

BYSTRZE Z KAMIENIA NATURALNEGO JAKO PRZYKŁAD NOWOCZESNEJ, EKOLOGICZNEJ BUDOWLI REGULACYJNEJ W MAŁYCH ZLEWNIACH RZECZNYCH

STONE RAPID HYDRAULIC STRUCTURE AN EXAMPLE OF MODERN HYDRAULIC STRUCTURES IN SMALL RIVER BASINS

Ryszard Ślizowski¹, Artur Radecki-Pawlik²

¹ Akademia Rolnicza w Krakowie - Zakład Zaopatrzenia Osiedli w Wodę i Kanalizacji

² Akademia Rolnicza w Krakowie - Katedra Inżynierii Wodnej

Wstęp

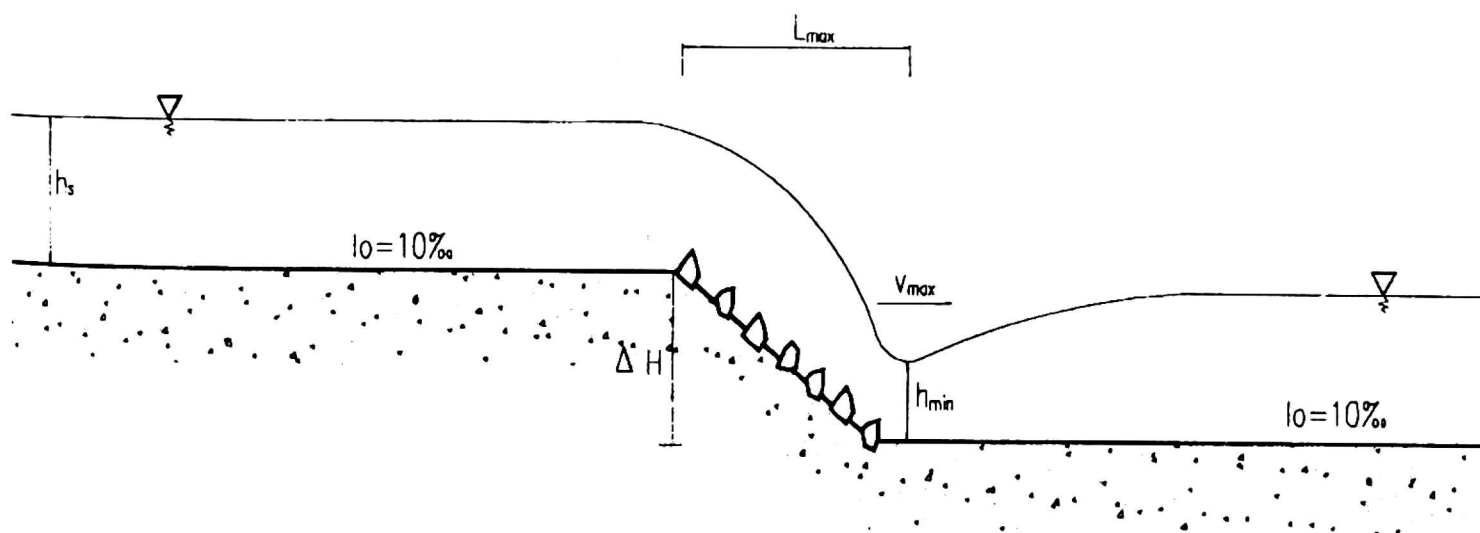
Potok w stanie naturalnym o zarośniętych brzegach znajduje się zwykle w stanie równowagi dynamicznej i biologicznej. Likwidacja zadrzewień koryta stanowi naruszenie jego stanu naturalnego powodujące zmniejszenie szorstkości, a tym samym zaburzenie równowagi dynamicznej. Sprzeczności pomiędzy warunkami przepływu panującymi w potokach zabudowanych w zgodzie z zasadami technicznymi, a wymogami środowiska naturalnego, stały się przyczyną poszukiwania nowych rozwiązań w regulacji potoków górskich. Zastosowanie zabudowy techniczno-biologicznej potoków, zmniejszyło ingerencję w środowisko człowieka, lecz nie spełniło oczekiwań ekologów [Żbikowski, Żelazo, 1993 r.]. Rozwiązania techniczne spełniające wymagania ekologiczne w regulacji naturalnej potoków powinny spełniać następujące ogólne zasady [Kajak, 1992, Ratomski, 1992]:

- bieg potoku należy prowadzić tak, aby jak najmniej różnił się od biegu naturalnego,
- nie należy likwidować istniejących nieregularności koryt, gdyż stanowią one ważny element dla życia biologicznego; należy pozostawić kamienie, nawisy brzegowe, korzenie stanowiące schronienie dla ryb i innych żywych organizmów,
- celowe jest wbudowanie w uregulowane koryto dużych kamieni, które zmniejszając prędkość przepływu przeciwdziałają erozji i powodują zróżnicowanie głębokości, mogące stanowić schronienie dla żywych organizmów,
- skarpy należy umacniać materiałami naturalnymi, jak kamień i świeża faszyna zdolna do porostu,

- dopuszcza się usunięcie istniejących drzew i krzewów jedynie w tych miejscach, gdzie jest to konieczne.

Rozwiązaniem kompromisowym uwzględniającym postulaty ekologów, mogą być metody stabilizacji potoków poprzez wykorzystanie naturalnych elementów zwiększających szorstkość koryta. Jedną z takich metod może być stosowanie bystrzy z kamienia naturalnego o zwiększonej szorstkości [Ślizowski, 1993, Ślizowski, Radecki-Pawlik, 1996], będącą efektem poszukiwań budowli spełniającej wymogi zarówno techniczne jak i przyrodnicze.

Bystrza o zwiększonej szorstkości stosuje się do stabilizacji mniejszych cieków szczególnie górskich i podgórskich [Radecki-Pawlik, 1993]. Budowle te to krótkie odcinki koryta o dużym spadku wynoszącym od 1:3 do 1:15 z wytworzoną dużą szorstkością poprzez ułożenie bloków kamiennych o wielkości około 1 m, w taki sposób aby były one stabilne i maksymalnie zwiększały szorstkość (rys.1) [Ślizowski, 1996], [Peterka., 1964]. Szorstka powierzchnia bystrza powoduje rozpraszanie energii płynącej wody.



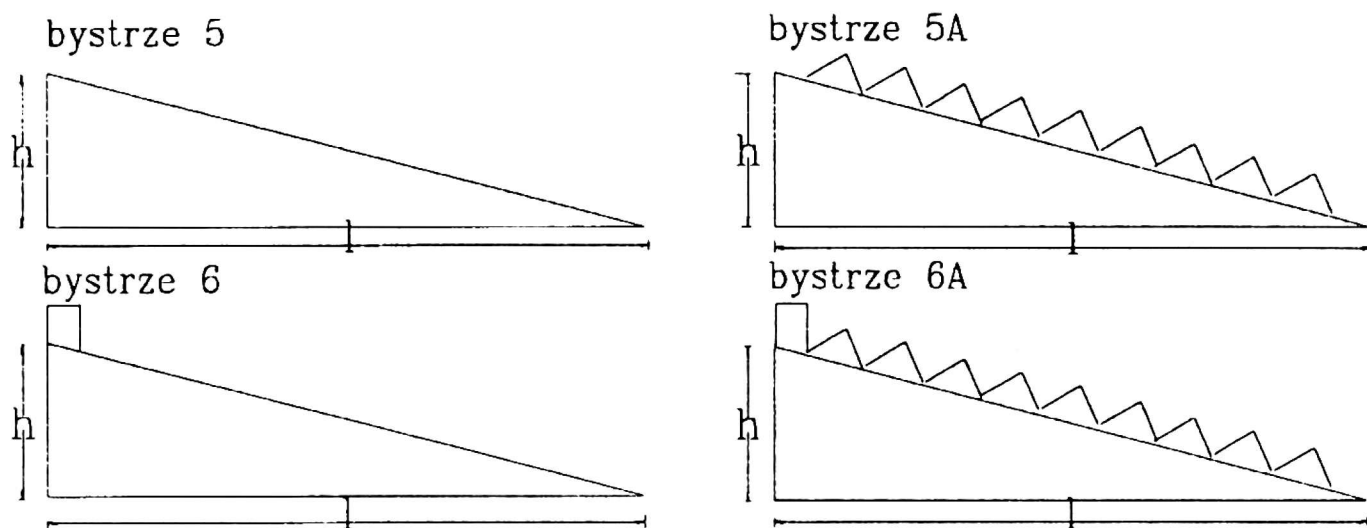
Rys. 1 Schemat bystrza o zwiększonej szorstkości

Fig. 1 Rapid hydraulic structure design plot

Celem niniejszego opracowania jest wykazanie, że zwiększenie szorstkości na bystrzu oraz wbudowanie progę na wlocie bystrza wpływa korzystnie na rozkład prędkości na bystrzu.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono dla czterech rozwiązań konstrukcyjnych bystrzy o zwiększonej szorstkości, których schematy przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2 Schematy badanych bystrzy

Fig. 2 Rapid hydraulic structure laboratory plots

Wysokość bystrzy wynosiła 0,3 m, długość $l = 1,35\text{m}$, nachylenie 1:4,5, a szerokość 0,62 m. Oznaczenia bystrzy 5, 5A, 6, 6A pozostawiono z badań modelowych.

Bystrze 5 wykonane zostało bez progu i z kamieni o wielkości $D = 0,01\text{ m}$. Bystrze 5A wykonane zostało bez progu i z kamieni o wielkości $D = 0,045\text{ m}$. Bystrze 6 wykonane zostało z progiem o wysokości 0,06 m i z kamieni o wielkości $D = 0,01\text{ m}$. Bystrze 6A wykonane zostało z progiem o wysokości 0,06 m i z kamieni o wielkości 0,045 m. Kamienie na bystrzach ułożone zostały w szachownicę. Zastosowanie progu miało na celu podpiętrzenie wody powyżej bystrza w celu ochrony koryta przed erozją i jednocześnie przesunięcie miejsca występowania głębokości krytycznej [Peterka, 1964, Zastera, 1984]]. Prędkości na bystrzu mierzono mikromłynkiem w odległościach co 0,2 m, natomiast w korycie powyżej i poniżej bystrza co 1,0 m. Pomiarami objęto odcinek koryta o długości 4,20 m powyżej bystrza i 12 m poniżej bystrza. W punktach pomiaru prędkości mierzono rzędne zwierciadła wody.

Wyniki badań i dyskusja

Dla czterech rozwiązań konstrukcyjnych bystrzy o zwiększonej szorstkości przy trzech charakterystycznych przepływach mierzono prędkość w osi i w wybranych przekrojach poprzecznych modelu.

Dla przepływu $Q_1 = 0,0245\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ prędkości maksymalne wahały się w granicach $0,806\text{ ms}^{-1}$ - $1,386\text{ ms}^{-1}$. Dla przepływu $Q_2 = 0,0490\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ prędkości maksymalne zmieniały się od $1,212\text{ ms}^{-1}$ do $1,798\text{ ms}^{-1}$. Dla przepływu $Q_3 = 0,0735\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ prędkości maksymalne wynosiły odpowiednio $1,581\text{ ms}^{-1}$ do $2,062\text{ ms}^{-1}$. W punktach

pomiaru prędkości maksymalnych obliczono maksymalne wartości liczby Froude'a, które dla poszczególnych przepływów wynoszą:

- Q_1 - $Fr_{\max 1} = 2,62$
- Q_2 - $Fr_{\max 2} = 2,73$
- Q_3 - $Fr_{\max 3} = 2,77$

Obliczono również minimalne wartości liczb Froude'a:

- Q_1 - $Fr_{\min 1} = 1,16$
- Q_2 - $Fr_{\min 2} = 1,51$
- Q_3 - $Fr_{\min 3} = 1,84$

Na rysunkach 3, 4 i 5 przedstawiono rozkłady prędkości na długości badanych bystrzy.

Bystrze jest budowlą mającą na celu rozproszenie nadmiaru energii. Znając rozkład prędkości i wartości maksymalnych liczb Froude'a na bystrzu, można ustalić prawidłowość działania konstrukcji w aspekcie rozproszenia energii. Zmiany w konstrukcji bystrzy wpływają w sposób istotny na zmianę prędkości i wartości liczb Froude'a na bystrzu. Prędkość i liczba Froude'a są parametrami, które charakteryzują wielkość energii kinetycznej i warunkach do powstania odskoku hydraulicznego.

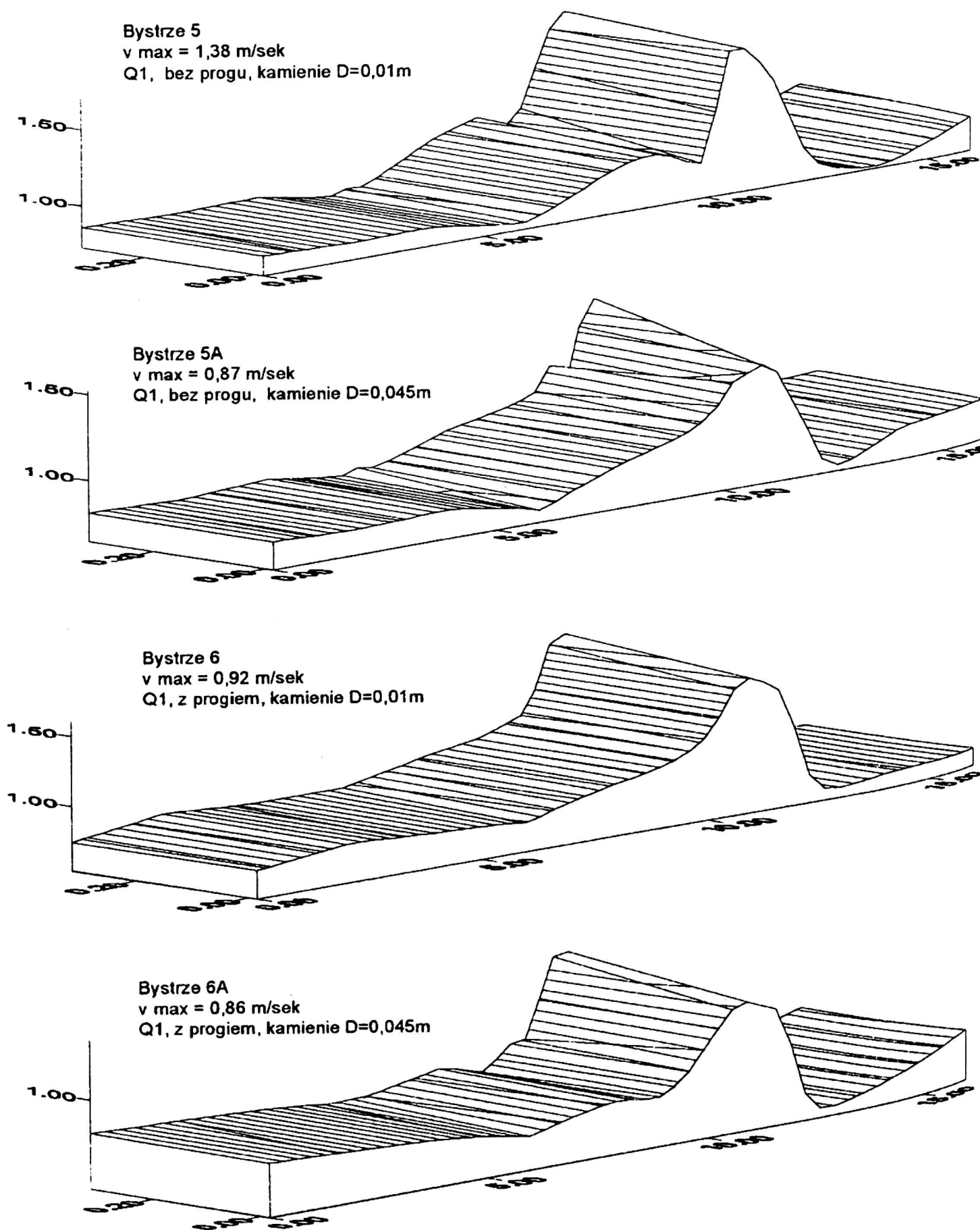
Analizując rozkład prędkości na badanych bystrzach dla przepływu najmniejszego wynoszącego $Q_1 = 0,0245 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, należy stwierdzić:

- największe różnice prędkości maksymalnych wynoszące aż 42% występują pomiędzy bystrzami 5 i 6A ($V_5 = 1,38 \text{ ms}^{-1}$; $V_{6A} = 0,806 \text{ ms}^{-1}$),
- pomiędzy bystrzami 5 i 5A różnica prędkości wynosi 36% ($V_5 = 1,38 \text{ ms}^{-1}$; $V_{5A} = 0,87 \text{ ms}^{-1}$),
- pomiędzy bystrzami 5 i 6 różnica prędkości wynosi 36% ($V_5 = 1,38 \text{ ms}^{-1}$; $V_6 = 0,92 \text{ ms}^{-1}$),
- szczególnie interesująca jest analiza prędkości maksymalnych na bystrzach 6 i 6A gdzie różnica wynosi 9% oraz na bystrzach 5A i 6A gdzie różnica wynosi jedynie 3%.

Analizując rozkład prędkości maksymalnych na bystrzach dla największego przepływu $Q_3 = 0,0735 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ należy stwierdzić:

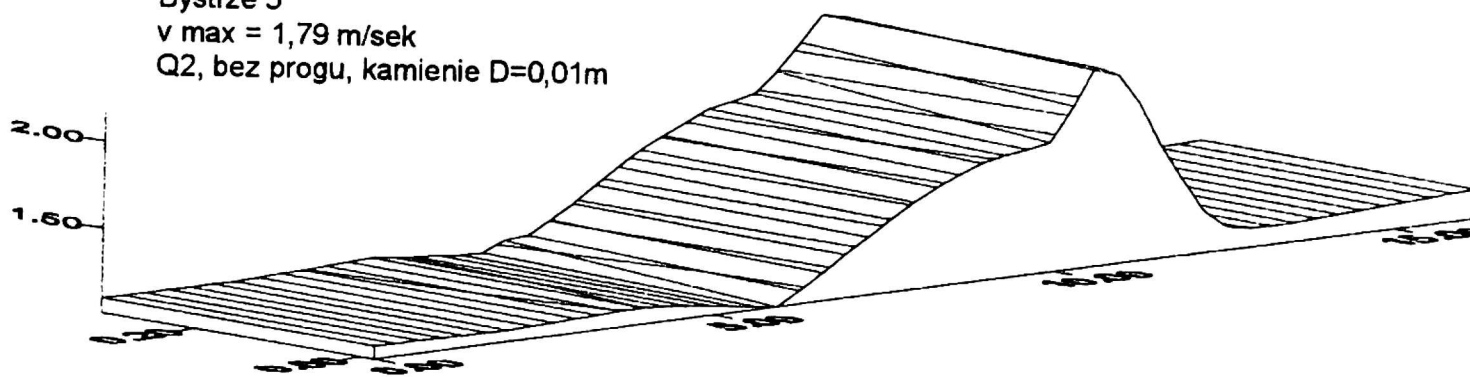
- największe różnice prędkości maksymalnych wynoszące 23% występują pomiędzy bystrzami 5 i 6A ($V_5 = 2,06 \text{ ms}^{-1}$; $V_{6A} = 1,82 \text{ ms}^{-1}$),
- pomiędzy bystrzami 5 i 6 różnica wynosi 11% ($V_5 = 2,06 \text{ ms}^{-1}$; $V_6 = 1,82 \text{ ms}^{-1}$),
- pomiędzy bystrzami 5 i 5A różnica wynosi 16% ($V_5 = 2,06 \text{ ms}^{-1}$; $V_{5A} = 1,72 \text{ ms}^{-1}$),
- pomiędzy bystrzami 6 i 5A różnica wynosi jedynie 5% ($V_6 = 1,82 \text{ ms}^{-1}$; $V_{5A} = 1,72 \text{ ms}^{-1}$),

- pomiędzy bystrzami 6A i 5A różnica wynosi 9% ($V_{6A} = 1,58 \text{ ms}^{-1}$; $V_{5A} = 1,72 \text{ ms}^{-1}$),

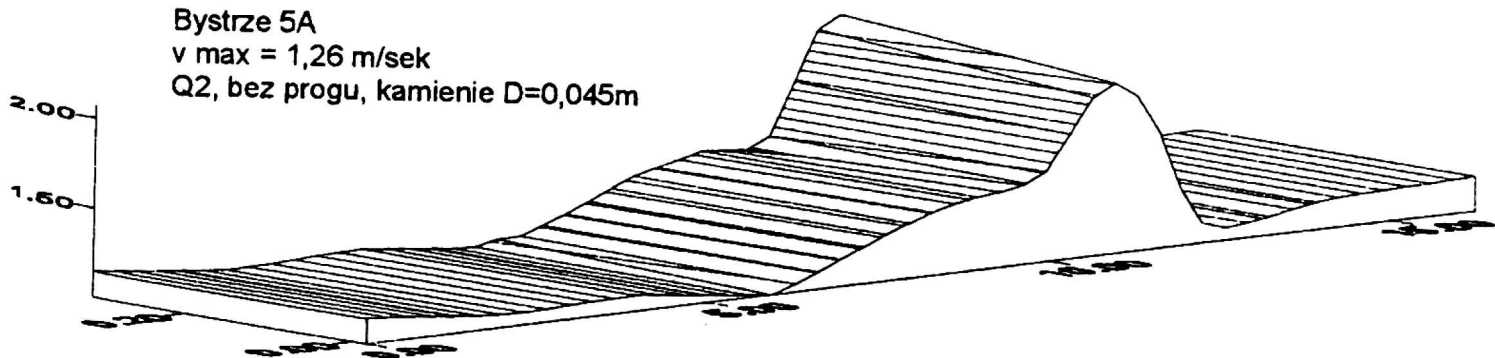


Rys. 3 Rozkład prędkości wody na długości stanowiska badawczego
 Fig. 3 Water velocity distribution along the rapid

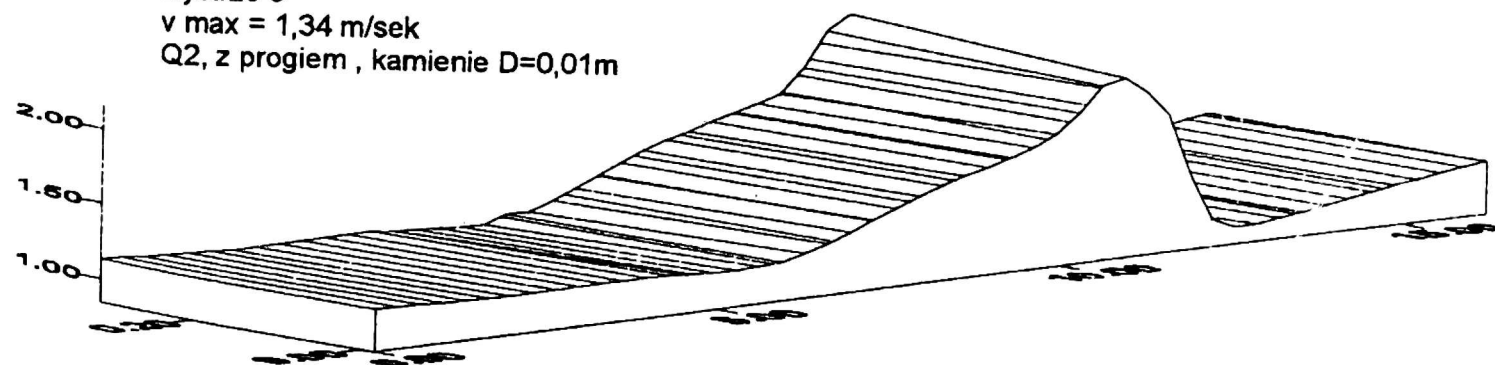
Bystrze 5
 $v_{max} = 1,79 \text{ m/sek}$
Q2, bez progu, kamienie $D=0,01\text{m}$



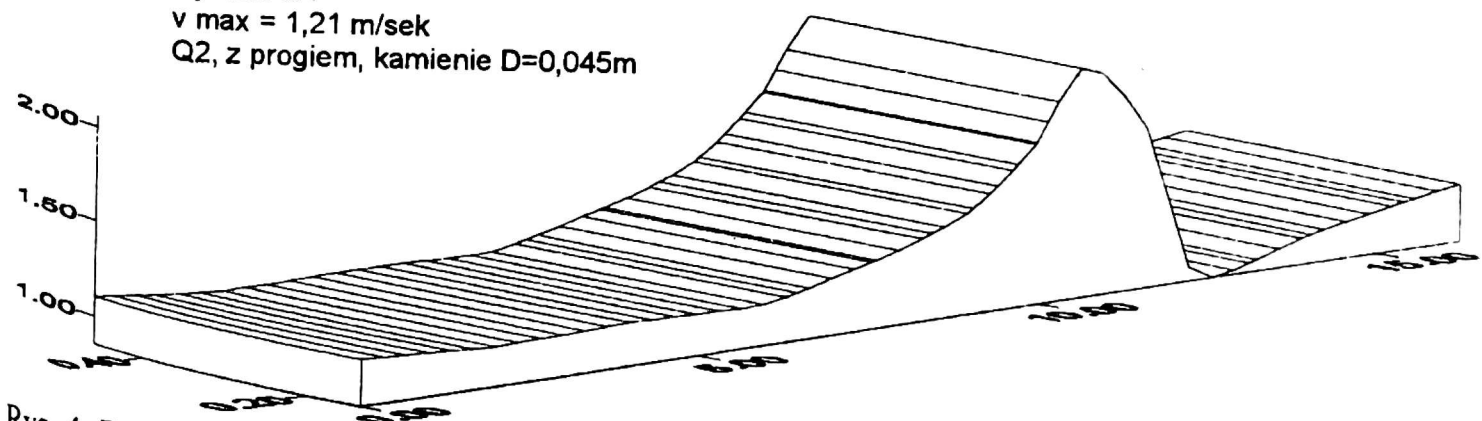
Bystrze 5A
 $v_{max} = 1,26 \text{ m/sek}$
Q2, bez progu, kamienie $D=0,045\text{m}$



Bystrze 6
 $v_{max} = 1,34 \text{ m/sek}$
Q2, z progiem, kamienie $D=0,01\text{m}$

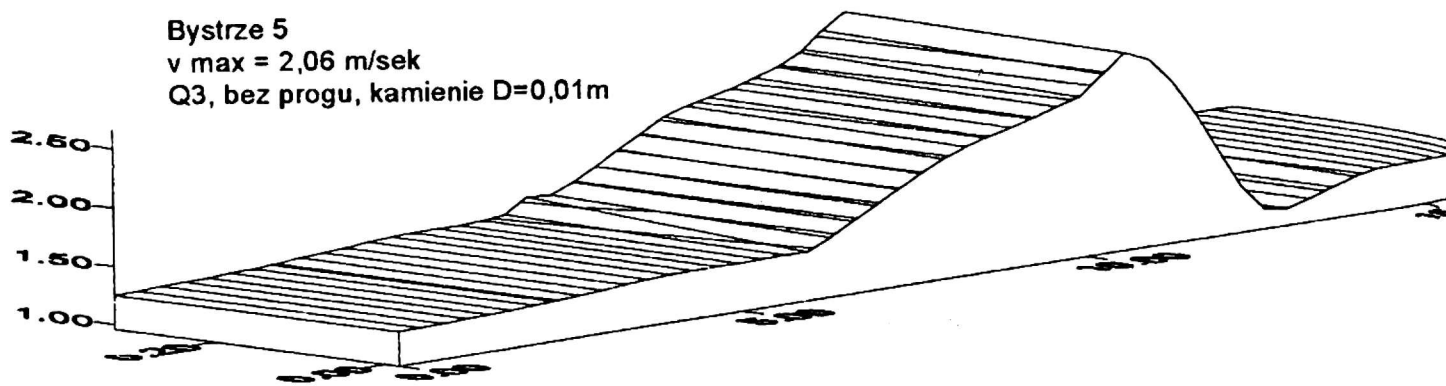


Bystrze 6A
 $v_{max} = 1,21 \text{ m/sek}$
Q2, z progiem, kamienie $D=0,045\text{m}$

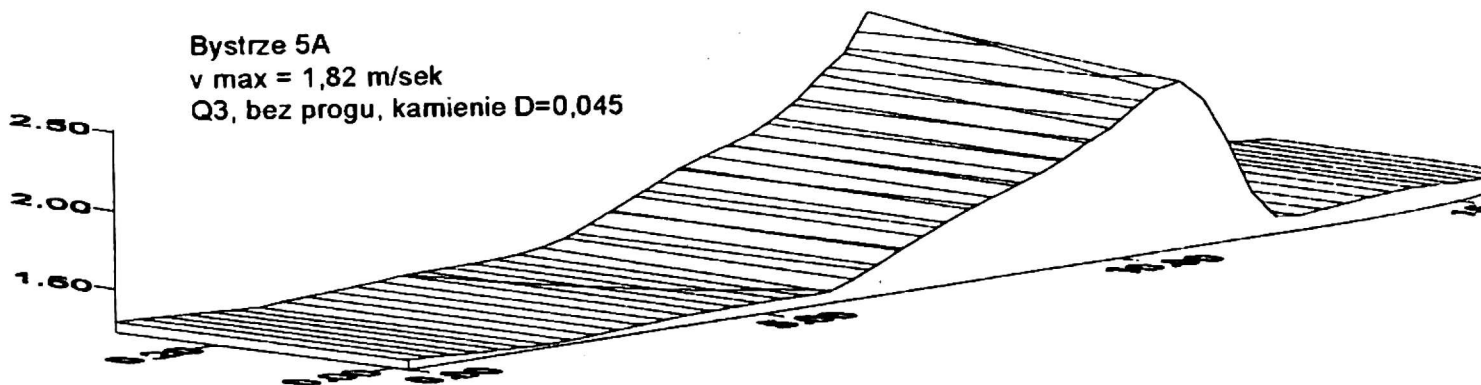


Rys. 4 Rozkład prędkości wody na długości stanowiska badawczego
Fig. 4 Water velocity distribution along the rapid

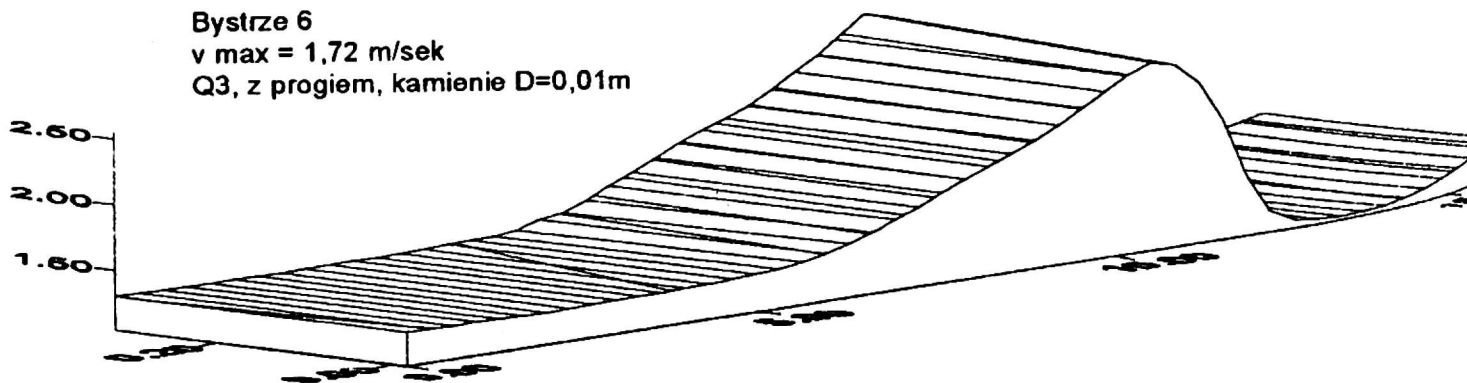
Bystrze 5
 $v_{max} = 2,06 \text{ m/sek}$
 Q3, bez progów, kamienie $D=0,01\text{m}$



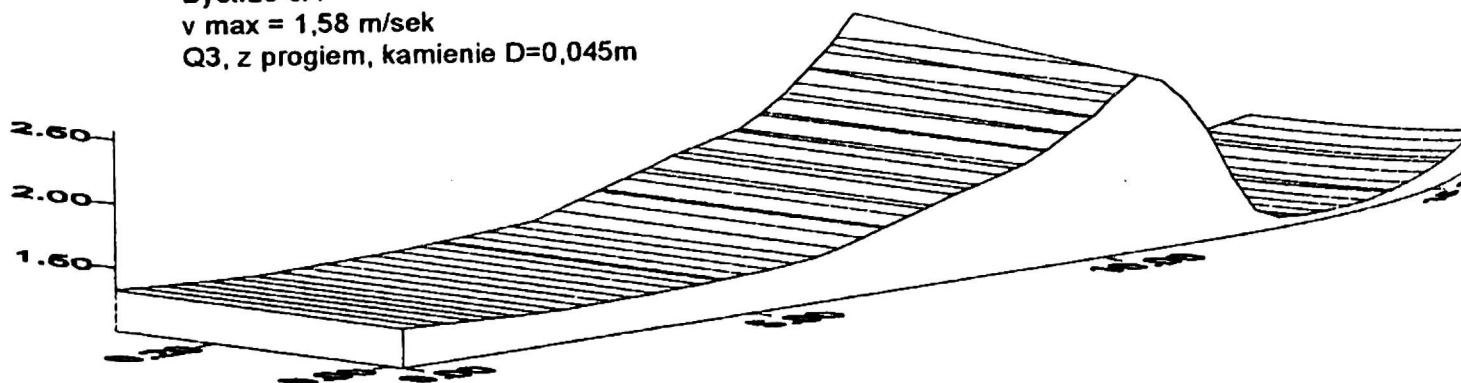
Bystrze 5A
 $v_{max} = 1,82 \text{ m/sek}$
 Q3, bez progów, kamienie $D=0,045$



Bystrze 6
 $v_{max} = 1,72 \text{ m/sek}$
 Q3, z progiem, kamienie $D=0,01\text{m}$



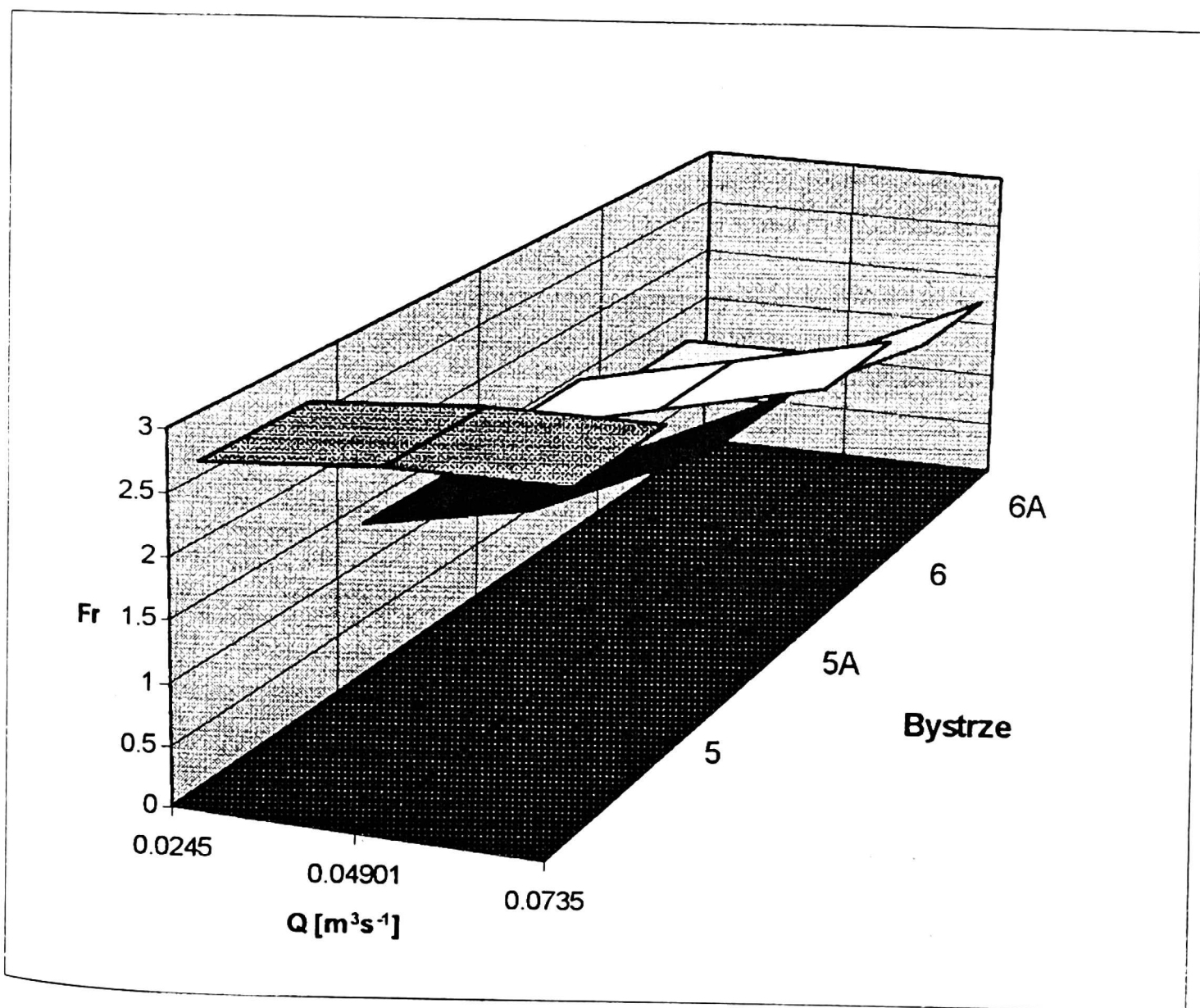
Bystrze 6A
 $v_{max} = 1,58 \text{ m/sek}$
 Q3, z progiem, kamienie $D=0,045\text{m}$



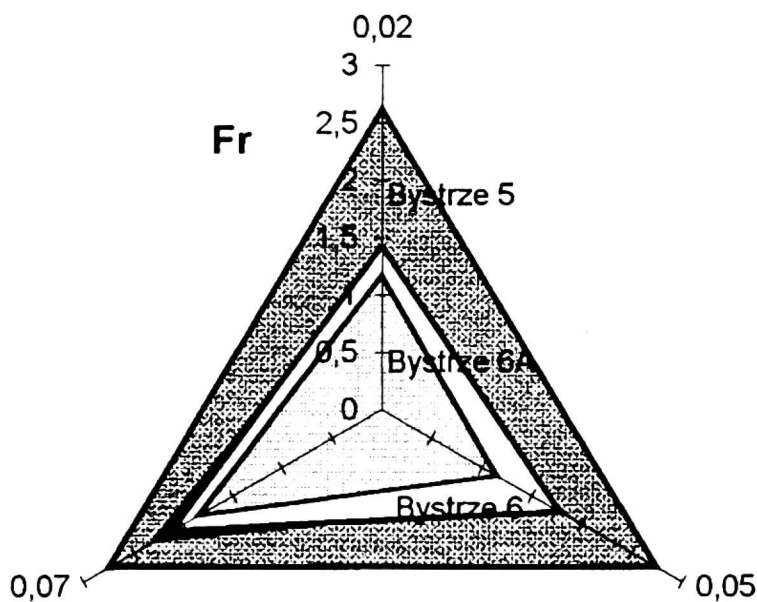
Rys. 5 Rozkład prędkości wody na długości stanowiska badawczego

Fig. 5 Water velocity distribution along the rapid

W wyniku analizy prędkości na badanych bystrzach można stwierdzić, że bystrze 6 z progiem i kamieniami o wielkości 0,01 m ma bardzo zbliżony rozkład prędkości do bystrza 5A bez progu z kamieniami o wielkości 0,045 m. Wynikało by z tego, że można zamiast stosowania dużych kamieni na bystrzu zamienić je na mniejsze ale pod warunkiem, że zastosuje się próg. Wyniki analizy liczb Froude'a przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6 Analiza obliczonych wartości maksymalnych liczb Froude'a
 Fig. 6 Froude'a number values distribution



Rys. 7 Analiza obliczonych wartości liczb Froude'a
 Fig. 7 Froude's number values distribution

Analiza liczb Froude'a miała na celu określenie rodzaju ruchu na bystrzu (liczba $Fr < 1$ ruch spokojny, $Fr > 1$ ruch burzliwy), oraz rodzaju tworzącego się odskoku. Dla liczb $Fr < 2,5$ tworzy się odskok sfalowany i rozproszenie energii w takim przypadku jest bardzo proste np. przez zastosowanie dodatkowego rzędu kamieni poniżej bystrza. Dla liczb $Fr > 4,5$ tworzy się odskok w pełni wykształcony i w takim przypadku do rozproszenia energii wymagane jest konstruowanie specjalnych urządzeń np. niecki wypadowej. Z punktu widzenia praktyki inżynierskiej kłopotliwe jest rozproszenie energii przy liczbach Froude'a zawartych pomiędzy wartościami $2,5 < Fr < 4,5$ gdyż mamy wówczas do czynienia z nic w pełni wykształconym odskokiem hydraulicznym, trudnym do rozproszenia. W przypadkach takich często szuka się rozwiązania, które powoduje zwiększenie energii i jednocześnie liczby Froude'a powyżej wartości 4,5 aby wytworzył się pełny odskok gdyż łatwiejsze jest wówczas jego zatopienie.

W wyniku analizy liczb Froude'a należy stwierdzić, że najmniej pożądany rezultat otrzymano dla bystrza 5, dla którego wartość liczby Froude'a waha się w granicach 2,5 - 4,5.

Wnioski

Analiza dla bystrzy 5A, 6 i 6A wykazała, że wartości liczb Froude'a dla tych bystrzy są poniżej wartości 2,5 czyli na bystrzach tych w wystarczający sposób została zredukowana energia. Oczywiście dla bystrza 6A, w którym zastosowano zarówno próg jak i większe kamienie uzyskano najlepszy rezultat.

W wyniku analizy rozkładu prędkości i liczb Froude'a na bystrzu o zwiększonej szorstkości sformułowano następujące wnioski:

- bystrze skutecznie redukuje warunki sprzyjające wystąpieniu wyraźnego odskoku hydraulicznego u jego podnóża,
- bardzo istotnym jest stosowanie progu na wlocie bystrza, który spełnia rolę zabezpieczenia dna powyżej bystrza przed erozją oraz zwiększa rozproszenie energii,
- kamienie naturalne na bystrzu oprócz skutecznego rozproszenia energii mają także znaczenie architektoniczne wkomponowując budowlę w krajobraz,
- odcinek dna poniżej, bystrza powinno się dodatkowo ubezpieczyć rzędami kamieni lub narzutem kamiennym,
- bystrza o zwiększonej szorstkości mogą stanowić element stabilizacji potoków górskich spełniający wymogi zarówno techniczne jak i ekologiczne, powinny być one stosowane w regulacji naturalnej potoków.

Literatura

- [1] KAJAK Z., 1992, *Ekologiczne skutki zabudowy hydrotechnicznej i wykorzystania wód śródlądowych*. XII Ogólnopolska Szkoła Hydrauliki, Międzyzdroje, 21-25 września. Materiały Szkoły, p. 17-36.
- [2] PETERKA A. J., 1964, *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators*, Engineering Monograph No. 25, Washington, p. 153-188.
- [3] RATOMSKI J., 1992, *Proekologiczna zabudowa rzek i potoków górskich*. XII Ogólnopolska Szkoła Hydrauliki, Międzyzdroje, 21-25 września. Materiały Szkoły p. 59-68.
- [4] 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 na temat: Bezpieczeństwo i Trwałość Budowli Wodnych, Wrocław-Rydzyna, p. 86-92.
- [5] ŚLIZOWSKI R., 1993, *Bystrza o zwiększonej szorstkości jako element zabudowy potoków górskich*, Rozpr. hab. nr 181, Zesz. Nauk. AR w Krakowie.

- [6] 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, p. 71-77
- [7] ŻBIKOWSKI A., ŻELAZO J., 1993, *Ochrona środowiska w budownictwie wodnym*. Materiały informacyjne Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Warszawa.

Summary

Stone rapid hydraulic structure an example of modern hydraulic structures in small river basins. Four different arrangements of cobbles and of an upstream top sill on a stone rapid hydraulic structure plate were taken into consideration. For three different values of run discharges it was found that the construction of the top sill is crucial in terms of dissipating water energy. Model values of the run discharges were: 0.0245, 0.0490 and 0.0735 m³s⁻¹.

Ryszard Ślizowski
Akademia Rolnicza w Krakowie
Zakład Zaopatrzenia Osiedli
w Wodę i Kanalizacji
Al. Mickiewicza 24/28
31-059 Kraków