

WARTOŚĆ PRZEPŁYWU BRZEGOWEGO JAKO WYZNACZNIK DEGRADACJI UREGULOWANEGO KORYTA RZECZNEGO

Karol Plesiński

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Artur Radecki-Pawlik

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Podhalańska Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Targu

Streszczenie. W pracy przedstawiono zależność między erozją dna rzeczne a wartością przepływu brzegowego. Na podstawie czteroletnich obserwacji terenowych potoku Porębianka na odcinku istnienia kaskady bystrzy o zwiększonej szorstkości zauważono duże zmiany w morfologii koryta rzeczne, m.in. takie jak jego pogłębienie. Celem pracy było określenie zmienności poziomu dna rzeczne i jego wpływ na przepływ brzegowy. Analizie poddano nie tylko wartość samego przepływu brzegowego, ale również i odpowiadające mu napełnienie. Wyznaczenie przepływu brzegowego wykonano przy użyciu czterech metod z pomocą modelu komputerowego HEC-RAS. W rezultacie stwierdzono, że wyznacznikiem erozji dennej w korytach uregulowanych za pomocą budowli poprzecznych jest zwiększająca się wartość napełnienia dla przepływu brzegowego, ale tylko w przypadku, gdy poziom dna koryta obniża się poniżej korony przelewu obiektu przegradzającego koryto znajdujące się poniżej analizowanego odcinka. W pozostałych przypadkach, wyznacznikiem obniżenia się dna koryta rzeczne jest wzrastająca wartość przepływu brzegowego.

Słowa kluczowe: przepływ brzegowy, regulacja potoku, napełnienie brzegowe

WPROWADZENIE

Pojęcie stanu i przepływu brzegowego jest spotykane zarówno w literaturze polskiej, jak i obcojęzycznej. Lambor [1971] określa przepływ brzegotwórczy jako stan przepływu występujący pomiędzy stanem średnim rocznym a średnim wielkim. Wołoszyn

Adres do korespondencji – Corresponding authors: dr inż. Karol Plesiński, prof. dr hab. inż. Artur Radecki-Pawlik, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24-28, 30-059 Kraków, e-mail: k.plesinski@ur.krakow.pl, mradeck@cyf-kr.edu.pl.

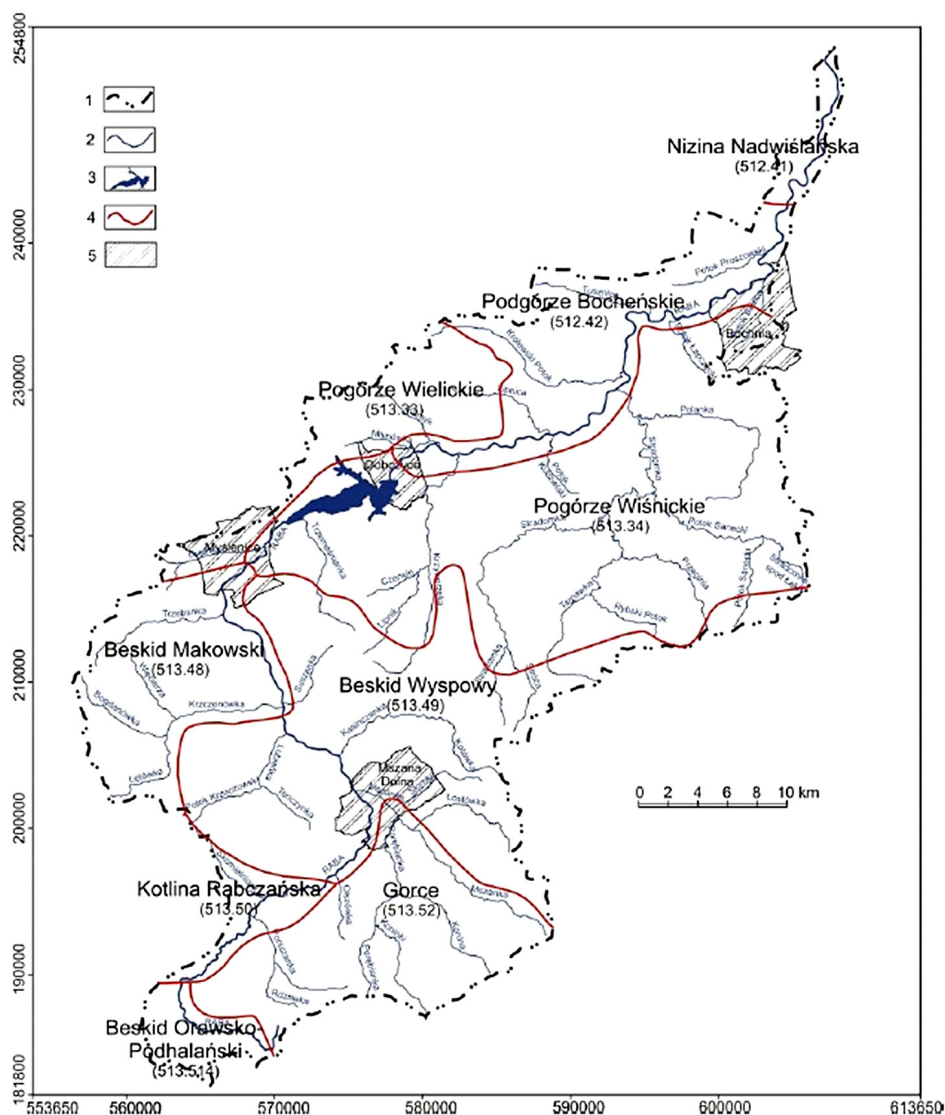
© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2016

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 w swoich pracach Woodyer [1968], Williams [1978], Andrews [1980] i Radecki-Pawlik [2015]. Niektórzy badacze jak Wolman i Leopold [1957], Leopold i Skibnitzke [1967] czy Marlette i Walker [1968] określając poziom wody brzegowej (głównie na podstawie względnej częstotliwości wylewu), rozpoznają co najmniej dwa różne typy terenów zalewowych: aktywny i nieaktywny. Typ nieaktywny terenu zalewowego, zwany także tarasem nieaktywnym, jest zalewany tak rzadko, że przez dłuższy czas procesy aluwialne mają znikomy wpływ na jego kształt. Typ aktywny stanowi powierzchnię zalewową, która jest tworzona i ewentualnie niszczona przez rzekę, jednak kształtuje się w stosunkowo krótkim czasie (około 10 lat). Według Nixona [1959] przepływ brzegowy nie ma wspólnej częstotliwości powtarzania się i powinien być wyznaczany do poziomu obejmującego aktywny obszar zalewowy. Na niektórych obszarach aktywny teren zalewowy może być traktowany jako powierzchnia dna doliny (z ang. *valley flat*), podczas gdy na innych obszarach jako względnie wąska (1–3 m), raczej niepozorna powierzchnia umiejscowiona niżej o kilka metrów od właściwej powierzchni doliny. Takich powierzchni może być kilka. Rozmieszczone są one na różnych wysokościach, w zależności od położenia kolejnego punktu wykształcenia brzegu (z ang. *bank-top*), terenowi zalewowemu. Tarasy te mogą być w niektórych miejscach nieciągłe. Część koryta rzeki, położona niżej od aktywnego terenu zalewowego, zazwyczaj jest słabo porośnięta przez roślinność lub całkowicie jej pozbawiona. Niektórzy naukowcy uwzględniają w swych definicjach oddziaływanie przepływu brzegowego na kształt i rozmiar przekroju poprzecznego oraz deformację koryta ciekłu. Wolman [1955] zaproponował wyznaczenie wysokości wody brzegowej na poziomie elewacji, w której proporcja szerokości kanału do jego głębokości osiąga wartość minimalną. Według Rileya [1972] wartość liczbową przepływu brzegowego wyznaczona na podstawie definicji Wolmana jest poprawna w przypadku koryt o kształtach prostokątnych, natomiast niedostatecznie dokładna dla przekrojów z łagodnie pochylonymi brzegami. Cytowany autor zaproponował wprowadzenie tzw. indeksu tarasowego, którego pierwsza wartość maksymalna odpowiada poziomowi wody brzegowej (porównaj również Radecki-Pawlik 2002).

Celem niniejszej pracy było przedstawienie zależności między erozją dna rzecznego a wartością przepływu brzegowego i w konsekwencji określenie zmienności poziomu dna rzecznego i jego wpływ na przepływ brzegowy. Analizie poddano nie tylko wartość samego przepływu brzegowego, ale również i odpowiadające mu napełnienie. Badania przeprowadzono na uregulowanym za pomocą kaskady stopni-bystrzy odcinku ciekłu górskiego. Stwierdzono, że wyznacznikiem erozji dennej w korytach uregulowanych za pomocą budowli poprzecznych jest zwiększająca się wartość napełnienia dla przepływu brzegowego, ale tylko w przypadku, gdy poziom dna koryta obniża się poniżej korony przelewu obiektu przegradzającego koryto znajdującego się poniżej analizowanego odcinka. W pozostałych przypadkach, wyznacznikiem obniżenia się dna koryta rzeczno-ego jest wzrastająca wartość przepływu brzegowego.

MATERIAŁY

Zlewnia potoku Porębianka o powierzchni 71,8 km² znajduje się w Beskidach Zachodnich (ryc. 1), na północnych stokach masywu górskiego Górców [Kondracki 2000]. Najwyższym punktem zlewni jest Kudłoń (1276 m. n.p.m.), natomiast najniższym jest ujście Porębianki do rzeki Mszanki w Mszanie Dolnej (400 m. n.p.m.). Administracyjnie zlewnia leży w województwie małopolskim, w powiecie limanowskim.



Ryc. 1. Lokalizacja potoku Porębianka na tle zlewni Raby [Paszkiewicz 2009]

Fig. 1. Localization of Porębianka stream in the background the Raba catchment [Paszkiewicz 2009]

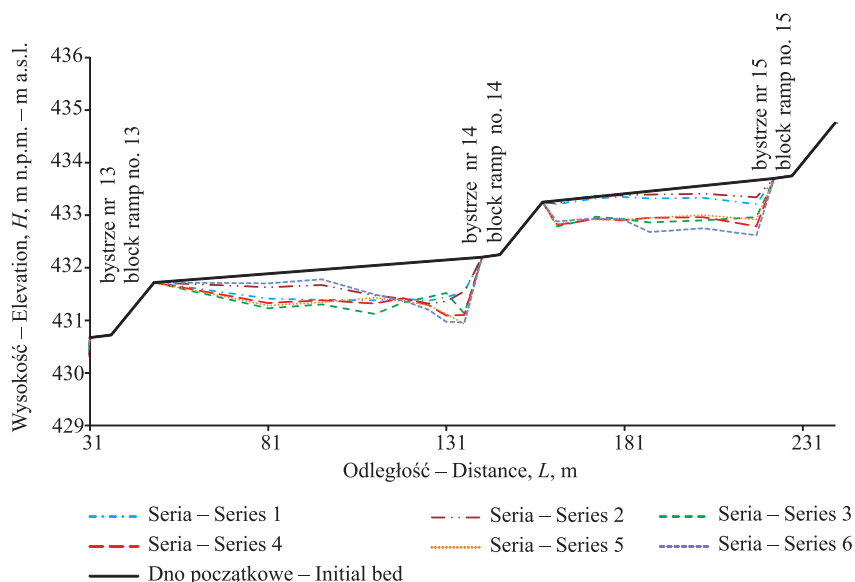
Potok Porębianka jest ciekim o długości 15,4 km (ryc. 1). Źródła znajdują się na stokach Obidowca (1000 m n.p.m.). Ciek początkowo płynie jako Porąbka, przyjmując kilka dopływów. W miejscowości Poręba Wielka łączy się z potokiem Koninka (o długości 6,5 km) tworząc Porębiankę. Następnie w Niedźwiedziu do Porębianki uchodzi potok Konina, który jest najdłuższym (10,7 km) jej dopływem. Dalej rzeka przepływa przez miejscowość Podobin, w której znajduje się korekta stopniowa wykonana z bystrzy o zwiększonej szorstkości. Wzdłuż odcinka 0,836–4,080 km na rzece Porębiance wykonano regulację cieku za pomocą 25 bystrzy o zwiększonej szorstkości. Celem regulacji była stabilizacja dna i brzegów rzeki dla ochrony przyległych gruntów i drogi asfaltowej Mszana Dolna – Niedźwiedź wraz z przyległymi budynkami. Regulacyjne koryto trapezowe posiada 28 m szerokości w dnie. Spadek koryta został zmniejszony z 1,25% do 0,55%. Na większości odcinków koryta uregulowanych za pomocą bystrzy o zwiększonej szorstkości koryto ma charakter aluwialny. W nielicznych miejscach występują skalne wychodnie. Do badań wybrano bystrze nr 14 znajdujące się w 2,890 km oraz odcinek o długości koryta 157 m (92 m poniżej i 65 m powyżej budowli). Na analizowanym odcinku, w przeciągu 4 lat obserwacji doszło do wielu zmian układzie poziomym i pionowym koryta, w szczególności zaś do erozji dennej. Pierwszą serię pomiarową wykonano w kwietniu 2010 r., zastając na stanowisku dolnym obniżenie dna koryta w odniesieniu do dna początkowego – projektowego, wynoszące 0,70 m tuż poniżej budowli, 0,55 m w środkowym odcinku oraz 0,20 w niewielkiej odległości od bystrza nr 13. Z kolei na stanowisku górnym, tuż powyżej bystrza nr 13 zaobserwowano niewielkie obniżenie, wynoszące do 0,10 m, zaś dalej, bliżej bystrza nr 15, obniżenie wynoszące 0,45 m (ryc. 2).

Na przełomie maja i czerwca 2010 r. przeszła fala wezbraniowa o przepływie $Q = 55 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, która zmieniła kształt dna koryta. Zmiany te jednak nie były duże. Na stanowisku dolnym, dno koryta tuż poniżej bystrza podniosło się nieznacznie, bo o 0,05 m, zaś w odcinku środkowym o 0,30–0,40 m. Na stanowisku górnym również doszło do depozycji materiału i podniesienie się dna o 0,05–0,10 m. W celu uchwycenia tych zmian, w lipcu i sierpniu 2010 r. ponownie wykonano pomiary geodezyjne – serię 2 (ryc. 2). W wyniku przejścia wspomnianej fali wezbraniowej zostały także uszkodzone niektóre bystrza poprzez wymycie i wyrwanie głazów z ich płyt spadowych. W związku z tym w październiku i listopadzie 2010 r. przeprowadzono prace renowacyjne w korycie. Naprawiono wtedy uszkodzone budowle, uzupełniając braki w wymytnym materiale.

Działania eksploatacyjne w korycie rzeczonym miały również oddziaływanie negatywne, gdyż podczas tych prac wyrównano dno koryta, wybierając łachy i zasypując przegłębienia. Wybrano materiał dennej ze stanowiska górnego, doprowadzając tym samym do obniżenia koryta na całej jego długości o 0,40 m w stosunku do serii 2. Kolejne pomiary geodezyjne (seria 3) wykonano w kwietniu 2011 r., obrazując zmiany w korycie zaszłe podczas wspomnianych prac. W lipcu 2011 r. zaobserwowano wezbranie o przepływie $Q = 35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. We wrześniu 2011 r. wykonano kolejną, 4 serię pomiarową (ryc. 2). W wyniku przejścia fali wezbraniowej, dno koryta uległo niewielkiemu podniesieniu, miejscami maksymalnie do 0,10 m zarówno na stanowisku dolnym, jak i górnym.

Następnie pod koniec roku 2013 r. ponownie wykonano pomiary geodezyjne. Zarówno na stanowisku dolnym, jak i górnym nie zauważono znaczących zmian w stosunku do

poprzedniej serii pomiarowej z września 2011 r. W tym okresie (2011–2013) nie zaobserwowano żadnej fali wezbraniowej, która mogłaby dokonać zmian w dnie koryta rzecznego. W maju 2014 r. przeszła fala wezbraniowa o przepływie $Q = 65 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, po przejściu której ponownie wykonano pomiary geodezyjne (seria 6) uchwytując zmiany korytowe wywołane przez wspomnianą falę. W porównaniu z poprzednią, 5 serią pomiarową dno koryta uległo znacznym zmianom. Na stanowisku dolnym w środkowym odcinku doszło do akumulacji materiału z podniesieniem dna koryta o 0,40–0,45 m. Z kolei na stanowisku górnym, tuż powyżej bystrza nie zaobserwowano żadnych zmian w korycie, w środkowym odcinku zaś i bezpośrednio poniżej bystrza nr 15 stwierdzono znaczną erozję denną o wielkości 0,30 m (ryc. 2).



Ryc. 2. Zmiany profilu podłużnego w korycie potoku Porębianki na przestrzeni lat 2010–2014
Fig. 2. The longitudinal profile changes in Porębianka bed channel during 2010–2014

METODY

Ponieważ celem pracy było określenie zmienności poziomu dna rzecznego i jego wpływ na przepływ brzegowy, analizie poddano nie tylko wartość samego przepływu brzegowego, ale również i odpowiadające mu napętnienie. Badania obejmowały pomiary terenowe (geodezyjne). Badania studialne polegały na wyznaczeniu przepływu brzegowego czterema metodami oraz określeniu napętnienia odpowiadającego wartości przepływu brzegowego. Badania wykonano w ośmiu przekrojach poprzecznych (4 powyżej i 4 poniżej bystrza). Dodatkowo opracowano model numeryczny w programie HEC-RAS.

Pomiary geodezyjne były wykonywane w sześciu terminach w latach 2010–2014. W każdej serii pomiarowej wykonywano 26 przekroi poprzecznych na odcinku 278 m. W okresach pomiędzy pomiarami zaobserwowano zjawiska, które zmieniały dno koryta

rzecznego, takie jak występowanie fal wezbraniowych oraz roboty eksploatacyjno-remontowe.

Badania studialne polegały głównie na wyznaczeniu przepływu brzegowego metodą Wolmana, Riley, Schumma, Browna i Warnera oraz Pickupa i Warnera, a także wyznaczenie napełnienia w korycie dla wody brzegowej.

Metody Wolmana i Riley (ryc. 3) bazują na określeniu parametrów morfometrycznych koryta cieków. W pierwszej z metod, poziom wody brzegowej wyznaczany jest w miejscu, gdzie wartość ciągu R_w osiąga wartość minimalną [Wolman 1955]:

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

gdzie:

R_w – ciąg liczbowy,

W_i – szerokość koryta odpowiadająca danej głębokości, m,

D_i – głębokość wody, m.

Zgodnie z postulatami Wolmana [1955], podstawiając do równania kolejne wartości głębokości koryta rzecznego i odpowiadające im szerokości zwierciadła wody w korycie, otrzymujemy ciąg liczb, z których jedna osiągnie wartość minimalną – jest ona wskaźnikiem wyznaczającym poziom wody brzegowej dla danego przepływu (ryc. 3).

Riley [1972] zmodyfikował wzór Wolmana i zaproponował formułę na podstawie tzw. indeksu tarasowego, który uwzględnia naturalne tarasy istniejące w korycie rzeki. Według Riley przepływ brzegowy wyznacza się do poziomu wody, przy którym ciąg liczbowy BI osiągnie pierwsze maksimum (ryc. 3):

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

gdzie:

BI – wartość indeksu tarasowego Riley,

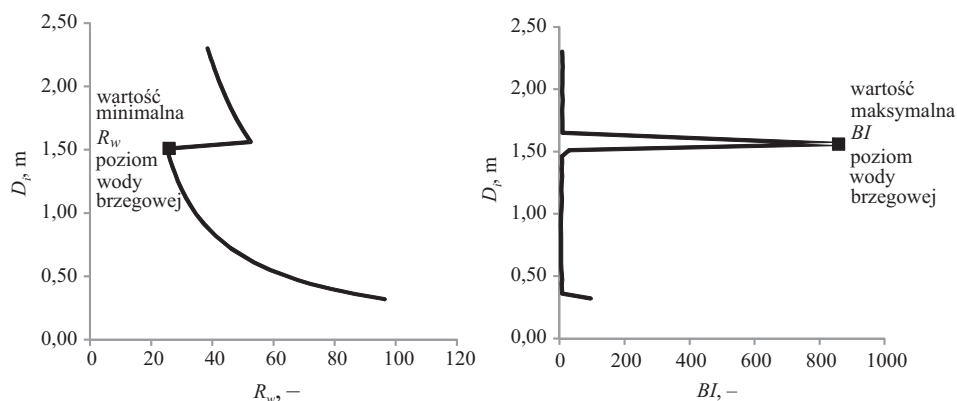
W_i – szerokość koryta cieków na określonym poziomie odpowiadająca danej głębokości, m,

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.

Napełnienie oraz odpowiadająca mu szerokość definiowana jest jak w metodzie Wolmana. Jednakże znaczącą różnicą pomiędzy obiema metodami jest sposób wyznaczania indeksu BI , który jest obliczany od wartości głębokości największej do najmniejszej, co pozwala na prawidłowe wyznaczenie pierwszego maksimum, który jest wskaźnikiem określającym poziom wody brzegowej.



Ryc. 3. Przykład wyznaczania poziomów wody brzegowej w metodzie Wolmana (lewy) i Riley'a (prawy)

Fig. 3. The example of bankfull water level with using Wolman's (left) and Riley's (right) method

Kolejna metoda – Schumma, Browna i Warnera oparta jest na wzorze Gaucklera-Manninga [Chow 1959], który uwzględnia parametry geometryczne przekroju poprzecznego, spadek zwierciadła wody i współczynnik szorstkości. Wzór ten przedstawia się następująco [Radecki-Pawlik 2014]:

$$Q_b = \left(\frac{1,0}{n} \right) \cdot A_b \cdot D_b^{2/3} \cdot I^{1/2}, \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$D_b = \frac{A_b}{W_b}, \text{ m}$$

gdzie:

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

Z kolei zgodnie z metodą Pickupa i Warnera [1976] przepływ brzegowy występuje co 4–10 lat, jest to więc przepływ o prawdopodobieństwie występowania 10–25%. Metoda ta może służyć do weryfikacji obliczeń wykonanych innymi metodami.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W tabeli 1 zestawiono wyniki analizy, które również zostały zobrazowane na rycinie 4. Możemy na nich zauważyć, że pomimo erozji dennej występującej w 3, 4, 5 i 6 serii pomiarowej na stanowisku górnym, wartości przepływu są zbliżona do

Tab. 1. Wartości przepływów brzegowych
Tab. 1. The values of bankfull discharges

Przekrój Cross- section	Seria – Series 1			Seria – Series 2			Seria – Series 3			Seria – Series 4			Seria – Series 5			Seria – Series 6								
	H m	Q_{brz} $m^3 \cdot s^{-1}$		H m	Q_{brz} $m^3 \cdot s^{-1}$		H m	Q_{brz} $m^3 \cdot s^{-1}$		H m	Q_{brz} $m^3 \cdot s^{-1}$		H m	Q_{brz} $m^3 \cdot s^{-1}$		H m	Q_{brz} $m^3 \cdot s^{-1}$							
		R_W	BI		R_W	BI		R_W	BI		R_W	BI		R_W	BI		R_W	BI	R_W	BI				
																					Q_B	Q_B	Q_B	Q_B
STANOWISKO DOLNE – DOWNSTREAM																								
6	1,62	70,0	75,0	75,4	1,13	70,0	75,0	74,6	1,69	70,0	75,0	77,0	1,56	75,0	80,0	78,6	1,57	70,0	75,0	76,0	1,33	70,0	75,0	74,8
7	1,49	70,0	75,0	74,6	1,12	70,0	75,0	71,1	1,66	65,0	70,0	73,9	1,44	70,0	75,0	73,9	1,56	70,0	75,0	74,3	1,43	70,0	75,0	73,1
8	1,56	75,0	80,0	76,1	1,26	80,0	90,0	83,2	1,69	75,0	80,0	77,3	1,44	70,0	75,0	77,5	1,53	75,0	80,0	80,0	1,49	70,0	75,0	69,8
9	1,48	75,0	80,0	78,0	1,35	50,0	55,0	52,9	1,58	75,0	80,0	76,4	1,49	70,0	75,0	72,2	1,51	70,0	75,0	77,4	1,98	65,0	70,0	66,4
STANOWISKO GÓRNE – UPSTREAM																								
18	0,94	40,0	45,0	45,3	0,91	40,0	40,0	43,5	1,36	40,0	45,0	41,6	1,32	40,0	45,0	41,2	1,35	40,0	45,0	41,1	1,27	40,0	45,0	42,5
19	0,91	40,0	45,0	46,1	0,86	40,0	40,0	46,2	1,34	40,0	45,0	43,8	1,31	40,0	45,0	43,9	1,34	40,0	45,0	44,1	1,20	40,0	45,0	44,6
20	0,98	45,0	50,0	48,1	0,93	40,0	40,0	49,1	1,40	40,0	50,0	48,4	1,36	40,0	50,0	48,4	1,41	45,0	50,0	48,4	1,56	45,0	50,0	48,7
21	0,97	45,0	50,0	48,2	0,92	45,0	45,0	48,7	1,47	45,0	50,0	49,5	1,22	45,0	50,0	50,5	1,33	45,0	50,0	52,4	1,23	45,0	45,0	48,2

H – napętnienie w korycie przy przepływie brzegowym – the water depth for the bankfull discharge, m,

$\underline{Q}_{brz}$ – wartości przepływu brzegowego – the values of bankfull discharge, $m^3 \cdot s^{-1}$;

R_W – Metoda Wolmana – Wolman's method,

BI – Metoda Rileya – Riley's method,

$\underline{Q}_B$ – Metoda Schumma, Browna i Warnera – Methods of Schumm, Brown and Wame.

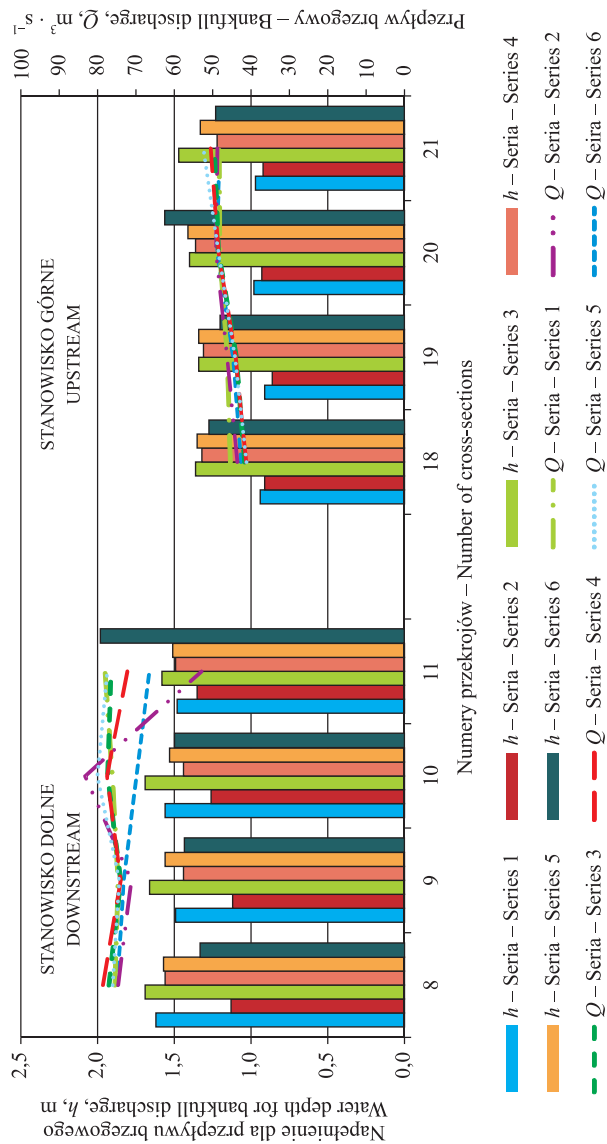
Wartości przepływu brzegowego obliczone metodą Pickupa i Warnera mieszczą się w zakresie $\underline{Q} = 50 - 95 m^3 \cdot s^{-1}$, co odpowiada $p = 10-25\%$ – The values of bankfull discharges were calculated with using the method of Pickup and Warner in range from $\underline{Q} = 50 m^3 \cdot s^{-1}$ to $\underline{Q} = 95 m^3 \cdot s^{-1}$, which equivalent to 10–25% probability.

siebie we wszystkich sześciu seriach (ryc. 4). Pomimo to w seriach tych występują wyższe wartości napęnlennia dla przepływu brzegowego (średnio o 0,30–0,50 m) niż w seriach, gdzie nie zauważono obniżonego dna. Jednym słowem, dla tego samego przepływu brzegowego rośnie napęnlennie w przekrojach zerodowanych. Dzieje się tak dlatego, że obniżenie poziomu dna rzecznoego na górnym stanowisku poniżej korony gurtu górnego bystrza powoduje podpiętrzenie wody przez obiekt przegradzający koryto rzeczne, co skutkuje dużym ograniczeniem, a nawet wręcz wstrzymaniem przepływu do momentu, aż jego zwierciadło wody nie przekroczy rzędnej przelewu. Dopiero wtedy możemy zaobserwować wzrost przepływu spowodowany jego przelaniem się przez budowlę. Jesteśmy zatem w stanie stwierdzić, że w korytach uregulowanych za pomocą kaskady bystrzy o zwiększonej szorstkości, ale także stopni i progów wodnych, w których elewacja dna koryta uклада się poniżej korony przelewu, występują pasywne strefy przepływu (ryc. 5). Świadczą one o tym, że woda przy stanach niżówkowych stagnuje w korycie, nie płynie i jest przez budowlę podpiętrzana. Z kolei na i powyżej wysokości korony przelewu występuje aktywna strefa przepływu, w której przepływ wody nie jest w żaden sposób ograniczany występującymi w korycie budowlami hydrotechnicznymi. Dla tego typu przypadków, zwiększone wartości napęnlennia występują nie tylko dla przepływu brzegowego, ale również dla pełnego zakresu przepływów (ryc. 5).

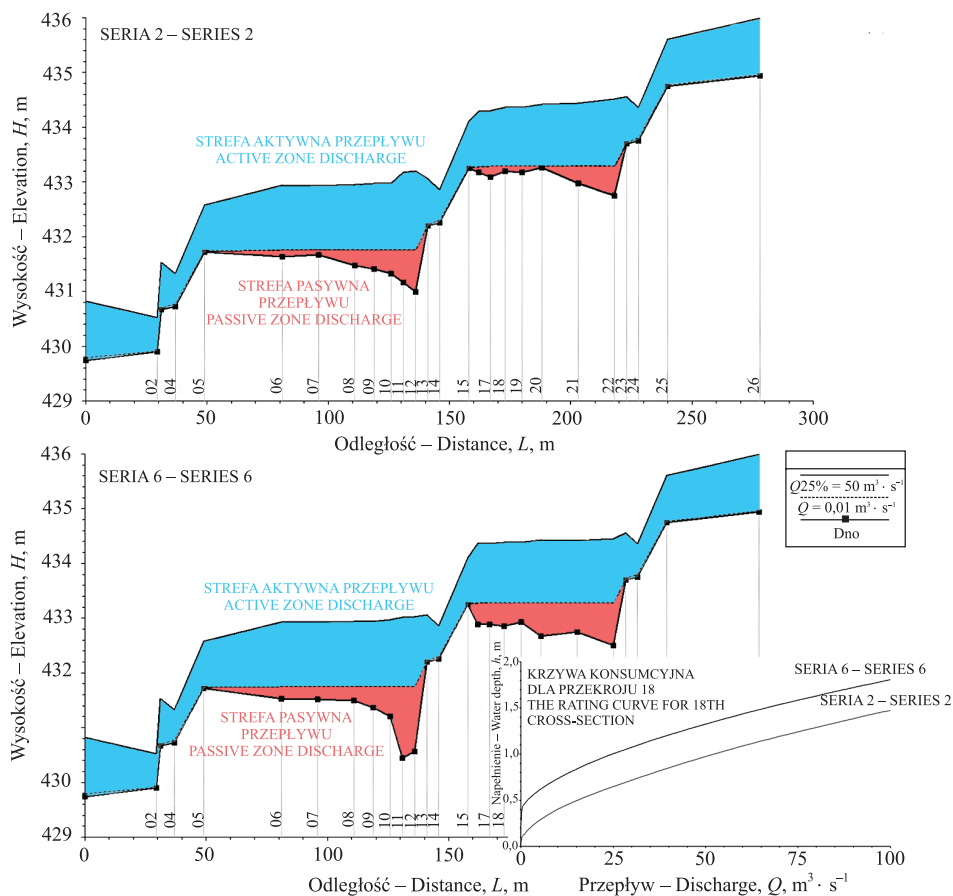
Na stanowisku dolnym, tuż poniżej bystrza o zwiększonej szorstkości wartości przepływu brzegowego są najbardziej zróżnicowane w całej analizie, podobnie zresztą jak napęnlennie (ryc. 4). Duży wzrost napęnlennia, w porównaniu z poprzednimi seriami pomiarowymi, widać w trakcie serii 6. Jest to związane z tworzącymi się poniżej budowli przegłębieniami i basenami, których głębokość była największa (ryc. 6). Z kolei niższa wartość przepływu brzegowego w serii 2 jest spowodowana zawężeniem koryta rzecznoego poprzez depozycję w bocznych częściach koryta dwóch dużych łach żwirowych (w przekrojach 8, 9 i 10) (ryc. 6), które ograniczały pole przekroju dla płynącej wody, a w przekroju 11 spowalniały przepływ wody przy tym samym napęnlenniu.

Z kolei w przekroju 10, dla serii 2, wartość przepływu brzegowego jest wyższa niż w pozostałych seriach, co jest zjawiskiem odwrotnym do tego, jakie zauważono w przekroju 11. Wysoka wielkość przepływu może świadczyć o wspomnianym wcześniej zawężeniu koryta i szybszym przepływie wody (ryc. 6).

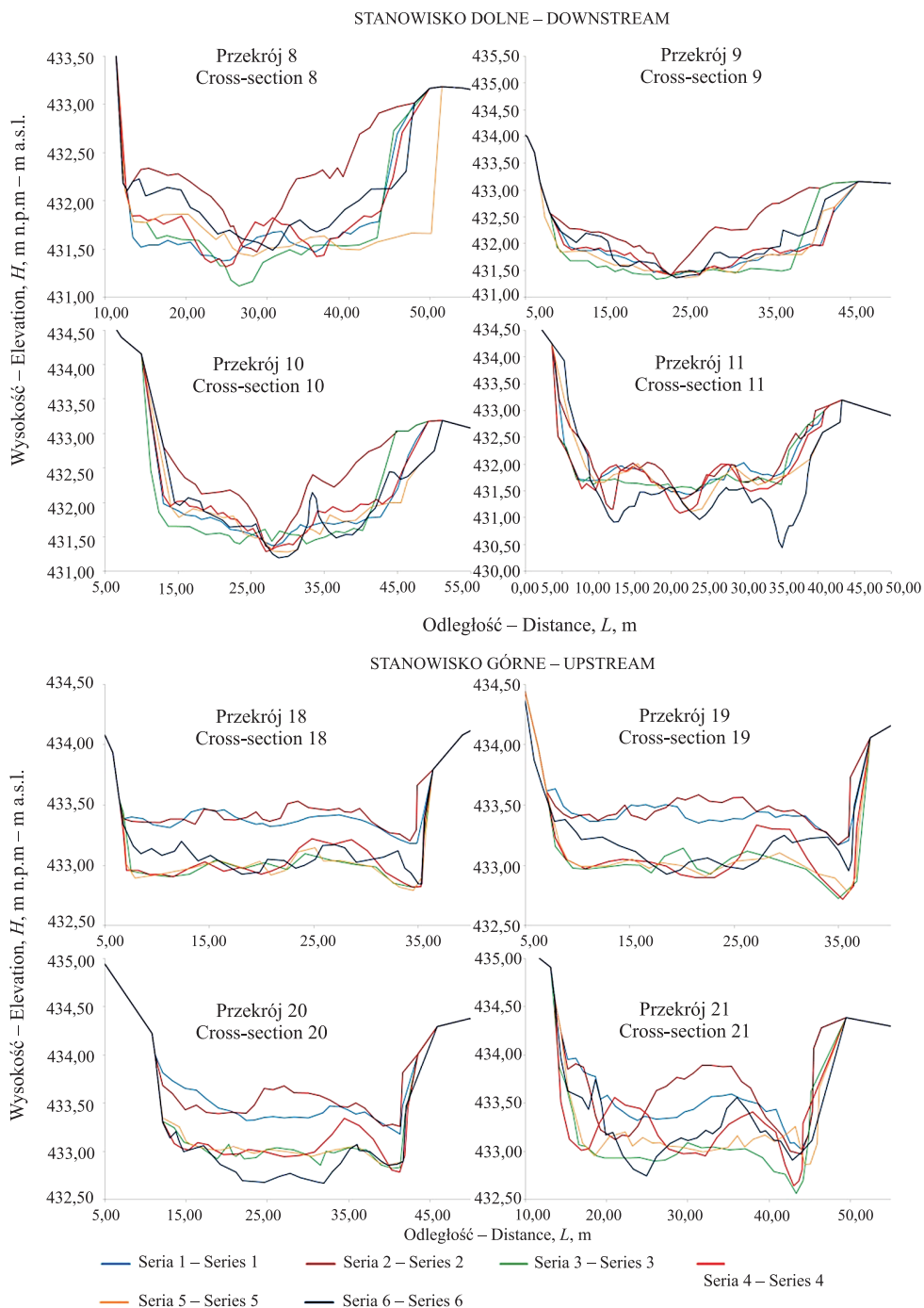
W następnych przekrojach, zlokalizowanych najniżej (8, 9) (ryc. 6), wartości przepływu brzegowego są we wszystkich seriach porównywalne. Zaobserwowano jednak niższą wartość napęnlennia dla przepływu brzegowego w 2. serii pomiarowej niż w pozostałych. Jest to związane ze zwężonym korytem, które powstało w wyniku akumulacji niesionego materiału żwirowego. Zmniejszenie przekroju poprzecznego świadczy o szybszym przepływie, lecz mniejszym napęnlenniu i polu przekroju poprzecznego, przez co dostajemy przepływ, którego wielkość jest zbliżona do wartości w innych seriach pomiarowych. Mamy tutaj do czynienia z klasycznym prawem ciągłości strugi, gdzie $V\uparrow + A\downarrow$ (w naszej analizie, równoznaczne z $h\downarrow$) = $V\downarrow + A\uparrow$.



Ryc. 4. Wartości przepływów brzegowych i odpowiadające im napienienia
 Fig. 4. The values of bankfull discharges and the water depths corresponding with their



Ryc. 5. Wyniki modelowania numerycznego z zaznaczonymi aktywnymi i pasywnymi strefami przepływu (przykład dla 2 i 6 serii pomiarowej)
 Fig. 5. The results of numerical modeling with showing the active and passive zone discharges (example for 2nd and 6th measurement series)



Ryc. 6. Kształt przekroi poprzecznych
Fig. 6. The shape of cross-sections

WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań można wysnuć następujące wnioski:

1. W korytach uregulowanych za pomocą budowli poprzecznych wartość przepływu brzegowego nie może być wyznacznikiem erozji dna koryta, jednakże wyznacznikiem takim może być napętnienie dla przepływu brzegowego. Wtedy wartość napętnienia jest wyższa niż w korycie niewyerodowanym. Taka sytuacja ma miejsce tylko i wyłącznie w przypadku, gdy elewacja dna rzecznoego obniża się poniżej korony przelewu budowli hydrotechnicznej, która jest zlokalizowana poniżej rozpatrywanego odcinka.
2. Obniżenie się poziomu dna stanowiska górnego poniżej korony przelewu budowli hydrotechnicznej powoduje zatrzymanie przepływu i jego podpiętrzenie, aż do momentu przelania się wody przez przelew. Obszary te możemy nazwać pasywnymi strefami przepływu, w których woda stagnuje.
3. Występowanie pasywnych stref przepływu wpływa nie tylko na zwiększenie napętnienia dla tej samej wartości przepływu brzegowego, ale również odpowiednio dla każdej innej wartości przepływu.
4. Ocena erozji dna rzecznoego w korytach uregulowanych tylko na podstawie wartości napętnienia dla przepływu brzegowego nie jest wskaźnikiem w pełni zadowalającym. Zawyżona wartość tego parametru może być spowodowana innymi czynnikami występującymi w korycie rzecznoym, m.in. takimi jak erozja brzegowa i poszerzenie się koryta rzecznoego. Zjawiska te można jednak w analizie wyeliminować, znając zmienność morfologiczną dna koryta rzecznoego oraz lokalną hydrodynamikę strumienia. Wartość napętnienia dla przepływu brzegowego nie może być wskaźnikiem poziomego kierunku erozji lub akumulacji koryta rzecznoego.
5. W korytach rzecznych naturalnych, ale i w uregulowanych, gdzie poziom dna rzecznoego układu się powyżej korony przelewu budowli, wartość przepływu brzegowego może być wskaźnikiem erozji dennej. Wtedy wartość przepływu powinna rosnąć.

PIŚMIENNICTWO

- Andrews, E.D. (1980). Effective and bankful discharges of streams in the Yampa River Basin. Colorado and Wyoming. *J. Hydrol.*, 46, 311–330.
- Bray, D.I. (1972). Generalised regime-type analysis of Alberta Rivers. PhD thesis, University of Alberta, Edmonton (Canada).
- Chow, V.T. (1959). Open-channel hydraulics. McGraw-Hill, New York.
- Kondracki, J. (2000). Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- Lambor, J. (1971). Hydrologia inżynierska. PWN, Warszawa.
- Leopold, L.B., Skibitzke, H.E. (1967). Observations on unmeasured rivers. *Geogr. Ann.*, 49, 247–255.
- Marlette, R.R., Walker, F. (1968). Dominant discharge at Platte-Missouri confluence. *American Society of Civil Engineering, J. Waterways and Harbors Division*, 94, p. 23–32.
- Nixon, M.A. (1959). Study on the bank-full discharges of rivers in England and Wales. *Proc. Inst. Civil Eng.*, 12, 157–174.
- Paszkiwicz, M. (2009). Metodyka gospodarowania zasobami wód podziemnych z uwzględnieniem ich jakości na przykładzie zlewni Raby. Praca doktorska, maszynopis. AGH, Kraków.

- Pickup, G., Warner, R.F. (1976). Effects of hydrologic regime on magnitude and frequency of dominant discharge. *J. Hydrol.*, 29, 51–75.
- Radecki-Pawlik, A. (2002). Bankfull discharge in mountain streams: theory and practice. [W:] *Earth Surface Processes and Landforms*, 27. John Wiley and Sons, 115–123.
- Radecki-Pawlik, A. (2014). *Hydromorfologia rzek i potoków górskich. Działy wybrane*. Wydawnictwo UR, Kraków.
- Radecki-Pawlik, A. (2015). Why Do We Need Bankfull and Dominant Discharges? [W:] Rowinski P., Radecki-Pawlik A. (red.). *Rivers – Physical, Fluvial and Environmental Processes*. GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences. Springer, Heidelberg – New York – Dordrecht – London, pp. 684.
- Radecki-Pawlik, A., Skalski, T., Plesinski, K., Czech, W. (2015). On bankfull methods determination again – why we care? *J. Water Land Develop.*, 27 (x–xii), 21–27.
- Riley, S.J. (1972). A comparison of morphometric measures of bankfull. *J. Hydrol.*, 17, 23–31.
- Williams, P.G. (1978). Bankfull Discharge of Rivers. *Water Resour. Res.*, 14(6), 1141–1154.
- Wolman, M.G., Leopold, L.B. (1957). River flood plains: Some observation on their formation. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 282, 87–109.
- Wolman, M.G. (1955). The natural channel of Brandywine Creek, Pennsylvania. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 282, 86–109.
- Wołoszyn, J., Czamara, W., Eliasiewicz, R., Krezel, J. (1994). *Regulacja rzek i potoków*. WAR, Wrocław, ss. 540.
- Woodyer, K.D. (1968). Bankfull frequency in rivers. *J. Hydrol.*, 6, 114–142.

BANKFULL DISCHARGE AS AN INDEX VALUE OF THE DEGRADATION OF A RIVER TRAINED CHANNEL

Abstract. The paper presents the relationship between the erosion of the river bed and bankfull value. Based on the four years of observation of Porębianka stream, along the river trained part of the stream with cascade of block boulder ramps significant changes of river morphology and river bed were noticed. In. The aim of the present study was to determine local changes of river bed level and river water level and their influence on bankfull value. Bankfull was found using four classical methods and with implementation of HEC-RAS computer model. As a result we found that the erosion indicator in the cross section affected by the hydraulic structure is the increasing value of bankfull stage but only when the level of the bed is lower than the top sill level of the hydraulic structure. In other cases, the bankfull discharge is responsible.

Keywords: bankfull discharge, stream, bankfull stage

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 1.12.2016

Do cytowań – For citation: Plesiński, K., Radecki-Pawlik, A. (2016). Wartość przepływu brzegowego jako wyznacznik degradacji uregulowanego koryta rzecznego. *Acta. Sci. Pol., Formatio Circumietus*, 15(4), 265–278.