

**Sławomir BAJKOWSKI, Piotr SIWICKI, Janusz URBAŃSKI**

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW w Warszawie  
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WULS – SGGW

## **Charakterystyka hydrauliczna jazu Jaktorów na rzece Pisia Tuczna**

### **Hydraulic characteristics of Jaktorów weir on Pisia Tuczna River**

**Słowa kluczowe:** jaz ruchomy, warunki przepływu  
**Key words:** movable weir, flow conditions

#### **Wprowadzenie**

Prace inwentaryzacyjne oględzin konstrukcji jazu wykonano w zakresie niezbędnym do przeprowadzenia analiz funkcjonowania obiektu pod kątem oszacowania jego zdolności przepustowej. Prezentowane obliczenia hydrauliczne obejmują:

- analizę warunków przepływu wody w górnym i dolnym stanowisku jazu,
- określenie wzajemnego oddziaływania przepustowości koryta rzeki na wydatki urządzeń przelewowych jazu,
- określenie warunków przepływu wód przez obiekt w okresie poboru wody na stawy oraz w czasie przejścia wezbrań.

#### **Opis ogólny jazu**

Jaz zlokalizowany jest w km 11+760 rzeki Pisia Tuczna w miejscowości Jaktorów. Konstrukcja jazu jest żelbetowa. W płycie fundamentowej znajduje się niecka wypadowa o głębokości 0,30 m i długości 3,80 m. Jaz posiada zasuwowe zamknięcia główne, wyposażone w mechanizmy wyciągowe typu palczatkowego. Trzy otwory przelewowe szerokości 1,70 m przedzielone są filarami grubości 0,30 m i półkolistym kształcie głowy górnej i dolnej. Górna czołowa ściana filarów jest pionowa, a dolna odchylona od pionu w stosunku 5 : 1. Filary kończą się na długości niecki wypadowej. Skrzydła dolne i górne jazu są prostopadłe, wykonane jako monolityczne, z przyczółkami. Na jazie znajduje się kładka szerokości 2,0 m. Umocnienia w górnym i dolnym stanowisku jazu stanowią płyty betonowe ułożone na dnie i skarpach koryta. Zakończeniem umocnień poniżej jazu jest stopień występują-

cy w odległości 9,40 m od ściany czołowej skrzydeł dolnych.

Stan ogólny nadwodnych elementów konstrukcyjnych jazu należy uznać za zły, o czym świadczą liczne pęknięcia konstrukcji i ubytki betonu (Bajkowski i in. 2008). W dobrym stanie są mechanizmy wyciągowe oraz elementy piętrzące zamknięć – zasuw.

## Zakres analiz hydraulicznych

Analizę hydraulicznych warunków przepływu przeprowadzono na podstawie wyzniki obliczeń przepustowości budowli w różnych warunkach przepuszczania wody (Rozporządzenie... 2006) i rozpatrywano:

- przepuszczanie wody przez trzy otwory jazu szerokości 1,70 m, bez zamknięć, w celu dokonania oceny warunków przejścia wód wezbraniowych,
- warunki eksploatacyjne, tzn. utrzymanie NPP z wypływem strumienia spod zamknięć,
- przepuszczanie wody przez trzy otwory jazu z zamknięciami opuszczonymi na próg w zakresie rzędnych wody spiętrzonej od NPP do rzędnej brzegu,
- warunki rozpraszania energii w istniejącej niecce wypadowej.

## Przepustowość koryta rzeki poniżej jazu

Charakterystyczny dla dolnego odcinka przekrój zlokalizowano w km 11+720. Kształt przekroju poprzecznego i elementy jego zabudowy przed-

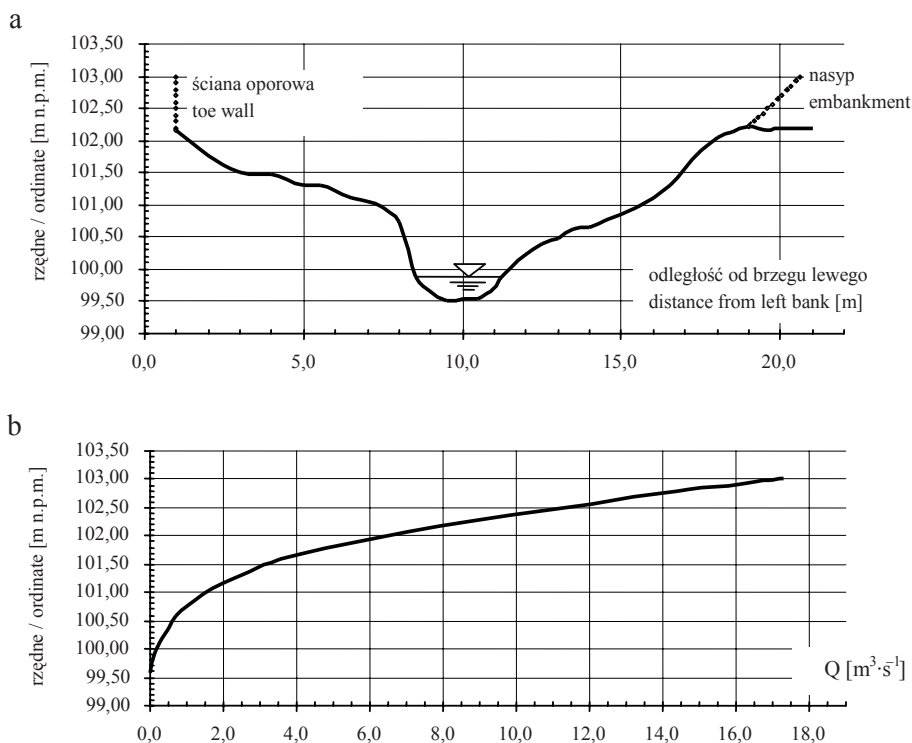
stawiono na rysunku 1a. Rzędna dna w tym przekroju wynosi 99,52 m n.p.m. Krzywą przepustowości, przedstawioną na rysunku 1b, określono dla następujących parametrów:

- spadku podłużnego  $i_{rz} = 0,0005$  (0,05%), przyjętego jako średni na odcinku od jazu do pierwszego stopnia stabilizującego dno rzeki,
- współczynnika szorstkości  $n_{rz} = 0,070 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ , przyjętego dla „... cieków nizinnych z odcinkami o małej prędkości przepływu, z zaroślami i głębokimi dołami” (Dąbkowski i in. 1982).

Przepustowość przekroju dla napełnienia brzegowego koryta wynosi  $7,80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Gdy poziom wody osiągnie rzędną 102,16 m n.p.m., następuje rozlanie się wody na obszary rolnicze położone po prawej stronie rzeki, na teren projektowanego zbiornika retencyjnego. Na potrzeby obliczeń hydraulicznych krzywą przepustowości określono dla docelowej rzędnej obwałowań projektowanego zbiornika równej 103,00 m n.p.m. W analizowanym przekroju największy przepływ NWQ, wynoszący  $7,70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Charakterystyczne przepływy... 1987), przechodzi przy napełnieniu 2,63 m, co odpowiada rzędnej 102,15 m n.p.m.

## Przepustowość stopnia w dolnym stanowisku

Przepustowość stopnia znajdującego się na końcu umocnień sztywnych (km 11+746) obliczono dla warunków odpływu swobodnego oraz uwzględniając wpływ poziomu wody w korycie rzeki poniżej jazu. Próg stopnia znajduje się na poziomie dna koryta ukształtowanego



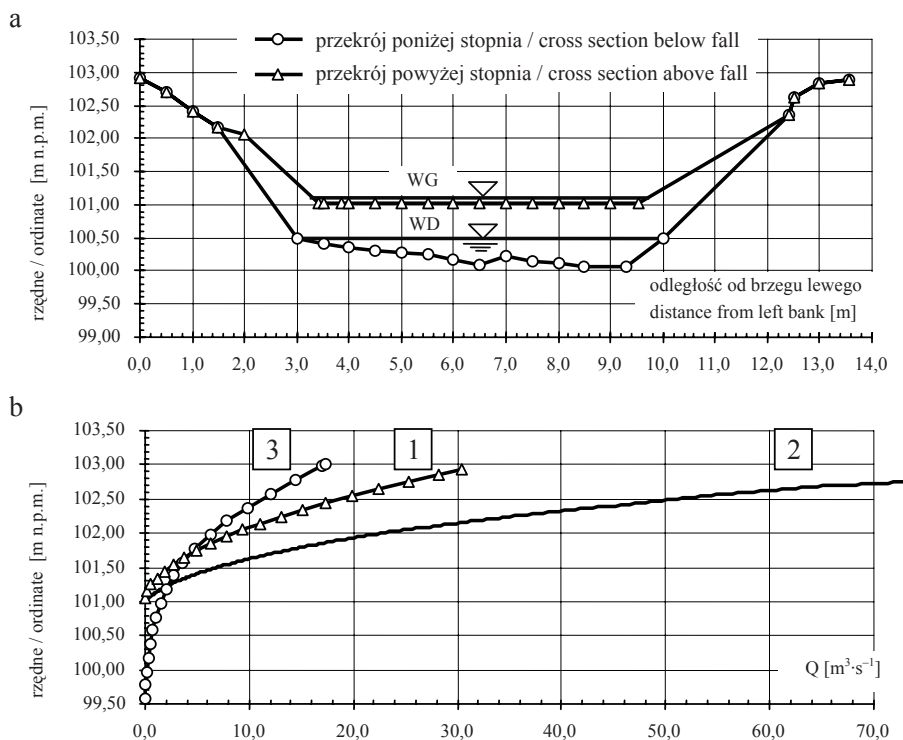
RYSUNEK 1. Stanowisko dolne jazu: a – przekrój poprzeczny koryta, b – krzywa przepustowości  
 FIGURE 1. Downstream of weir: a – cross section of channel, b – discharge curve

przez płyty umocnień. Najniższa rzędna progu stopnia wynosi 100,96 m n.p.m. Kształty przekrojów poprzecznych pomierzonych powyżej i poniżej stopnia pokazano na rysunku 2a. Przelew stopnia charakteryzuje się bardzo dużą zdolnością przepustową (krzywa 2 na rys. 2b). Przy podniesieniu się poziomu wody w korycie poniżej jazu następuje podtopienie przelewu, a następnie jego zatopienie. W związku z małą zdolnością przepustową cieku w dolnym stanowisku zatopienie przelewu stopnia następuje bardzo szybko – już przy rzędnej zwierciadła wody 101,27 m n.p.m. Krzywa 3 na rysunku 2b przedstawia przepustowość stopnia w warunkach jego zatopienia. Efektowi zatopienia przelewu to-

warzyszy cofanie się wody i podtapianie przekroju wylotowego jazu.

### Przepustowość stanowiska dolnego jazu

Na podstawie wyników pomiarów terenowych sporządzono przekroje poprzeczne dolnego stanowiska jazu (rys. 3a). Krzywa stanowiska dolnego w przekroju zlokalizowanym na początku betonowych umocnień została wykorzystana do obliczenia przelewów jazowych. Znaczący wpływ na jej kształt ma charakter krzywej przepustowości koryta rzeki, dlatego też gdyby uległa ona zmianie wskutek wykonywanych



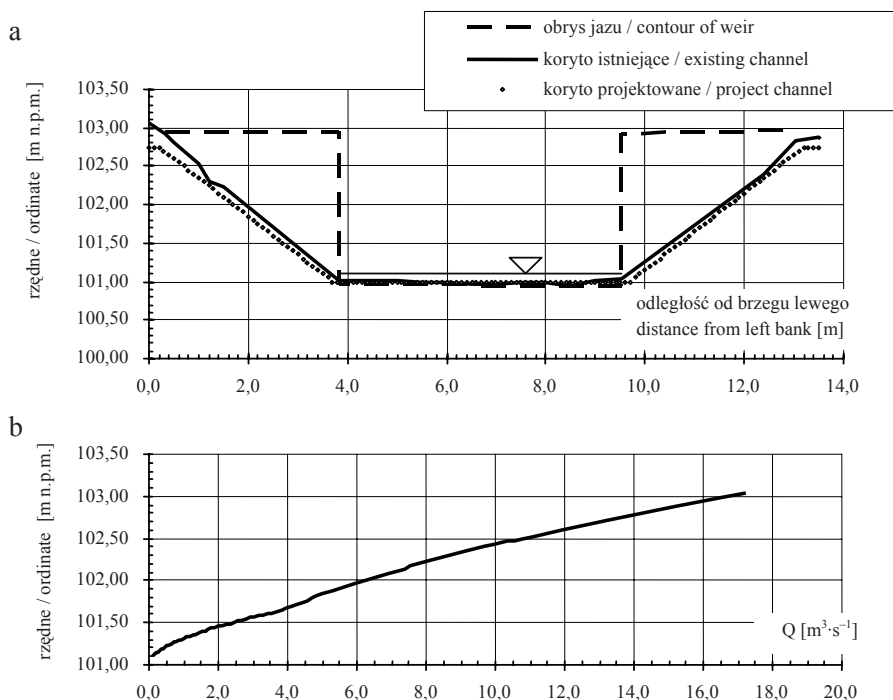
RYSUNEK 2. Charakterystyki stopnia: a – przekroje poprzeczne, b – krzywe przepustowości; 1 – odcinka umocnień powyżej stopnia, 2 – stopnia niezatopionego, 3 – stopnia zatopionego  
 FIGURE 2. Characteristics of fall: a – cross sections, b – discharge curves; 1 – section of reinforcement above the fall, 2 – free fall, 3 – submerged fall

prac, należałoby zmiany te uwzględnić w analizach hydraulicznych. Wynikową krzywą przepustowości, przedstawioną na rysunku 3b, uzyskano z analizy krzywych przedstawionych na rysunku 2b. Po przekroczeniu przepływu o natężeniu  $3,80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  o przepustowości stanowiska dolnego jazu decyduje wydatek koryta rzeki poniżej stopnia.

### Przepływ wód wezbraniowych

Oceny warunków przeprowadzania wód wezbraniowych przez jaz dokonano, obliczając jego zdolność przepustową przy trzech otworach czynnych.

W czasie przejścia wód wielkich zamknięcia jazu powinny być podniesione, aby zapobiec spiętrzeniu się wody i rozlaniu na tereny przyległe. Obliczenia wykonano dla całego zakresu napełnień koryta w górnym stanowisku, tzn. do głębokości brzegowej równej  $2,05 \text{ m}$  (rys. 4b). Współczynnik wydatku dla przelewu o szerokiej koronie przyjęto według Obliczeń hydrostatycznych... (1986) w wysokości  $0,32$ . Początkowo obliczenia wykonano dla przelewu niezatopionego (krzywa 1 na rys. 4b). Pozwoliło to ustalić wielkości napełnienia koryta poniżej przelewu na podstawie krzywej przedstawionej na rysunku 3b. Sprawdzenia



RYSUNEK 3. Charakterystyki odcinka umocnień w dolnym stanowisku: a – przekroje poprzeczne, b – krzywa przepustowości  
 FIGURE 3. Characteristics of reinforcement section in downstream: a – cross sections, b – discharge curve

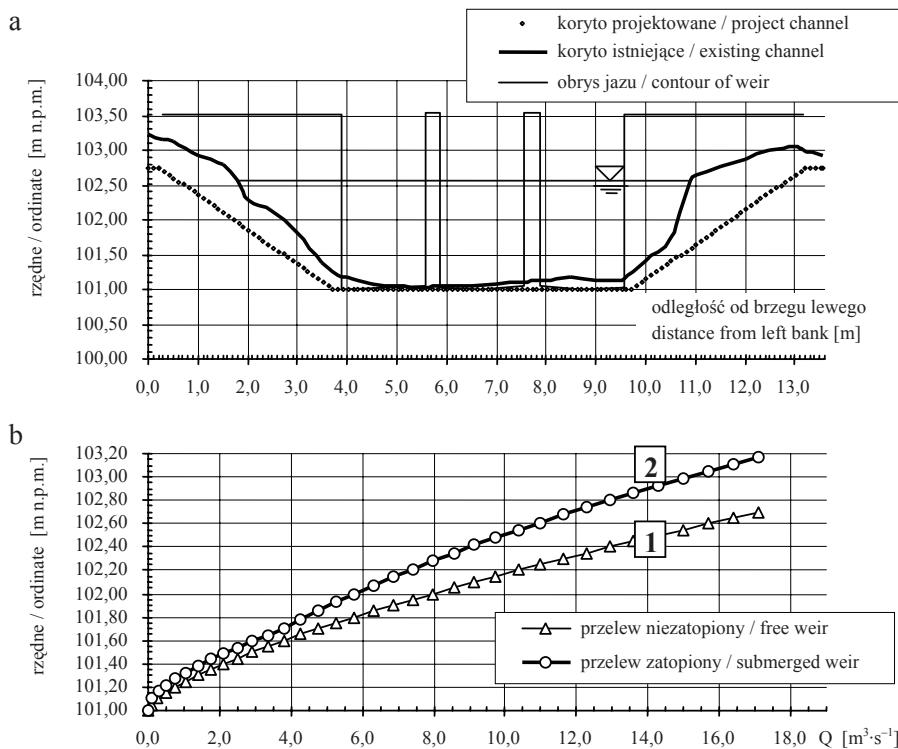
zatopienia przelewu dokonano według kryterium  $nH_0 \leq h_z$ , gdzie  $n$  jest współczynnikiem zatopienia przelewu, a  $H_0$  i  $h_z$  oznaczają wzniesienia nad rzędną progu odpowiednio linii energii strumienia powyżej jazu i zwierciadła wody dolnej. Kryterium wykazało, że dla wysokich stanów wody dolnej przelew jazowy jest zatopiony. Obliczenia wydatku dla przelewu zatopionego (krzywa 2 na rys. 4b) wykazały, że:

- przy rzędnej wody spiętrzonej równej 102,61 m n.p.m. wydatek jazu wynosi  $11,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  i jest zbliżony do przepływu  $Q_{3\%} = 10,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,

- przy rzędnej wody spiętrzonej równej 102,86 m n.p.m. wydatek jazu wynosi  $13,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  i jest bliski natężeniu  $Q_{1\%} = 13,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Budowla klasy IV (Rozporządzenie... 2007) jest w stanie przeprowadzić przepływy wielkie: miarodajny ( $Q_{3\%}$ ) i kontrolny ( $Q_{1\%}$ ), a położenie zwierciadła wody spiętrzonej przy przejściu tych wód nie przewyższa rzędnych brzegów koryta górnego.

Obliczenia parametrów odskoku hydraulicznego wykazały, że istniejąca niecka długości 3,80 m jest zbyt krótka, aby pomieścić odskok hydrauliczny, jaki powstaje w warunkach przejścia wiel-



RYSUNEK 4. Warunki przepływu wód wezbraniowych: a – przekroje charakterystyczne, b – krzywe przepustowości

FIGURE 4. Flow conditions for flood: a – characteristic cross sections, b – discharge curves

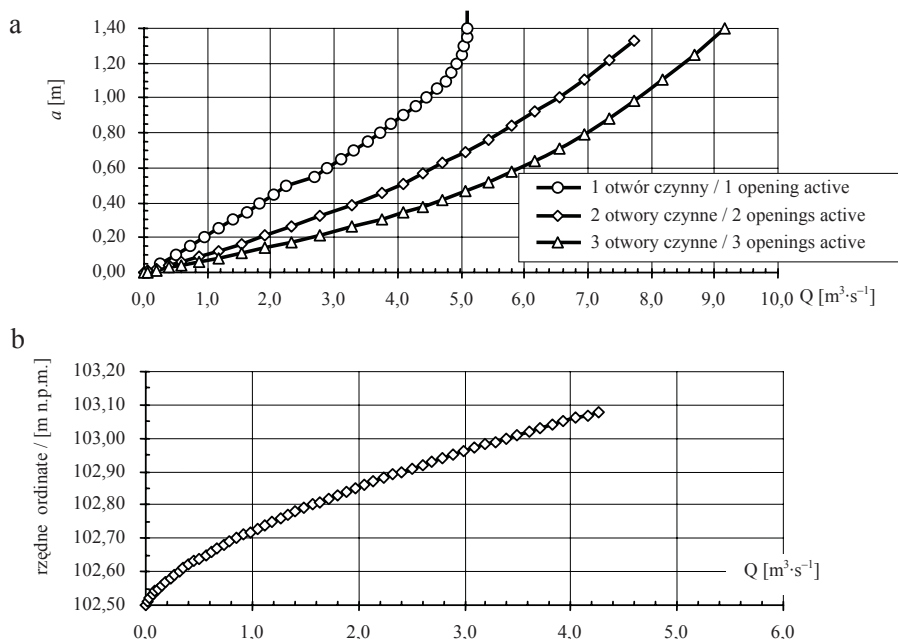
kich wód. Przy  $Q_{3\%} = 10,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  długość niecki powinna wynosić 5,60 m, a przy  $Q_{1\%} = 13,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  powinno to być 6,35 m.

### Przepływ pod zamknięciami

Obliczenia zdolności przepustowej budowli przeprowadzono także dla warunków utrzymania normalnego poziomu piętrzenia NPP = 102,50 m n.p.m. Konstrukcja zamknięć (zasuwy pojedyncze) umożliwia utrzymywanie zwierciadła wody w górnym stanowisku na niezmiennym poziomie tylko z wpływem

strumienia spod zasuwy i w związku z tym w pierwszej kolejności przyjęto taki schemat obliczeniowy. Wyniki obliczeń w postaci wykresów wydatku jazu z jednym, dwoma i trzema otworami czynnymi przedstawiono na rysunku 5a.

Obliczenia przeprowadzono dla zakładanej wysokości  $a$  podniesienia zasuwy piętrzącej nad progiem jazu w zakresie od 0 do 1,40 m, co odpowiada wartości ilorazu  $\frac{a}{T}$  z przedziału (0, 0,93), gdzie  $T$  jest napełnieniem koryta w górnym stanowisku przy rzędnej zwierciadła wody równej NPP. Wartości współczyn-



RYSUNEK 5. Krzywe charakterystyczne zamknięć: a – wypływ spod zamknięć, b – przepływ nad zamknięciami

FIGURE 5. Characteristic curves of gates: a – flow under the gates, b – flow over the gates

nika kontrakcji pionowej ( $\varepsilon$ ) przyjęto na podstawie  $\frac{a}{T}$ , według Hydromechaniki i hydrotechniki (2003).

W warunkach przepływu dwoma otworami jazu przy wysokości podniesienia zasuwy wynoszącej 0,70 m przepustowość budowli wynosi około 5,1 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Zatem w warunkach utrzymania poziomu NPP z wypływem strumienia spod zamknięć przepustowość budowli pozwala na przeprowadzanie przepływów  $Q_{50\%} = 3,1$  m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> i  $Q_{25\%} = 5,1$  m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>.

Dla warunków wypływu strumienia spod zamknięć istniejąca niecka długości 3,80 m odpowiada długości obliczonej dla  $Q = 3,30$  m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Dla większych przepływów przy takim sposobie przepuszczania wody istniejąca niecka ma

zbyt małą długość dla skutecznego rozpraszania energii w odskoku hydraulicznym.

### Przepływ nad zamknięciami

Obliczenia wykonano dla rzędnych zwierciadła wody spiętrzonej w zakresie od NPP = 102,50 m n.p.m. do rzędnej wody brzegowej wynoszącej 103,05 m n.p.m., co odpowiadało wysokości warstwy wody nad zasuwą, wynoszącej 0,58 m. Wyniki tych obliczeń przedstawiono na rysunku 5b. Przy rzędnej zwierciadła wody spiętrzonej, odpowiadającej wodzie brzegowej (tzn. przy całkowitym napełnieniu koryta w górnym stanowisku), uzyskano wydatek trzech otworów jazu, wynoszący  $Q = 4,30$  m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Jest on



większy od przepływu  $Q_{50\%} = 3,10 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Taki sposób przepuszczania wody może być zalecany tylko w przypadku przeprowadzania przepływów średnich. Podczas nawet niewielkich wezbrań łatwo może dojść do przelania się wody przez groblę, biegnącą na prawym brzegu koryta.

Obliczone parametry odskoku hydraulicznego dla warunków przepływu nad zamknięciem oraz wymagana długość niecki wypadowej wykazały, że przy rzędnej wody brzegowej 103,05 m n.p.m. i odpowiadającemu tej rzędnej przepływowi wymagana długość niecki wynosi 4,70 m i jest większa od długości niecki istniejącej.

## Podsumowanie

Analiza przepływu wody przez jaz dotyczyła wód wezbraniowych przepływających przy podniesionych zamknięciach oraz przy utrzymaniu poziomu NPP. Przy utrzymaniu bezpiecznego zapasu do korony budowli, wynoszącego 0,70 m, zwierciadło wody górnej nie powinno wznieść się powyżej rzędnej 102,80 m n.p.m. Wydatek jazu przy rzędnej wody górnej 102,80 m n.p.m. jest równy  $12,94 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , gdy przepływ odbywa się przez wszystkie światła otwarte. Poziom ten nie przekracza rzędnej prawego brzegu ukształtowanego przez koronę wału. Maksymalny przepływ mieszczący się w korycie górnym wynosi  $15,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  i jest większy od natężenia przepływów: miarodajnego wynoszącego  $10,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  i kontrolnego –  $13,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

Przepływ przez jaz limitowany jest zdolnością przepustową dolnego odcinka rzeki. Występujący na odcinku dolnego stanowiska stopień posiada wydatek

znacznie większy od jazu. Utrzymanie NPP na rzędnej 102,50 m n.p.m., przy zmiennym dopływie do obiektu, odbywa się przy przepływie pod zamknięciami:

- jednego otworu (korzystnie jest, aby był to otwór środkowy),
- dwóch otworów (zaleca się jednocześnie otwieranie dwóch skrajnych otworów),
- trzech otworów (gwarantuje to utrzymanie równomiernego obciążenia stanowiska dolnego).

W zależności od aktualnego przepływu w okresie letnim podniesienie zamknięć można określić z rysunku 5a. Przy przepływie nad zamknięciem wysokość warstwy przelewającej się wody przy przepływie przez wszystkie trzy zamknięcia o jednakowej wysokości należy odczytać z rysunku 5b.

Elementem wskazującym na małe przystosowanie jazu do pełnienia funkcji bezpiecznego przeprowadzenia wód wezbraniowych jest stosunkowo krótka niecka wypadowa. Zatopienie odskoku hydraulicznego w warunkach obliczeniowych jest wystarczające. Należy jednak zwrócić uwagę na duży wpływ poziomu wody dolnej na warunki panujące na obiekcie. Nieznaczna ingerencja w stan koryta cieku na odpływie od jazu, zwiększająca jego przepustowość, wpłynie na warunki przepływu na przelewie jazowym, jak też na rozpraszanie energii – na pogorszenie warunków rozpraszania energii.

## Literatura

- BAJKOWSKI S., SIWICKI P., URBAŃSKI J. 2008: Stan techniczny jazu Jaktorów. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 4 (42): 181–190.



Charakterystyczne przepływy rzeki Tucznej w Jaktorowie (jaz) 1987. Załącznik do pisma Ps 221/87. IMGW Oddział w Warszawie, Warszawa.

DĄBKOWSKI Sz.L., SKIBIŃSKI J., ŻBIKOWSKI A. 1982: Hydrauliczne podstawy projektów wodnomelioracyjnych. PWRiL, Warszawa.

Hydromechanika i hydrotechnika 2003. Red. A. Kisiel. Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.

Obliczenia hydrauliczne przelewów budowl wodno-melioracyjnych 1986. Biblioteczka Wiadomości IMUZ 67. PWRiL, Warszawa.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 17 sierpnia 2006 roku w sprawie zakresu instrukcji gospodarowania wodą (DzU nr 150, poz. 1087).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie (DzU nr 86, poz. 579).

## Summary

**Hydraulic characteristics of Jaktorów weir on Pisia Tuczna River.** The paper presents results of analyses hydraulic conditions of flow of weir in Jaktorów storied wa-

ter for intake on fishing pond in Agricultural Institution the Experimental WULS. During the field inspection was made measurements: construction elements of weir, cross section on the length of storage in downstream and upstream. Flow capacity calculation of weir has been executed for different case of flow transmission. Conditions for energy dissipation were also estimated. Weir flow is limited for capacity of downstream. Despite it the weir is possibly conduct flood discharge for storage water level without over flow from channel. Due of to short stilling basin it is made difficult safe transmission of flood discharge.

### Authors' address:

Sławomir Bajkowski, Piotr Siwicki, Janusz Urbański

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska

ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa  
Poland

e-mail: slawomir\_bajkowski@sggw.pl  
piotr\_siwicki@sggw.pl  
janusz\_urbanski@sggw.pl