

*Jacek Florek*

## **WPŁYW ROŚLINNOŚCI TERENU ZALEWOWEGO NA PRZEPUSTOWOŚĆ I STABILNOŚĆ KORYTA WIELKIEJ WODY**

### **Streszczenie**

Obszar zalewu w zasięgu wody  $Q_{10\%}$ , w części przykorytowej potoków charakteryzuje się znaczną nierównomiernością w układzie podłużnym doliny. Obszary o płaskiej, szerokiej terasie zalewowej z niewielkim spadkiem poprzecznym, występują rzadko. Ciek taki w dolinie płynie często w warunkach erozji wgłębnej, a terasa zalewowa niewielkich rozmiarów pojawia się na jednym bądź drugim brzegu w zależności od układu wysokościowego i przebiegu cieku w planie sytuacyjnym.

Roślinność w tych warunkach porasta już same brzegi koryta niskiej wody, a roślinność krzewiasta dominuje na obszarze zalewowym. Takie warunki, podczas przejścia wód wezbraniowych, generują wiele zjawisk wywołanych wpływem roślinności. Należą do nich: zwężenie i koncentracja przepływu w centralnej części koryta niskiej wody, zmiany profilu prędkości w pionach hydrometrycznych, zarówno w strefie terenu zalewowego z roślinnością, w korycie w bezpośredniej bliskości roślin, jak i w centralnej części koryta. Wpływ roślinności strefy zalewowej rozciąga się również na obszar koryta właściwego i powoduje tu wzrost prędkości w strefie przydennej.

Przedmiotem niniejszego opracowania jest analiza zjawisk zachodzących podczas ruchu wody w strefie całkowicie zajętej przez roślinność na obszarze terasy zalewowej oraz jej pośrednie oddziaływanie na stabilność hydrodynamiczną dna w głównej części koryta.

W czasie przejścia wezbrania przy podnoszeniu się stanu wody, na skutek zmian oporów opływu roślinności, zmianie ulega współczynnik szorstkości.

Pomiary zostały przeprowadzone dla wybranych przekrojów poprzecznych potoku Krzczonowskiego. Polegały one na określeniu

charakterystyki geometrycznej roślinności krzewiastej w warunkach naturalnych oraz określeniu jej oddziaływania na centralną część koryta z gruboziarnistym dnem szorstkim w różnych warunkach ruchu wody podczas przejścia wezbrania.

**Słowa kluczowe:** geometria roślinności, powierzchnia opływu roślin, opory przepływu, przepustowość korytowa, naprężenia krytyczne

## WSTĘP

Potok Krzczonowski stanowi lewobrzeżny dopływ rzeki Raby. Posiada on dziewięć dopływów, są nimi potoki: Bogdanówka, Więcierzka, Proszkoców, Rusnakowy, Zagrodzki, Czarny Potok, Skomielnianka, Ostojów, Proszków.

Największe z gmin objętych zlewnią potoku Krzczonowskiego to: Tokarnia, Krzczonów, Skomielna Czarna, Bogdanówka i Więciorka.

Zlewnię otaczają wzniesienia Magury, Koskowej Góry, Parszywki, Balinki, pasmo Kotonia, Stołowa, Łysa i Klimas. Należy ona do Beskidu Makowskiego oraz Beskidu Wyspowego [Kondracki 2000].

Głównym źródłem zanieczyszczeń spośród dopływów potoku Krzczonowskiego, ze względu na zabudowę i gęstość zaludnienia terenu przyległego do koryta, są potoki Bogdanów, Więciorka i Proszków. Teren ten jest najmocniej przekształcony antropogenicznie. Również w tych częściach zlewni mamy do czynienia z największym stopniem ingerencji w naturalny bieg potoku Krzczonowskiego.

Sieć dróg powiatowych o łącznej długości 25 km oraz dróg podstawowych (28 km) przebiega w znacznej części równoległe do brzegów koryta, co (wraz z mostami) przyczyniło się do przeprowadzenia regulacji koryta, umocnienia brzegów i korekcji progowej.

Górne partie potoku charakteryzują się znacznym wcięciem w dno doliny. W górnych partiach części centralnej, gdzie przeprowadzono badania, dolina ulega poszerzeniu, a szerokość terasy zalewowej osiąga kilkadziesiąt metrów.

Odcinek badawczy charakteryzuje się umocnieniem dna i brzegów, przeprowadzoną korekcją progową w zakresie koryta niskiej wody i stosunkowo płaską i szeroką (ok. 30–40m) terasą zalewową brzegu prawego. Brzeg lewy, w trakcie przejścia wezbrania nie zapewnia tak znacznej przepustowości dla wód powodziowych i dlatego warunki ruchu wody na znacznie szerszym brzegu prawym, wpływają bardzo silnie zarówno na ogólną przepustowość całego koryta wielkiej wody, jak i na samo koryto wody niskiej. Obszar ten jest porośnięty roślin-

nością krzewiastą, której parametry ulegają znaczącej zmianie w czasie okresu wegetacyjnego, wpływając na parametry ruchu wody w czasie przejścia wezbrania.

### **CEL OPRACOWANIA**

Zamiarem niniejszego opracowania jest przedstawienie metody liczbowego opisu geometrycznych parametrów roślinności wpływających bezpośrednio na przepustowość i stabilność koryta wielkiej wody. Ze względu na znaczne sezonowe zróżnicowanie szorstkości terenu zalewowego, wynikające z rozwoju roślinności, metoda jej opisu liczbowego musi w sposób reprezentatywny przedstawiać zmiany w strukturze roślinnej związane z rozwojem roślinności i zapewnić możliwość zastosowania tych wyników do obliczenia oporów przepływu i przepustowości koryta wody wezbraniowej.

### **METODYKA BADAWCZA**

W okresie zimowym i letnim przeprowadzono na terenie zalewowym potoku Krzczonowskiego pomiary parametrów geometrycznych roślinności.

Pomiary te polegały na wyznaczeniu przekrojów poprzecznych o długości 20 m, na których wykonano pełny obmiar roślinności krzewiastej, odnosząc liczbę roślin i odgałęzień roślinnych do poszczególnych poziomów wysokości rośliny oraz do powierzchni terenu zajmowanego przez nie.

Wyznaczenie parametrów pojedynczej rośliny, takich jak: wysokość, średnica, liczba i długość rozgałęzień roślinnych nie pozwala na jednoznaczne określenie jej wpływu na warunki ruchu wody. Dopiero zbadanie tych parametrów dla większego skupiska roślin, w ujęciu statystycznym, pozwala na odniesienie tak pozyskanych wyników do zmian parametrów hydraulicznych podczas przejścia wezbrania [Florek 2002].

Badania pozwoliły na określenie całkowitej względnej powierzchni opływanej roślin, liczebności rozgałęzień roślinnych, liczby roślin na badanych odcinkach i rozkładu ich liczebności wraz z wysokością.

Ponieważ wpływ roślinności dotyczy całej zajmowanej przez nią powierzchni, nie można traktować jej jako przeszkodę lokalną. W tym przypadku posługiwanie się współczynnikiem strat miejscowych nie przyniesie dobrych rezultatów.

Współczynnik szorstkości terenu zalewowego można uzależnić od parametrów występującej na nim roślinności:

$$n = \exp\{C_T [0,0133(\ln vR)^2 - 0,0322(\ln vR) + 0,145] - 4,16\}$$

gdzie:  $C_T$  – indeks kategorii traw wybierany w przedziale od 0 do 10,  
 $vR$  – parametr prędkości [ $\text{ms}^{-1} \text{m}$ ].

Metoda ta uzależnia w głównej mierze rezultat od indeksu roślinności i kategorii traw, gdzie roślinność podzielona jest na przedziały wysokości.

Próba określenia współczynnika szorstkości, w odniesieniu do terenu zajmowanego przez roślinność, napotka jednakże na trudności, ponieważ wpływ roślinności na opory ruchu wody zmienia się wraz z napełnieniem koryta. Przy niskim stanie wody, to jest, gdy roślinność pozostaje znacznie wyższa od napełnienia, ruch wody odbywa się po podłożu w strefie, gdzie roślinność nie posiada praktycznie żadnych rozgałęzień, stąd jej wpływ na opory ruchu jest mały. Następną fazą pojawia się, gdy poziom zwierciadła wody podnosi się, osiągając poziom, gdzie rośliny silnie się rozgałęziają. W tych warunkach rośnie zarówno powierzchnia całkowita rośliny, jak i sumaryczna powierzchnia jej opływu przez wodę. Powoduje to znaczne zwiększenie oporów ruchu i w konsekwencji również wzrost sił oddziałujących na roślinność. W efekcie przy dalszym wzroście napełnienia, roślinność może ulec znacznemu ugięciu, położeniu lub nawet złamaniu. Następuje wówczas znaczna zmiana średniego współczynnika szorstkości całego układu złożonego z koryta i terenu zalewowego. Jak długo jednak roślinność zachowuje swoje naturalne położenie, a napełnienie nie przekracza pewnej wartości zależnej od wytrzymałości roślin na zginanie [Kouwen, Li 1980], zachodzi bezpośrednia zależność pomiędzy wzrostem oporów przepływu a wzrostem napełnienia.

Wydaje się, że wartością dobrze opisującą roślinność terenu zalewowego jest, obliczana na podstawie pomiarów geometrycznych parametrów roślinności, powierzchnia roślin opływana przez wodę w czasie ruchu wody w strefie z dominującym wpływem roślinności na opory ruchu wody [Florek 2002; Florek 2004]. Wartość ta pozwala na określenie oporów opływu roślinności  $P_v$ :

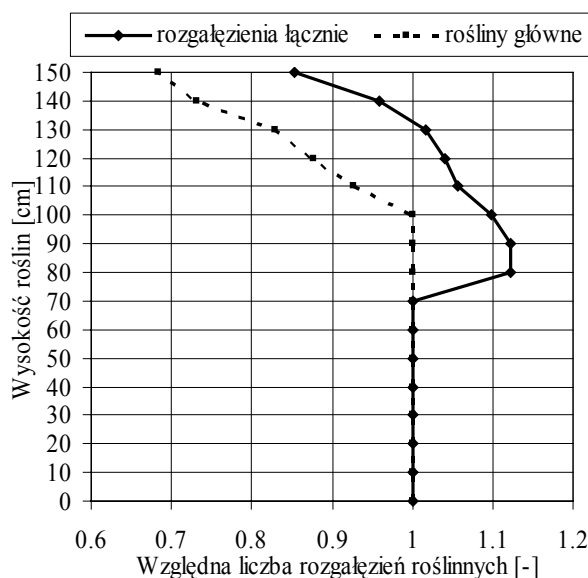
$$P_v = \frac{1}{2} \rho A_r C_r v^2$$

gdzie:  $A_r$  – powierzchnia opływu roślin [ $\text{m}^2$ ],  
 $C_r$  – współczynnik oporów opływu roślin [-],  
 $v$  – prędkość ruchu wody [ $\text{ms}^{-1}$ ].

Określenie parametrów geometrycznych w odniesieniu do zróżnicowanych zbiorowisk roślinnych terasy zalewowej pozwoli na uzyskanie dokładnych wyników współczynnika oporów opływu  $Cr$ , co umożliwi jego praktyczną aplikację.

## WYNIKI BADAŃ

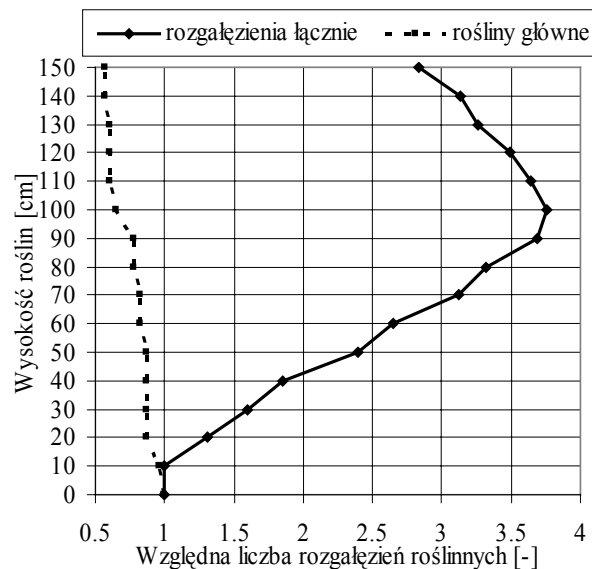
Roślinność terenu zalewowego w okresie zimowym (rys. 1) jest stosunkowo rzadka. Jej zagęszczenie w pomiarach wynosiło  $11,4 \text{ m}^{-2}$ , również średnia liczba rozgałęzień pojedynczej rośliny była niewielka i nie przekraczała  $0,83$  [-].



**Rysunek 1.** Rozkład względnej liczby rozgałęzień roślinnych przed okresem wegetacyjnym

**Figure 1.** Relative number of plants branching in vegetation season

Jak widać, odniesiona do całej wysokości roślin, względna liczba rozgałęzień nie przekracza w poziomie 12% ogólnej liczby roślin. W okresie zimowym do wysokości 70 cm nad terenem nie zanotowano żadnych odgałęzień roślinnych. Sytuacja ulega znacznej zmianie w sezonie wegetacyjnym (rys. 2).



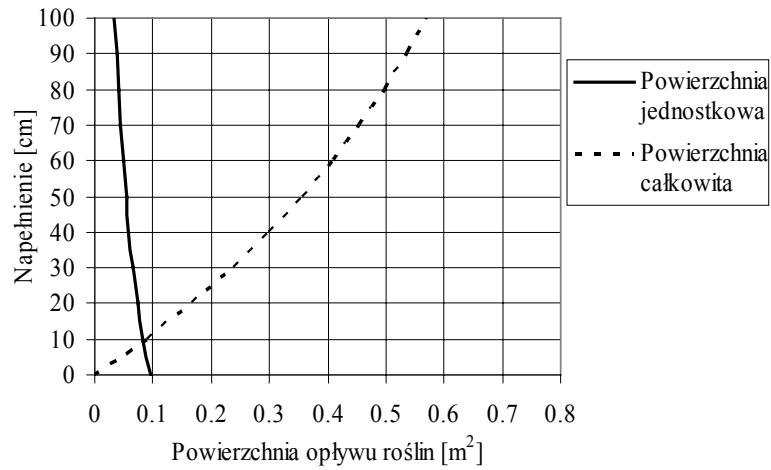
**Rysunek 2.** Rozkład względnej liczby rozgałęzień roślinnych w okresie wegetacyjnym

**Figure 2.** Relative number of plants branching in vegetation season

O odniesieniu do pojedynczej rośliny średnia liczba rozgałęzień przekracza wartość 3,5, co daje ponad czterokrotny wzrost w stosunku do okresu zimowego. W obu przypadkach na wysokości 90 cm roślinność charakteryzuje największy rozrost wyrażony przez całkowitą ilość elementów roślinnych w poziomie.

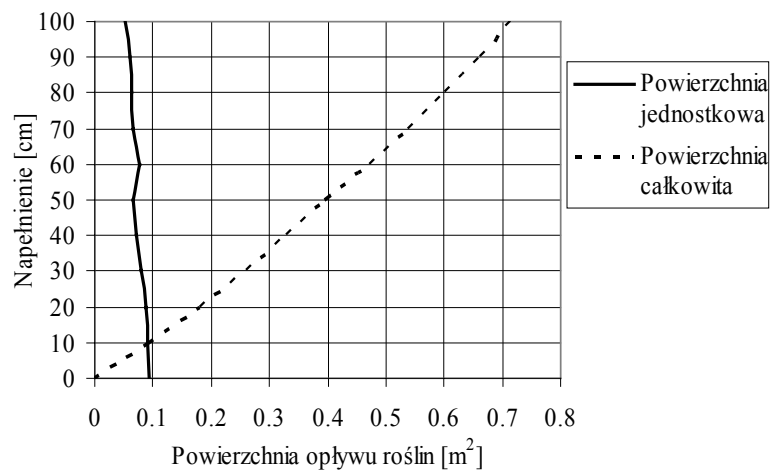
Podstawowym parametrem opisującym wpływ roślinności na opory przepływu może być powierzchnia opływu roślin odniesiona do jednostki powierzchni terenu zajmowanego przez pomierzone rośliny. W okresie pozawegetacyjnym (rys. 3) na wartość powierzchni opływu roślin wpływa przede wszystkim średnica rozgałęzień rośliny, ponieważ ich liczba jest niewielka.

Na wysokości, przy której roślinność jest w stanie przeciwstawić się naporowi wody bez znaczącego ugięcia lub zniszczenia, tj. około 0,5–1 m, następuje szybki wzrost całkowitej powierzchni opływu roślin, który ulega zmniejszeniu na wysokości 1 m, przy czym nie jest to stała wartość. W okresie pozawegetacyjnym (rys. 4) mała liczebność rozgałęzień nie gwarantuje dużego wzrostu ogólnej powierzchni rośliny, natomiast w lecie również na wysokości powyżej 1,1 m szybki spadek liczebności odrostów ogranicza wzrost powierzchni opływanej przez wodę.



**Rysunek 3.** Rozkład powierzchni opływu roślin przed okresem wegetacyjnym

**Figure 3.** Plants streamline area before vegetation season



**Rysunek 4.** Rozkład powierzchni opływu roślin w okresie wegetacyjnym

**Figure 4.** Plants streamline area in vegetation season

## WNIOSKI

Na terenie zalewowym potoku górskiego, którego terasa zalewowa, ze względu na swoje położenie, niewielki spadek poprzeczny i znaczne rozmiary, ma decydujący wpływ na całkowitą przepustowość koryta wielkiej wody, obecność roślinności jest ważnym czynnikiem, którego określenie pozostaje jednym z niezbędnych elementów oceny zagrożenia powodziowego i założeń dobrej regulacji.

Przy napełnieniu 1 m na terasie zalewowej, dodatkowe opory ruchu wody wynikają z całkowitej powierzchni roślin, która na wycinku terenu o powierzchni 1 m<sup>2</sup> wynosi w zimie 0,57 m<sup>2</sup> a w lecie 0,71 m<sup>2</sup>, to jest 25% więcej. Prowadzi to do zwiększenia względnej zmiany napełnienia w czasie wezbrania [Florek 2002] oraz ograniczenia przepustowości koryta. Liczba rozgałęzień na tym poziomie wynosi odpowiednio: 12,5 i 31,5 m<sup>-2</sup>, a średnia względna liczba rozgałęzień odpowiednio 0,83 i 3,5 [-].

W takich warunkach znaczne opory ruchu terenu zalewowego wywołają koncentrację przepływu w centralnej, korytowej części przekroju i zbliżenie się strefy o zwiększonych prędkościach ruchu wody do dna [Florek 1998]. Zwiększy to naprężenia ścinające w tej strefie i przyspieszy powstanie zjawiska masowego transportu rumowiska wleczonego.

## BIBLIOGRAFIA

- Dąbkowski S., Pachuta K. *Roślinność i hydraulika koryt zarośniętych*. IMUZ, Warszawa 1996.
- Florek J. *Przepustowość potoków górskich związana z zabudową biologiczną na przykładzie potoku Tenczyńskiego*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 1998, nr 18, str. 75–86.
- Florek J. *Wpływ roślinności przybrzeżnej na przepustowość potoków górskich*. AR Kraków, 2002, rozprawa doktorska, s. 177.
- Florek J. *Wpływ roślinności terenu zalewowego na przepustowość potoków górskich*. Konferencja naukowa nt: Rola czynników ekologicznych w kształtowaniu środowiska dla potrzeb zrównoważonego rozwoju. Czorsztyn-Niedzica, Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 2004, nr 25, s. 293–301.
- Kondracki J. *Geografia regionalna Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
- Kouwen N., Li R. M. *A stability criteria for vegetated waterways*. International Symposium on Urban Runoff. Kentucky, 28-31 July, Lexington: Univ. Kentucky 1980, s. 203–210.



Dr inż. Jacek Florek  
Katedra Inżynierii Wodnej  
Akademia Rolnicza w Krakowie  
rmflorek@cyf-kr.edu.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Parzonka*

*Jacek Florek*

## **INFLUENCE OF FLOOD TERRACE PLANTS ON CAPACITY OF FLOW AND STABILITY OF HIGH WATER CROSS-SECTION**

### **SUMMARY**

The area of  $Q_{10\%}$  flood in the over-flood terrace is characterized by irregularity in longitudinal valley profile. The areas of flat, bright flood terrace with small slope in cross-section appears rarely. This kind of stream will run often under deep erosion conditions and the terrace of small dimensions appears on one or both riversides depending on hypsometry and the stream situation.

In these conditions the plants cover low water banks and the bushes are dominating the floods plain. This influence during the flood event causes the impact of plants on the flow. The direct effects are: the narrowing downstream and concentrating main flow area in the central part of the low water stage cross-section, changes in velocity profile on the flood terrace with plants as in the transitional plants adjacent area and in the central part of the stream bed. The plants on flood plain are contributing to increase the velocity also in the bottom zone of main channel.

The subject of this paper is the analysis of water flow process inside of plants occupying the zone on flood terrace and its indirect influence on hydrodynamic stability of the main part of channel.

Due to the influence of plants during increase of water level the roughness coefficient will change.

The measurements were conducted in cross-sections of Krzczonowski stream. The geometrical parameters of bushes under natural conditions were taken to estimate its influence on central part of channel with coarse-grained bottom during the flood passage.

**Key words:** plants geometry, plants streamline area, flow resistance, river channel capacity, critical shear stresses