznego na podstawie formuł empirycznych powinno być zastąpione pomiarami bezpośrednimi.

Przedstawiona ocena bazuje tylko na kilku wybranych przykładach, ale daje podstawę do stwierdzenia, że przyjęte kierunki zastosowania budowli regulacyjnych do stabilizacji dna i brzegów są poprawne i mogą zatrzymać nieko-

rzystne tendencje związane z obniżaniem się dna rzek i potoków oraz zapewnić bezpieczne przepuszczenie wód katastrofalnych. Błędy w ocenie równowagi hydrodynamicznej bazują przede wszystkim na nieprawidłowym określaniu granicznych warunków ruchu rumowiska rzecznoego, dlatego projekt techniczny powinien analizować warunki równowagi w danym profilu podłużnym regulowanego cieku.

Materiały archiwalne udostępnione zostały przez Małopolski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych (MZMiUW) w Krakowie.

### BIBLIOGRAFIA

- Bartnik W. Florek J. *Ocena warunków równowagi hydrodynamicznej potoku górskiego na podstawie analizy hydraulicznych parametrów przepływu*, Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 20, 2000, s. 163–176.
- Bartnik W. Michalik A. *Rozwój badań ruchu rumowiska wlezonego i ich praktyczna weryfikacja*, Wyd. IBW PAN, ser. SH XX, 2000, s. 19–37.
- Bartnik W. Strużyński A. *Przyczyny zniszczenia budowli regulacyjnych na cieku w dorzeczu Górnej Wisły*, Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, ser. Konf. XXXV, 437, 2002, s. 21–30.
- Bojarski A. Jeleński J. Jelonek M. Litewka T. Wyżga B. Zalewski J. *Zasady dobrej praktyki w utrzymaniu rzek i potoków górskich*, Min. Środ. Dept. Zas. Wodn., Warszawa 2005.
- Książek L. Michalik A. *Degradacja koryt rzecznych jako skutek działalności człowieka*, Typologia i Warunki Referencyjne Wód Powierzchniowych, Wyd. IMGW w Warszawie, 2005, s. 121–131.
- Książek L. Szkaradek D. *Określenie warunków przepuszczenia wód katastrofalnych na zagrożonym odcinku potoku Targaniczanka*, Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Seria Inż. Środ. XV, Nr 534, 2006, s. 165–174.
- Lewandowski J. B. *Mechanika płynów*, Wyd. Akademii Rolniczej w Poznaniu, 2006.
- Michalik A. *Bedload transport in mountain rivers – measurements and results*, Zesz. Nauk. AR Wrocław, nr 382, 2000, s. 41–58.
- Projekt usuwania szkód powodziowych i zabezpieczenia przeciwpowodziowego, rzeka Uszwica*, MZMiUW, Kraków 1998.
- Projekt usuwania szkód powodziowych: zabudowa koryta rzeki Stradomki*, MZMiUW RO w Tarnowie, 2002.
- Ratomski J. *Podstawy projektowania zabudowy potoków górskich*. Politechnika Krakowska, 2000.
- Żelazo J. Poppek Z. *Podstawy renaturyzacji rzek*, Wyd. SGGW, Warszawa, 2002.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Bartnik  
Dr inż. Leszek Książek  
Katedra Inżynierii Wodnej, AR w Krakowie  
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków  
tel. (012) 662-40-23, rmksiaze@cyf-kr.edu.pl

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Parzonka