

*Artur Radecki-Pawlik, Mariusz Tyrka,
Bartosz Radecki-Pawlik, Patrycja Zasepa*

WYZNACZENIE WIELKOŚCI PRZEPIŁYU BRZEGOWEGO W DWÓCH ZRÓŻNICOWANYCH ZLEWNIACH GÓRSKICH

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące określenia wartości przepływu brzegowego Q_b dla dwu wybranych rzek górskich: Raby oraz Kamienicy. Przedstawiono również opis wybranych metod obliczania przepływu brzegowego Q_b : metodę Williamsa, Woodyera, Wołoszyna, Riley, Pickupa-Warnera, Wollmana oraz Warnera, Schumma i Browna. Na podstawie analizy wyników obliczeń stwierdzono, między innymi, że do obliczeń przepływu brzegowego Q_b nie musimy posiadać obserwacji wodowskazowych, a wystarczą wyłącznie obserwacje i pomiary przeprowadzone punktowo. Ciek, na którym prowadzimy inwestycję hydrotechniczną, może być niekontrolowany. Jednocześnie znajomość wartości przepływu brzegowego dla projektanta z branży hydrotechnicznej stanowi wskazówkę o wielkości wody wpływającej istotnie na kształtowanie się koryta ciek. Wreszcie, zauważono, że przepływ brzegowy silnie kształtuje siedliska roślinne w korycie oraz na brzegach ciek. W związku z tym korytach rzek naturalnych wskazane byłoby określenie wartości przepływu brzegowego przed każdą inwestycją metodą Woodyera. Archiwizacja tych danych może posłużyć w przyszłości do podejmowanych prób renaturalizacji tych i podobnych cieków. Badania zrealizowano dla dwóch różnych morfologicznie odcinków rzecznych: częściowo uregulowanego oraz będącego w stanie naturalnym. Badane zlewnie znajdują się na terenie Karpat.

Słowa kluczowe: przepływ brzegowy, potok górski

WSTĘP

W literaturze spotykamy różne definicje przepływu brzegowego Q_b . Lambor [1971] określa Q_b jako przepływ występujący pomiędzy stanem średnim rocznym a średnim wielkim. Podobną definicję podają Brzeziński i Ozga-Zielińska [1997]. Wołoszyn i in. [1994] definiują stan wody brzegowej jako stan wypełniający główne koryto rzeki do krawędzi brzegów. Powyżej tego stanu woda występuje z koryta i zalewa teren doliny rzecznej. Podobną definicję podali Woodyear [1968], Prins i De Vries [1971] i Williams [1978]. Niektórzy badacze [Leopold i in. 1964; Marlette i Walker 1968], określając poziom wody brzegowej, opierają się głównie na względnej częstotliwości wylewu. Według Nixona [1959] i Williamsa [1978] przepływ brzegowy nie ma wspólnej częstotliwości powtarzania się i powinien być wyznaczany do poziomu obejmującego obszar zalewowy. Wolman [1955] zaproponował wyznaczenie wysokości wody brzegowej na poziomie, na którym proporcja szerokości kanału do jego głębokości osiąga wartość minimalną. Według Rileya [1972] wartość liczbowa przepływu brzegowego wyznaczona na podstawie definicji Wolmana jest poprawna w przypadku koryt o kształtach prostokątnych, natomiast niedostatecznie dokładna dla przekrojów z łagodnie pochylonymi brzegami. Shumm [1969], Bray [1975] oraz Pickup i Warner [1976] definiują przepływ brzegowy na podstawie wzoru Gaucklera-Manninga, który uwzględnia powierzchnię przekroju poprzecznego koryta, szerokość zwierciadła wody oraz spadek jej zwierciadła w przekroju. Jednym z ciekawszych sposobów wyznaczenia stanu brzegowego jest określenie jego wartości za pomocą wskaźników roślinnych. Na podstawie analizy występowania roślinności w korycie cieków Woodyer [1968] uznał, że rodzaj roślinności na poszczególnych tarasach brzegów ma związek z przepływami wód o określonym prawdopodobieństwie występowania. Na podstawie badań terenowych i obliczeń przepływu brzegowego różnymi metodami Radecki-Pawlik [2002, 2003] stwierdził, że pomimo rozlicznych definicji przepływu brzegowego i propozycji jego obliczenia, wartość Q_b nie jest określona jednoznacznie i należy jej raczej poszukiwać w przedziale przepływów wyznaczonych jako brzegowe za pomocą różnych metod empirycznych, niżli jako jednej wartości narzuconej wybraną metodą.

Znajomość wielkości przepływu brzegowego umożliwia ułatwienie prowadzenia prac inżynierskich w korytach cieków, które nie są objęte obserwacjami stanów wody lub gdzie wodowskaz jest w znacznej

odległości od prowadzonych inwestycji. W obecnej chwili projektant jest zobligowany przyjąć do obliczeń przepływ o określonym prawdopodobieństwie pojawienia się. W wielu wypadkach tak wyznaczony przepływ może okazać się niewystarczający lub wątpliwy do poprawnego zdefiniowania warunków hydrologicznych występujących w rzeczywistości. Mając do dyspozycji dwie wartości Q_b : pierwszą obliczoną metodami pośrednimi opartymi na danych dotyczących opadów i powierzchni zlewni, drugą, która obejmuje budowę geomorfologiczną lub warunki przyrodnicze, projektant może łatwiej decydować o doborze rzeczywistego przepływu miarodajnego. Rzeczywisty przepływ miarodajny powinien uwzględniać procesy korytotwórcze, które są wypadkową transportu rumowiska rzeczno i częstości przepływów, oraz uwzględniać procesy biologiczne i hydrobiologiczne, w skład których wchodzi oddziaływanie zwrotne flory i fauny na biotop (w tym wypadku rzekę). Przepływ brzegowy Q_b mógłby być dla praktyków przepływem wspomagającym podejmowanie decyzji: czy obliczony przepływ miarodajny metodami stochastycznymi (opartymi na rachunku prawdopodobieństwa) jest przepływem o wartości realnej, czyli takiej, która faktycznie pokazuje sytuację podczas fali wezbrania w przekroju obliczeniowym.

Celem niniejszej pracy jest obliczenie wartości przepływu brzegowego dla dwóch cieków południowej Polski: Raby oraz Kamienicy za pomocą różnych formuł empirycznych oraz porównanie wyników uzyskanych za pośrednictwem poszczególnych metod.

MATERIAŁY I METODY

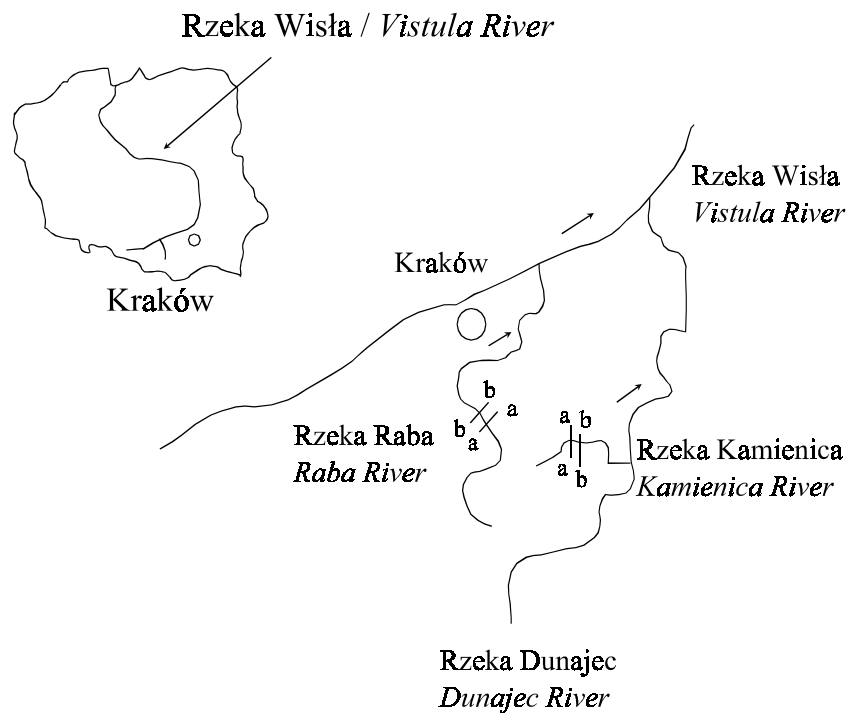
Opis badanych zlewni

Badania terenowe zostały przeprowadzone w wybranych przekrojach obliczeniowych dwóch rzek: Raby i Kamienicy. Raba jest prawostronnym, karpackim dopływem Wisły. Źródła jej znajdują się na zachodnim stoku grzbietu Obidowej w Górcach, na wysokości ok. 785 m n.p.m. Na 135 km biegu w okolicy Uścia Solnego Raba wpada do Wisły.

Kamienica jest lewostronnym dopływem Dunajca. Jej źródła znajdują się na północnym stoku Turbacza w Górcach, na wysokości ok. 1220 m n.p.m. Po przepłynięciu 32 km uchodzi do Dunajca powyżej Łącka. Obszar dorzeczy tych rzek leży w geomorfologicznej prowincji Karpat, podprowincji Karpat Zachodnich. Teren pomiarów

zaliczamy do Beskidu Wyspowego. Przekroje badawcze na Rapie zlokalizowane są 0,7 km powyżej miejscowości Lubień. Przekroje pomiarowe na Kamienicy znajdują się na Przełęczy Przysłop. W tym miejscu rzeka skręca ku północy, opuszczając Gorce, a wbija się w Beskid Wyspowy.

Położenie badawczych przekrojów pomiarowych ilustruje rysunek 1.



Rysunek 1. Usytuowanie przekrojów pomiarowych w badanych zlewniach
Figure 1. Localisation of investigated streams and the research cross-sections

Zlewnie rzek do badanych przekrojów pomiarowych mieszczą się w obszarze Karpat fliszowych zewnętrznych. Główne jednostki strukturalne zachodnich Karpat fliszowych stanowią płaszczowiny zbudowane niemal wyłącznie ze skał fliszowych: iłowców, mułowców, piaskowców i zlepieńców [Stupnicka 1989]. Płynąc ze zboczy w Gorcach, rzeki przecinają płaszczowinę magurską. Podłoże skalne prawie całe-

go górskiego obszaru zlewni, z wyjątkiem rejonu okna tektonicznego obejmującego dolną i środkową część zlewni rzeki Mszanki, budują piaskowcowe – łupkowe utwory serii magurskiej i warstw podmagurskich. W obrębie zlewni Raby i Kamienicy w warstwach magurskich przeważają twarde gruboławicowe, średnioziarniste piaskowce o spoiwie ilasto-wapnistym lub ilastym. Piaskowce te są w górnych poziomach dość głęboko odwapnione (około 2 m), przez co stają się kruche i łatwo rozdzielają się na płyty o różnej grubości. Budują one przede wszystkim wyższe wzniesienia. Słabo wapniste, drobnoziarniste glaukonitowe piaskowce magurskie o spoiwie najczęściej ilastym lub ilasto-krzemionkowym, występują jedynie w dolnej części górskiej zlewni Raby od miejscowości Lubień (zlewnia potoków Krzczonówka, Trzebunia). Piaskowce tego typu rozpadają się raczej na prostopadłościany. Warstwy magurskie poprzedzielane są różnej grubości ławicami szarzielonych ilastych, pylastych lub marglistych łupków. Znaczny udział łatwiej wietrzejących łupków czy zlepieńców zaznacza się w krajobrazie obniżeniami [Bienias 1994].

Szczegółowa metodyka obliczeń przepływu brzegowego

Metoda Wołoszyna

Zgodnie z definicją Wołoszyna [Wołoszyn i in. 1994], poziom wody brzegowej powinien być wyznaczony do krawędzi brzegu, powyżej której następuje zalew doliny rzecznej. Ważne jest właściwe wyznaczenie ostatniego tarasu zalewowego na podstawie wykonanych w terenie przekrojów poprzecznych oraz znajomości warunków lokalnych cieku. Pomocna może okazać się także dokumentacja fotograficzna poszczególnych przekrojów pomiarowych. Powierzchnię przekroju poprzecznego ograniczoną wyznaczonym poziomem wody brzegowej oblicza się metodami analitycznymi, wykorzystując współrzędne punktów pomiarowych. Wartości liczbowej przepływu brzegowego odpowiada iloczyn pola powierzchni przekroju i prędkości wody przy danym napełnieniu. Prędkość wody oblicza się na podstawie znajomości promienia hydraulicznego, współczynnika szorstkości i spadku hydraulicznego dna cieku. Do obliczania przepływu w korytach otwartych używa się typowych wzorów hydraulicznych.

Metoda Wollmana

Metoda ta bazuje na określeniu parametrów morfometrycznych koryta ciek. Poziom wody brzegowej wyznaczany jest w miejscu gdzie wartość liczbową ciągu R_w który reprezentuje stosunek szerokości koryta ciek W_i do głębokości D_i osiąga wartość minimalną:

$$R_w = \frac{W_i}{D_i} \quad [-] \quad i = 1, 2, 3, \dots, n-1$$

gdzie (oznaczenia jak w oryginale Wollmana): R_w – ciąg liczbowy [-], W_i – szerokość koryta odpowiadająca danej głębokości [m], D_i – głębokość wody [m].

Według Wollmana [1955], wstawiając kolejne wartości głębokości kanału w odstępach nie większych niż 1 m i odpowiadające im szerokości koryta, otrzymujemy ciąg liczb, z których jedna osiąga wartość najmniejszą. Ta minimalna wartość wyznacza poziom wody brzegowej, której odpowiada określona głębokość wody wypełniającej koryto. Odstęp pomiędzy kolejnymi wartościami głębokości powinien być ustalony na podstawie znajomości warunków terenowych. Przepływ brzegowy obliczamy jak w metodzie Wołoszyna na podstawie parametrów geometrycznych koryta ciek.

Metoda Rileya

Riley [1972] zmodyfikował wzór Wollmana i zaproponował formułę na podstawie tzw. „indeksu tarasowego” (z ang. *bench index*), który uwzględnia naturalne tarasy istniejące w korycie rzeki. Według Rileya przepływ brzegowy wyznacza się do poziomu wody, przy którym ciąg liczbowy nazwany „indeksem tarasowym” i oznaczany jako „BI” osiągnie pierwsze maksimum. Wzór ma postać:

$$BI = \frac{W_i - W_{i+1}}{D_i - D_{i+1}} \quad [-] \quad i = 1, 2, 3, \dots, n-1$$

gdzie (oznaczenia jak w oryginale Rileya): BI – wartość indeksu tarasowego Rileya [-], W_i – szerokość koryta ciek na określonym poziomie odpowiadająca danej głębokości [m], D_i – głębokość wody na określonym poziomie [m], W_{i+1} – szerokość koryta na poziomie przy głębokości mniejszej o wartość przyjętą jako skok ciągu [m], D_{i+1} – głębokość wody pomniejszona o wartość skoku [m].

Głębokość oraz odpowiadająca jej szerokość definiowana jest jak w metodzie Wollmana. Jednak w przypadku tej metody zachodzi ko-

nieczność obliczenia wartości indeksu „BI” od wartości głębokości największej do najmniejszej w celu prawidłowego wyznaczenia pierwszego maksimum ciągu liczbowego. Liczba określająca pierwszą maksymalną wartość indeksu brzegowego „BI” wyznacza poziom wody brzegowej. Przepływ brzegowy określany jest jak w metodzie poprzedniej.

Metoda Schumma, Browna i Warnera

Metody te oparte są na wzorze Gaucklera-Manninga, który wiąże parametry geometryczne przekroju poprzecznego, spadek zwierciadła wody i współczynnik szorstkości. I tak, w propozycji Schumma [1969] przepływ brzegowy obliczany jest ze wzorów:

$$Q_b = \left(\frac{1,0}{n}\right) A_b D_b^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}} \quad [m^3 \cdot s^{-1}],$$

$$D_b = \frac{A_b}{W_b} \quad [m]$$

gdzie: n – współczynnik szorstkości [-], A_b – powierzchnia przekroju poprzecznego obliczona jak dla tarasu rzeki dla którego decydujemy się że jest on pierwszym dobrze wykształconym brzegiem [m^2], D_b – średnia głębokość w przekroju pomiarowym [m], J – spadek dna do przekroju pomiarowego [-], W_b – szerokość zwierciadła wody w przekroju [m].

Współczynnik szorstkości „ n ” należy wyznaczać w terenie na podstawie znajomości lokalnych warunków cieku.

Metoda Pickupa i Warnera

W myśl definicji Pickupa i Warnera [1976] przepływ brzegowy występuje co 4 do 10 lat. Jest to więc przepływ o prawdopodobieństwie występowania w przedziale pomiędzy 10% a 25%. W celu wyznaczenia przedziału wartości przepływów należy wykonać obliczenia charakterystycznych przepływów o określonym prawdopodobieństwie pojawienia się. Wybór metody wyznaczania krzywej prawdopodobieństwa wystąpienia przepływów maksymalnych uzależniony jest od wielu czynników. Do najważniejszych należą warunki klimatyczne, glebowe, wielkość oraz ukształtowanie powierzchni zlewni. Powyższa metoda może również być stosowana na obszarach, na których prowadzone są systematyczne pomiary wodowskazowe.

Metoda Woodyera

Metoda ta polega na wyróżnieniu w korycie ciekę charakterystycznych stref występowania roślinności. Woodyer [1968] wyróżnia w ciekach w zależności od zróżnicowania roślinności lub jej braku trzy podstawowe elewacje (tarasy) nazwane: elewacją wysoką, elewacją średnią i elewacją niską. Elewacja niska odsłania się podczas najniższych stanów wody. W przedłużających się okresach suszy na poziomie tej elewacji daje się zauważyć występowanie porostów. Jednak zazwyczaj jest to strefa nieporośnięta lub pokryta cienką warstwą traw. Osady korytowe występujące w tej elewacji to głównie piaski, żwiry i otoczaki. Wyróżnienie poziomu elewacji niskiej bywa kłopotliwe, ponieważ jest to poziom bardzo słabo widoczny. Przy wyznaczaniu przepływu brzegowego poziom elewacji niskiej jest pomijany. Elewacja średnia obejmuje poziom, powyżej którego występuje roślinność lądowa, głównie dobrze wykształcona roślinność trawiasta i krzaczasta. Zazwyczaj jest to roślinność o większym zapotrzebowaniu na wodę i wytrzymała na krótkotrwałe zalewy spowodowane zmiennymi przepływami. Woodyer określił częstotliwość występowania przepływu jako wodę pojawiającą się co 1,02 do 1,21 lat. Początek elewacji wysokiej stanowią większe krzewy oraz pas drzew, zarówno w początkowym, jak również zaawansowanym stadium rozwoju. Jest to strefa zazwyczaj dobrze rozwinięta, powyżej której jest tylko dolina zalewowa. W przypadku braku jakichkolwiek wskaźników za poziom elewacji wysokiej należy przyjąć poziom brzegu doliny rzecznej. Cechą charakterystyczną roślinności występującej w tej elewacji jest odporność na długotrwałe zalewy. Przepływ mieszczący się w elewacji wysokiej występuje co 1,24 do 2,69 lat. W metodzie Woodyera przepływ brzegowy wyznacza się do poziomu elewacji wysokiej. W przypadku gdy ustalenie poziomu elewacji wysokiej jest niemożliwe za poziom wody brzegowej należy przyjąć poziom elewacji średniej lub niskiej.

WYNIKI BADAŃ WRAZ Z DYSKUSJĄ

Poniżej w formie tabelarycznej podano wyniki obliczeń wartości przepływu brzegowego. Zestawienie tego typu ułatwia przeprowadzenie późniejszej dyskusji i wyciągnięcie wniosków. Ze szczególną uwagą potraktowano metodę wskaźników roślinnych Woodyera, jako najlepszą do stosowania w momencie prób planowanych w przyszłości działań renaturalizacyjnych w korycie rzeki.

Tabela 1. Wyniki obliczeń przepływu brzegowego metodą Woodyera
– rzeka Kamienica

Table 1. The results of the Woodyer metod – the Kamienica River

rzeka	przekrój	elewacja	rzędne terenu [m n.p.m.]	przepływ [m ³ /s]	zidentyfikowane rośliny
KAMIENICA	a-a	niska	589,59	3,90	glony
		średnia	590,24	19,76	jaskier sardyński = jasier łagodny (<i>Ranunculus sardous</i>) pierzchnica pierzchnek wyniosła (<i>Primula elatior</i>) wierzbowica bladuróżowa (<i>Epilobium roseum schreb.</i>) knieć błotna (<i>Caltha palustris</i>) łopian większy (<i>Articum lappa</i>) stokłosa bezostna (<i>Bromus inermis</i>)
		wysoka	590,86	43,89	buk zwyczajny (<i>Fagus sylvatica</i>) jodła pospolita (<i>Abies alba</i>) świerk pospolity (<i>Picea excelsa</i>)
	b-b	niska	587,61	3,10	glony
		średnia	588,23	21,13	czosnek niedźwiedzi (<i>Allium ursinum</i>) gęsiówka alpejska (<i>Arabis alpina</i>) jaskier sardyński (<i>Ranunculus sardous</i>) knieć błotna (<i>Caltha palustris</i>) konikleca czubata (<i>Hippocrepis comosa</i>) łopian większy (<i>Articum lappa</i>) pierzchnica pierzchnek wyniosła (<i>Primula elatior</i>) wierzbowica bladuróżowa (<i>Epilobium roseum schreb.</i>) zarzyczka (kortusa) górską (<i>Cortusa matthioli</i>)
		wysoka	588,59	44,22	buk zwyczajny (<i>Fagus sylvatica</i>) jodła pospolita (<i>Abies alba</i>) świerk pospolity (<i>Picea excelsa</i>)

Tabela 2. Wyniki obliczeń przepływu brzegowego metodą Woodyera – rzeka Raba

Table 2. The results of the Woodyer metod – the Raba River

rzeka	przekrój	Elewacja	rzędne terenu [m n.p.m.]	przepływ [m ³ /s]	zidentyfikowane rośliny
RABA	a-a	niska	332,91	3,14	glony
		średnia	335,08	184,39	gęsiówka Hallera (<i>Cardaminopsis halleri</i>) gorycznik pospolity (<i>Barbarea vulgaris</i>) jaskier polny płomiennik (<i>flamulla</i>) (<i>Ranunculus arvensis</i>) maruna bezwonna (<i>Matricaria maritima</i>) piaskowiec orzęsiony (<i>Arenaria ciliata</i>) rumianek bezpromieniowy (<i>Chamomilla suaveolens</i>) tasznik pospolity (<i>Capsella bursa-pastoris</i>) złocień właściwy (<i>Chrysanthemum leucanthemum</i>)
		wysoka	335,61	281,63	lilak (bez) pospolity (<i>Syringa vulgaris</i>) buk zwyczajny (<i>Fagus sylvatica</i>) olsza szara (<i>Alnus incana</i>)
	b-b	niska	331,97	3,59	glony
		średnia	333,79	170	gęsiówka Hallera (<i>Cardaminopsis halleri</i>) gorycznik pospolity (<i>Barbarea vulgaris</i>) maruna bezwonna (<i>Matricaria maritima</i>) piaskowiec orzęsiony (<i>Arenaria ciliata</i>) rumian polny (<i>Anthemis arvensis</i>) tasznik pospolity (<i>Capsella bursa-pastoris</i>) złocień właściwy (<i>Chrysanthemum leucanthemum</i>)
		wysoka	334,51	310,29	buk zwyczajny (<i>Fagus sylvatica</i>) olsza szara (<i>Alnus incana</i>) wierzba drobnolistna (<i>Salix cordata</i>)

Tabela 3. Wyniki obliczeń przepływu brzegowego różnymi metodami obliczeniowymi
Table 3. The results of the calculations of bankfull with all used methods

Metoda obliczeniowa	Wartość przepływu brzegowego w badanych przekrojach Q_b [m ³ /s]			
	Rzeka Raba		Rzeka Kamienica	
	a-a	b-b	a-a	b-b
Wołoszyna	295,19	310,29	43,89	44,22
Wolmana	281,63	310,29	40,00	44,22
Rileya	295,19	170,92	43,89	47,74
Schuma, Browna i Warnera	285,28	291,25	60,20	63,95
Woodyera	278,49	307,19	39,99	41,22
Pickupa i Warnera (wg formuł na wody prawdopodobne):				
– Punzeta	478,85—200,04		114,68—45,11	
– Stonawskiego	386,63—286,33		40,47—28,59	
– Raczyńskiego	329,23—225,71		50,30—33,11	

Rzeka Raba w rejonie badań jest rzeką częściowo uregulowaną. W przekroju a-a na rzece Rabie różnice w przepływie brzegowym nie przekroczyły 0,5%, jeżeli przyjmujemy metodę Wołoszyna i Rileya ($Q_b=295,19$ m³/s) za wyjściową dla tego stanowiska pomiarowego. W profilu b-b indeks tarasowy Rileya ma pierwszą wartość maksymalną 3,086 odpowiadającą rzędnej terenu 333,80 m n.p.m. Jeden centymetr niżej jest usytuowany poziom elewacji średniej Woodyera. Przepływ w tym miejscu wynosi $Q_b=170,92$ m³/s, czyli tylko 55% wartości przepływu otrzymanego przez pozostałych autorów (Wołoszyn, Wolman: $Q_b=310,29$ m³/s). Wystąpienie tej różnicy jest spowodowane prawdopodobnie dość prostopadłym kształtem przekroju cieku, gdzie prawy brzeg jest prawie pionowy. Riley stworzył swój indeks tarasowy dla rzek o łagodnie pochyłonych brzegach. Pozostałe metody różnią się od siebie o 0,6%. Przedziały prawdopodobieństwa wystąpienia przepływów charakterystycznych Piskupa i Warnera potwierdzają wartość przepływu brzegowego uzyskanego metodami: Wołoszyna, Wolmana, Schuma, Browna, Warnera, Woodyera.

Rzeka Kamienica w rejonie badań jest całkowicie naturalnym ciekiem górskim. Stosując metody obliczania przepływu brzegowego oparte na geometrycznych i morfometrycznych właściwościach przekroju poprzecznego cieku (Riley $Q_b=43,89$ m³/s) i metodę wskaźników roślinnych Woodyera ($Q_b=39,99$ m³/s), uzyskano bardzo podobne

wyniki. W przekroju $\alpha\alpha$ skrajne wartości różniły się od siebie o 4 m³/s, a w profilu b-b 6 m³/s. Przedział wartości wody prawdopodobnej Pickupa i Warnera obliczonej metodami stochastycznymi potwierdza zbieżność z metodą: Wołoszyna, Wolmana, Riley, Woodyera. Jedynie przepływ brzegowy $Q_b=60,20$ m³/s i $Q_b=63,95$ m³/s liczony wzorem Gaucklera-Manninga (metoda Schumana, Browna, Warnera) jest większy od pozostałych wartości o 37%. Przyczyna tego może być dość subiektywny sposób doboru wartości współczynnika szorstkości, kiedy oblicza się wielkość przepływu brzegowego tą metodą.

WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wynikają następujące wnioski:

1. Do obliczeń przepływu brzegowego Q_b nie musimy posiadać obserwacji wodowskazowych. Ciek, na którym prowadzimy inwestycję hydrotechniczną, może być niekontrolowany.

2. Znajomość wartości przepływu brzegowego dla projektanta z branży hydrotechnicznej stanowi wskazówkę o wielkości wody wpływającej istotnie na kształtowanie koryta ciek. Przepływ brzegowy silnie kształtuje siedliska roślinne w korycie oraz na brzegach ciek. W związku z tym korytach rzek naturalnych wskazane byłoby określenie wartości przepływu brzegowego przed każdą inwestycją metodą Woodyera. Archiwizacja tych danych może posłużyć w przyszłości do podejmowanych prób renaturalizacji tych i podobnych cieków.

3. W przyszłości należy zastanowić się nad stworzeniem atlasu roślin rzek karpackich z podziałem na elewacje Woodyera, w celu ułatwienia obliczania wartości przepływu brzegowego metodą indeksów roślinnych.

BIBLIOGRAFIA

- Bienias K. *Zmiany w transporcie fluwialnym w dolinie Raby poniżej zbiornika w Dobczycach*, Praca magisterska, WSP, Kraków 1994.
- Bray D. J. *Representative discharges for gravel-bed rivers in Alberta, Canada*. J. Hydrol., 27, 1975, s. 143–153.
- Brzeziński J., Ozga-Zielińska M. *Hydrologia stosowana*. PWN, Warszawa 1997.
- Lambor J. *Hydrologia inżynierska*. PWN, Warszawa 1971.
- Leopold B., Wolman M., Miller J. *Fluvial Processes in Geomorphology*. Dover Publication, New York 1964.
- Marlette R., Walker H. *Dominant discharge at Plate Missouri confluence*. J. of Water Div., 94, 1968, s. 5801–5805.

- Nixon M. *A study of the bankfull discharge of rivers in England and Wales*. Proc. of the Inst. of Civil Eng., 12, 1959, s. 395–425.
- Pickup G., Warner R. *Effects of hydrologic regime on magnitude and frequency of dominant discharge*. J. Hydrol., 29, 1976, s. 51–75.
- Prins A., De Vries M. *On dominant discharge concept of rivers*. Proc. of XIV Congress of IAHR, 1971, s. 163–169.
- Radecki-Pawlik A. *Bankfull discharge in mountain streams: theory and practice*. Earth Surface Processes and Landforms, John Wiley and Sons, 27, 2002, s. 115–123, poz. bibl. 17.
- Radecki-Pawlik A. *Przepływ brzegowy potoku górskiego – metody wyznaczania i ich zastosowanie praktyczne*. [w:] *Kształtowanie i ochrona środowiska leśnego*. Monografia wydana pod patronatem International Union of Forest Research (IUFRO), red. A.T. Miler – Wydawnictwo AR, Poznań 2003.
- Riley S. *A comparison of morphometric measures of bankfull*. J. Hydrol., 17, 1972, s. 23–30.
- Schumm S.A. *River metamorphosis*. Am. Soc. Civil. Eng., 95, 1969, s. 255–273.
- Stupnicka E. *Geologia regionalna Polski*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1989.
- Williams G. *Bankfull discharge for rivers*. Water Resources Research 4, Colorado, 1978, s. 1141–1153.
- Wollman M. *The natural channel of Brandywine River*, Pennsylvania. US Geol. Survey, 271, 1955, s. 56.
- Wołoszyn J., Czamara W., Eliasiewicz R., Krężel J. *Regulacja rzek i potoków*. Wyd. AR we Wrocławiu 1994.
- Woodyer K.D. *Bankfull frequency in rivers*. J. Hydrol., 6, 1968, s. 114–142.

Artur Radecki-Pawlik*, Mariusz Tyrka*,
Bartosz Radecki-Pawlik**, Patrycja Zasepa***

* Katedra Inżynierii Wodnej, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji Akademia Rolnicza w Krakowie, 30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 24-28, adiunkt, (0-12) 662 4105, e-mail: RMRADDECK@CYF-KR.EDU.PL

**Wydział Inżynierii Łądowej, Politechnika Krakowska, student, 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24, (0-12) 628 2000

***Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, absolwent, 30-387 Kraków, Gronostajowa 7, (0-12) 664-51-21

Recenzent: *prof. dr hab. Jerzy Ratomski*

BANKFULL DISCHARGE DETERMINATION IN THE TWO DIVERSE MOUNTAINOUS CATCHMENTS

SUMMARY

The paper presents the results of determinations and calculations of bankfull discharge Q_b for two chosen mountainous gravel-bed rivers: the Raba River and the Kamienica River. Also within the paper described in details some main methods of determination and calculation bankfull Q_b : the Williams, the Woodyer, the Wołoszyn, the Riley, the Pickup&Warner, the Wollman and the Warner, Schumm&Brown methods. On the basis of the analysis of obtained results of bankfull value using all applied methods it was pointed that to determine bankfull one does not have to have the river gauging observations. The data which are enough to calculate/determine Q_b could be collected in-situ just within the research cross-section where there is a need to find bankfull. Another words the river/stream where one plans the hydrotechnic investment or river training works does not to have be hydrologically controlled. At the same time, for the civil engineer designer bankfull value is very important in term showing the real value of the discharge which shapes the river cross section and is responsible for fluvial morphological changes (the dominant discharge). Finally it was pointed that bankfull is responsible for plants species location along the cross section of the river. Because of that, it was suggested that from ecological point of view it would be worthy to determine bankfull using Woodyer method in all cross sections when river training works are planed in the river channel. Also it was suggested that in the future it would be very useful to make a plant-atlas of species which one can find in the river channel shaped by bankfull. Such work would be important in all river renaturisation works. The research described in the present paper was realized in Polish Carpathians within the river channels party chanalised and party being in nature.

Key words: bankfull, mountainous stream/river