

# BYSTRZE O ZWIĘKSZONEJ SZORSTKOŚCI JAKO ELEMENT EKOLOGICZNEJ STABILIZACJI POTOKÓW GÓRSKICH

## THE RAPID HYDRAULIC STRUCTURE WITH INCREASED ROUGHNESS AS AN ECOLOGICAL ELEMENT FOR MOUNTAIN STREAM BED STABILIZATION

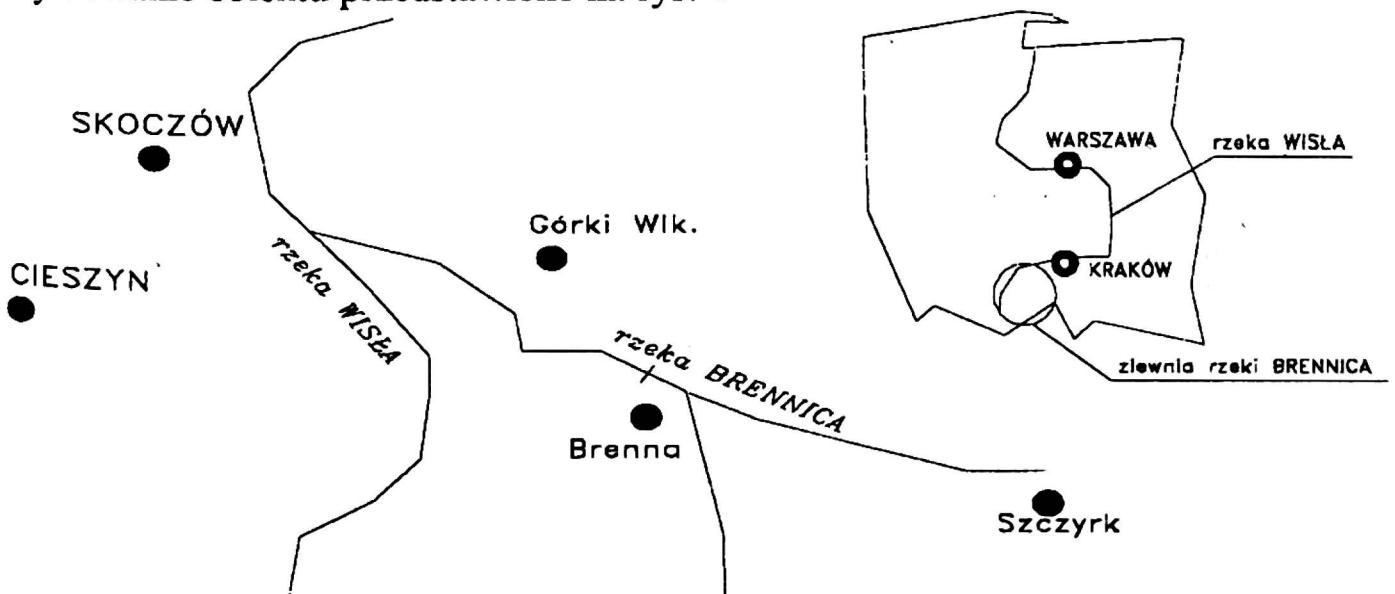
*Artur Radecki-Pawlik<sup>1</sup>, Ryszard Ślizowski<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Akademia Rolnicza w Krakowie - Katedra Inżynierii Wodnej

<sup>2</sup> Akademia Rolnicza w Krakowie - Zakład Zaopatrzenia Osiedli w Wodę i Kanalizacji

### Wstęp

Z praktyki inżynierskiej wiadomym jest, że rekonstrukcja budowli wodnej sprawia o wiele więcej problemów aniżeli budowa nowego obiektu [Ślizowski, Radecki-Pawlik, 1996]. Decyzja o rekonstrukcji jest podejmowana w zależności od tego w jakim procencie budowla została uszkodzona. W przypadku gdy elementy konstrukcyjne budowli nie zostały całkowicie zniszczone należy budowlę rekonstruować. Decyzję o budowie od podstaw, czy rekonstrukcji należy podjąć na podstawie wizji terenowej i szczegółowej inwentaryzacji obiektu. Zbyt rzadko w tego typu decyzjach korzysta się z metod naukowych opierających się na badaniach modelowych, co zazwyczaj jest spowodowane brakiem środków i ograniczeniami czasowymi. Po zniszczeniu stopnia betonowego na rzece Brennica w roku 1986 podjęto decyzję o rekonstrukcji tego obiektu, poprzez wybudowanie bystrza o zwiększonej szorstkości. Stopień ten znajduje się w kilometrze 7+964 biegu rzeki.]. Usytuowanie obiektu przedstawiono na rys. 1

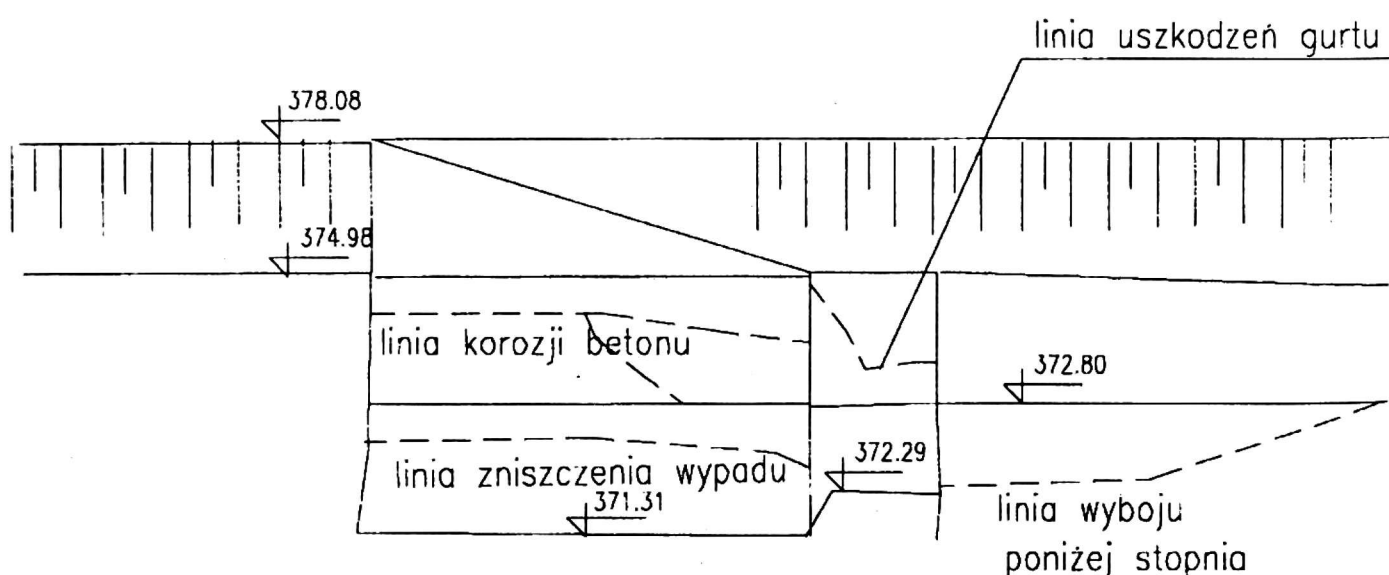


Rys. 1 Usytuowanie badanego obiektu  
Fig. 1 Location of a research site.

Należy podkreślić, że uszkodzony stopień, będąc ostatnim obiektem odcinka regulacji rzeki spełniał ważne zadanie stanowiąc podparcie dla pozostałych stopni i progów.

### Metodyka badań

Podczas wizji lokalnej oceniono procentowo zniszczenie istniejącego stopnia betonowego, stwierdzając największe zniszczenia na wypadzie obiektu oraz kierownicach bocznych. Nie uległ zniszczeniu natomiast korpus stopnia i na tej podstawie podjęto decyzję o rekonstrukcji. Na rysunku 2 przedstawiono zniszczony stopień betonowy.



(skala skazona)

Rys. 2 Zniszczony stopień betonowy na rzece Brennica.

Fig. 2 Damaged river sill in the Brennica River.

Podczas 19-letniej eksploatacji stopnia dno poniżej obiektu obniżyło się o 2 m. Obniżenie dna nastąpiło prawdopodobnie w wyniku nielegalnego pobierania żwiru z koryta rzeki poniżej wypadu stopnia. Ściana spadowa i przyczółki stopnia pozostały nienaruszone, i na tej podstawie postanowiono przeprowadzić rekonstrukcję stopnia budując w oparciu o istniejącą konstrukcję bystrze o zwiększonej szorstkości [Radecki-Pawlik, 1993].

Bystrza o zwiększonej szorstkości to odcinki koryta o dużym spadku i małej długości z wytworzoną dużą szorstkością poprzez wbudowanie w obiekt kamieni o wielkości około 0,4 - 1,0 m. [Ratomski, 1992], [Ślizowski, 1993]. Przy konstruowaniu bystrzy bardzo istotnym jest ustalenie wielkości kamieni, tworzących szorstką powierzchnię bystrza. Wielkość kamieni na bystrzu można obliczyć

wieloma sposobami. W Austrii Niel [Niel, 1960] zaproponował obliczenie wielkości kamieni na bystrzu jako:

$$D = h I \quad [m] \quad (1)$$

gdzie:

D - wielkość kamieni [m]

h - głębokość wody [m]

I - spadek bystrza [-]

Zależność powyższa może być stosowana przy przepływach poniżej  $9 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ; dla współczynnika wydatku przelewu  $\mu = 0,56$ , odpowiada to głębokości 2,7 m na koronie bystrza. Szerokość w/g Niela [1960] bystrza powinna wynosić  $(12-15)H$  głębokości bystrza. Zagadnieniem obliczania prędkości na bystrzu zajmowali się Scheuerlein i Hartung [Scheuerlein, 1968]. Badali oni bystrza o spadkach 1:1,5; 1:2,5; 1:5; 1:10 i niezmiennej szorstkości uzyskanej przez wbudowanie kamienia łamanego o wielkości 0,1 - 0,4 m. Na podstawie wyników badań określili prędkość średnią na bystrzu z zależności Darcy'ego Weisbacha:

$$V = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \sqrt{h_s \sin \varphi} \quad (2)$$

gdzie:

V - prędkość średnia w przekroju [ $\text{ms}^{-1}$ ]

$h_s$  - głębokość średnia wody [m]

$\varphi$  - kąt nachylenia bystrza

$\lambda$  - bezwymiarowy współczynnik oporów liniowych, określony z zależności:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -3,2 \log \left( c \frac{k}{4 h_s} \right) \quad (3)$$

gdzie:

$$c = \beta_a (1,7 + 8,1 k_{\max} \sqrt{W \cdot \sin \varphi}) \quad (4)$$

$$\beta_a = 1 - 1,3 \sin \varphi + 0,08 \frac{h_s}{k} \quad (5)$$

gdzie:

$\beta_a$  - współczynnik napowietrzenia

$k_{\max}$  - wysokość maksymalna kamieni wystających ponad płytę bystrza [m]

k - wysokość średnia kamieni wystających ponad płytę bystrza [m]

W - ilość kamieni na  $1 \text{ m}^2$  bystrza.

Knauss [1980] w oparciu o doświadczenia Scheuerleina [1968] opracował podstawowe zasady projektowania bystrzy: optymalny spadek bystrza przyjmuje jako równy 1:8; 1:10, wielkość kamieni ustala z zależności:

$$D = h_s 10 \operatorname{tg} \varphi \quad (6)$$

gdzie:

$h_s$  - średnia głębokość wody na bystrzu [m]

$\varphi$  - kąt nachylenia bystrza.

W tabeli 1 przedstawiono w/g Knaussa zależność wielkości kamieni na bystrzu od przepływu.

Tabela 1. Zależność wielkości kamieni od przepływu

Table 1. Stone dimension versus water discharge

Wielkość kamieni Dimension of a stone [m]	Przepływ Flow [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	Przepływ Flow [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	Przepływ Flow [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
0,6	2,50	2,70	3,70
0,8	4,60	4,90	5,80
1,2	7,00	7,60	8,90

Projekt techniczny rekonstrukcji stopnia betonowego na rzece Brennicy. wykonano w roku 1987 korzystając z doświadczeń autorów zagranicznych [Knauss, 1980, Niel, 1960, Scheuerlein, 1968] oraz wytycznych projektowych Hydroprojektu,

### Parametry techniczne Bystrza na rzece Brennicy

W tabeli 2 przedstawiono dane hydrologiczne rzeki Brennicy w km 7 + 964

Tabela 2. Przepływy charakterystyczne rzeki Brennicy w km 7 + 964

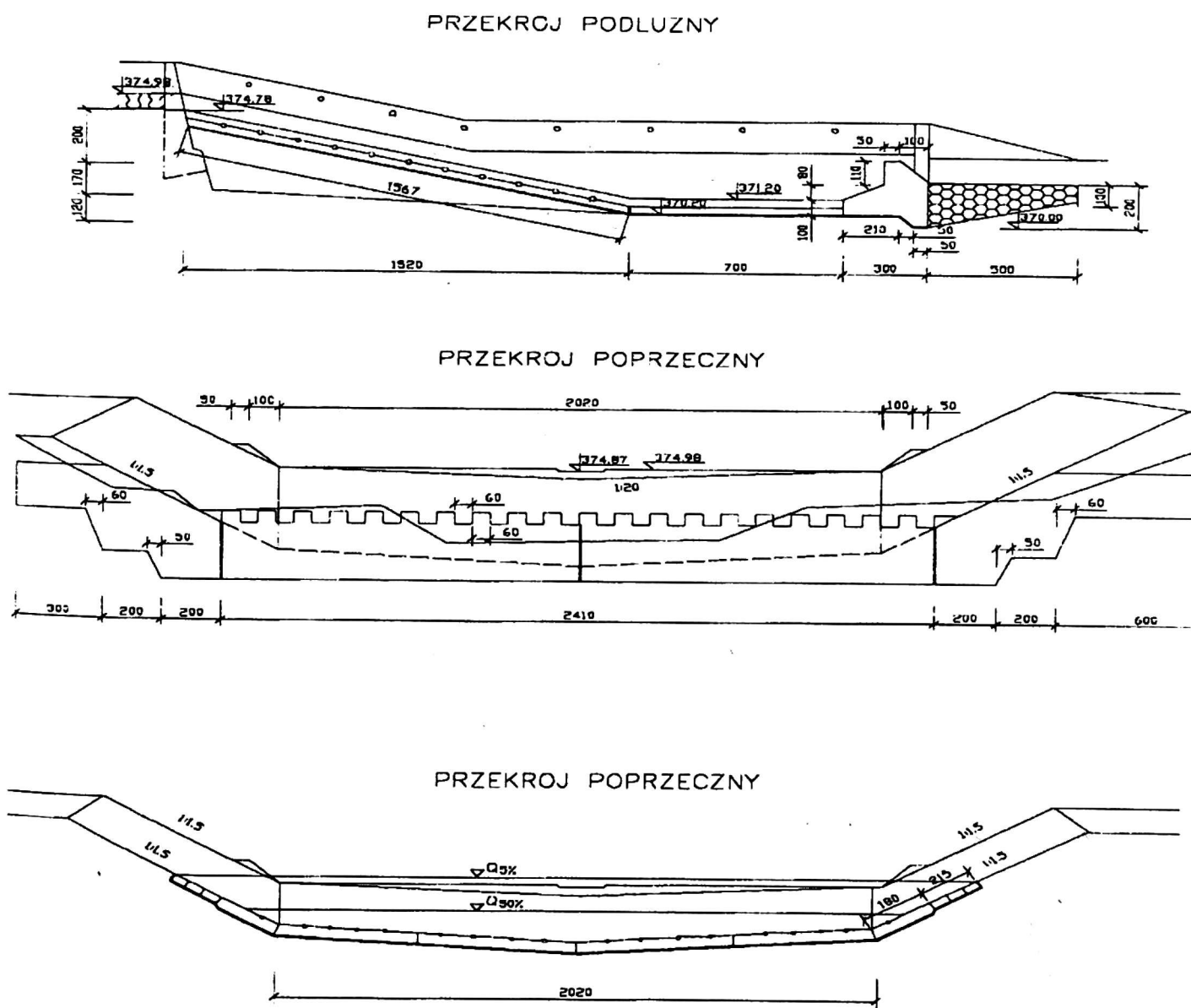
Table 2. Characteristic discharges for the Brennica River site in 7 + 964 km

Lp.	Przepływ charakterystyczny Characteristics of flow	Wielkość przepływu Ratio of flow [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
1	NNQ - niski low	0,033
2	SNQ - średnio niski medium low	0,21
3	SRQ - średni medium	1,58
4	SWQ - średni wysoki medium high	57,20
5	Q <sub>50%</sub>	32,00
6	Q <sub>5%</sub>	173,00

Obliczenia hydrauliczne przeprowadzono dla przepływów  $Q_{50\%}$  i  $Q_{5\%}$ , jako przepływów miarodajnego i kontrolnego. Obliczenia przeprowadzono różnymi metodami:

- dla stopnia betonowego w/g Chowa [Chow, 1959];
- dla bystrza w/g wytycznych Hydroprojektu [Radecki-Pawlik, Wójcik, 1987];
- dla bystrza w/g metody USBR II przedstawionej przez Dziewońskiego [Radecki-Pawlik, 1993]

Powyższych obliczeń nie przedstawiono w opracowaniu gdyż są one powszechnie znane i nie wnoszą nowych elementów zagadnienia poruszanego w niniejszym artykule. Do dalszych analiz przyjęto dane uzyskane na podstawie metody USBR II. Na rysunku 3 przedstawiono schematy projektowanego bystrza.



Rys. 3 Projektowane bystrze o zwiększonej szorstkości na rzece Brennica.  
 Fig. 3 Rapid hydraulic structure on the Brennica River - the design plots.



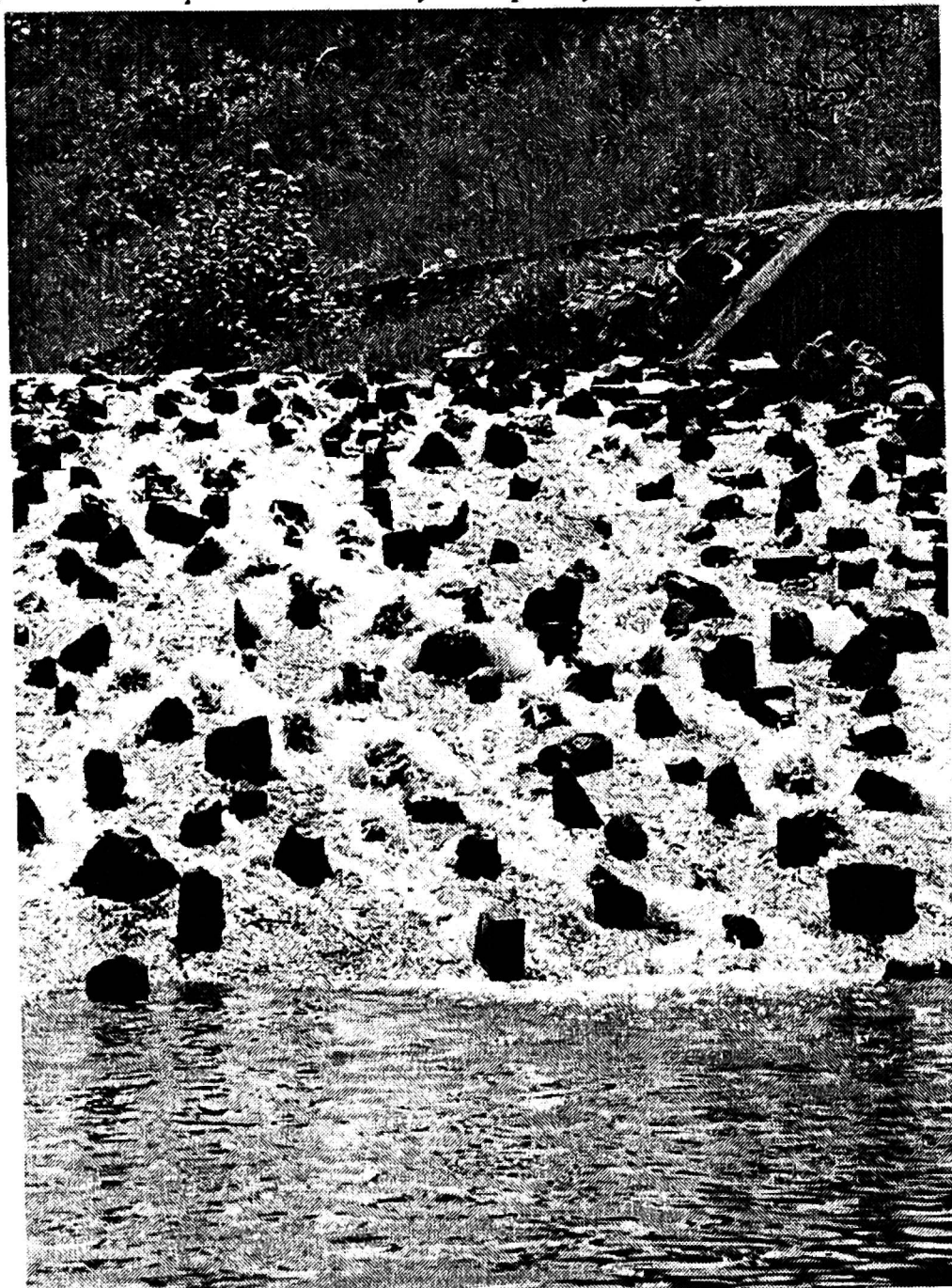
Na podstawie doświadczeń Niela, Knaussa i Scheuerleina obliczono w zależności od przepływu na bystrzu wielkości kamieni tworzących szorstkość. W tabeli nr 3 przedstawiono wielkości kamieni w zależności od przepływu miarodajnego i kontrolnego.

Tabela 3. Wielkość kamieni na bystrzu.

Table 3. Stones dimension used for the rapid

Metoda Method	Wielkość kamieni przy przepływie miarodajnym $Q_{50\%}$ Stone dimensions at determinant [m]	Wielkość kamieni przy przepływie kontrolnym $Q_{5\%}$ Stone dimensions at determinant [m]
Niel	0,2	0,6
Knauss	0,4	1,0

W wyniku obliczeń ustalono wielkość kamieni na projektowanym bystrzu - 0,4 m. Na fotografiach 1 i 2 przedstawiono bystrze po wykonanej rekonstrukcji.



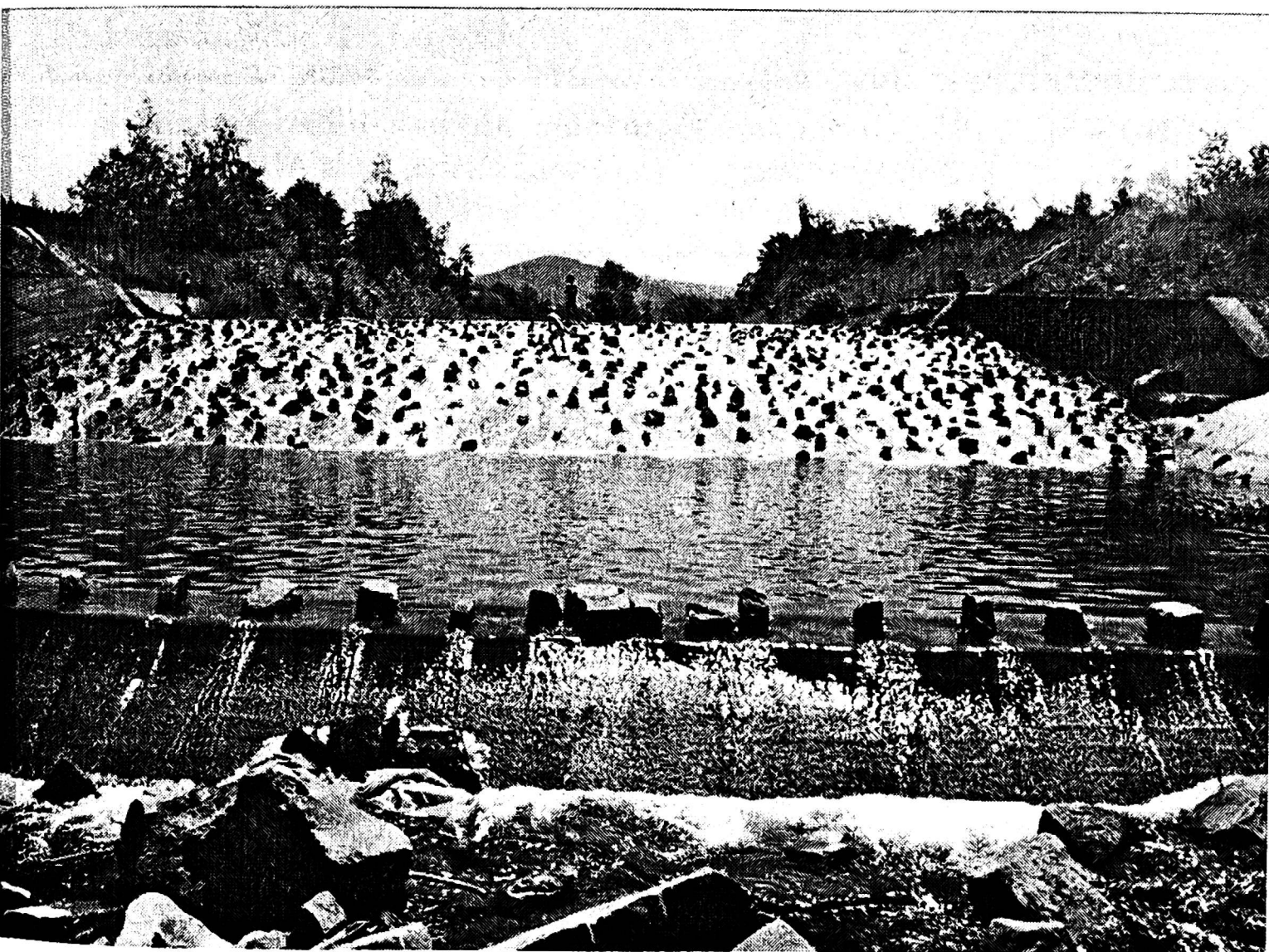


Foto. 1, 2. Bystrze po rekonstrukcji  
Photos 1, 2. Rapid hydraulic structure after reconstruction

### Wnioski

1. Bezpośrednią przyczyną zniszczenia stopnia betonowego była dewastacja koryta poniżej obiektu, poprzez nielegalny pobór żwiru.
2. Przy rozpatrywaniu problemów związanych z rekonstrukcją zniszczonych obiektów powinno się korzystać z wyników badań naukowych.
3. W porównaniu z betonowym stopniem tradycyjnym bystrze stanowi naturalny element krajobrazu rzeki.
4. W dniu 5.08.1991 odnotowano przepływ  $33,8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  czyli większy od przepływu miarodajnego  $Q_{50\%}$ . Konstrukcja bystrza po przejściu tego przepływu nie uległa uszkodzeniu.
5. Po 8 latach eksploatacji bystrza zauważono, że kamienie z piaskowca nie nadają się do wbudowania w bystrza, gdyż ulegają ścieraniu co powoduje znaczne zmniejszenie szorstkości.

## Literatura

- [1] DZIEWOŃSKI Z., 1993, *Rolnicze zbiorniki retencyjne*, PWN, Warszawa.
- [2] CHOW V.T., 1959, *Open channel hydraulics*, McGraw-Hill, N.York.
- [3] KNAUSS J., 1980, *Drzne skluzy*, Vodni Hospodarstvi, Rada AC1.
- [4] NIEL A., 1960, *Über die vernichtung kinetischer energie durch niedere gefallsstufen*, Wien, Oesterreichische Wasserwirtschaft, Haft 4, 5.
- [5] RATOMSKI J., 1992, *Proekologiczna zabudowa rzek i potoków górskich*. XII Ogólnopolska Szkoła Hydrauliki, Międzyzdroje, 21-25 września. Materiały Szkoły s. 59-68.
- [6] RADECKI-PAWLIK A., WÓJCIK A., 1987, *Remont budowli regulacyjnych na rzece Brennicy w km. Od 7+964 do 8+215 - projekt techniczny*, CBSiPBW Hydroprojekt o/Kraków.
- [7] RADECKI-PAWLIK A., 1993, *Stopień - bystrze w Brennej na rzece Brennicy jako przykład wariantu remontu istniejącego stopnia klasycznego*. I Krajowa Konferencja Naukowa z Udziałem Gości Zagranicznych nt. „Bezpieczeństwo i trwałość budowli wodnych”, Wrocław - Rydzyna.
- [8] SCHEUERLEIN H., 1968, *Der Rauhgerinneabfluss. Versuchsanstalt für Wasserbau*, Der Technischer Universität. München, Bericht nr 1.
- [9] ŚLIZOWSKI R., 1993, *Bystrza o zwiększonej szorstkości jako element zabudowy potoków górskich*, Rozpr. hab. nr 181, Zesz. Nauk. AR w Krakowie.
- [10] ŚLIZOWSKI R., RADECKI-PAWLIK A., 1996, *Badania bystrza o zwiększonej szorstkości na potoku Brennica w miejscowości Brenna*, Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, ser. Inżynieria Środowiska z. 16, s. 71-77.

## Summary

**The rapid hydraulic structure with increased roughness as an ecological element for mountain stream bed stabilization.** The paper carry on a problem of rebuilding the existing water straight drop structure in Brenna in the Brennica River (Polish, Carpathian mountains) which was changed into the rapid hydraulic structure. The technical project was set up in 1988 and finished in the same year. The structure was rebuilt in the field in early autumn 1990. Artificial roughness of a slope plate of the rapid hydraulic structure was reached by placing cobbles into it. The dimension of cobbles was calculated applying different methods and the optimum value for that dimension was chosen. The cobbles, used for rebuilding purpose were taken directly from the river bed. The structure is environmentally similar to the site. The co-author of the paper was a co-designer of the structure.



Artur Radecki-Pawlik  
Akademia Rolnicza w Krakowie  
Katedra Inżynierii Wodnej  
Al. Mickiewicza 24/28  
31-059 Kraków  
e-mail: RMRADOCK@CYF-KR.EDU.PL.