

## PRZEPUSTOWOŚĆ JAZU MŁYŃSKIEGO SIEKIERKA NA RZECIE ZWOLEŃKA

### WATERFLOW CAPACITY ASSESSMENT OF THE SIEKIERKA MILL WEIR ON THE ZWOLEŃKA RIVER

Sławomir Bajkowski

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

**Streszczenie.** Celem analiz przedstawionych w artykule było określenie warunków ustalania krzywej przepustowości progu starej konstrukcji jazu młyńskiego w odniesieniu do wodowskazu zlokalizowanego powyżej mostu. Badany obiekt Siekierka położony jest na rzece Zwoleńka. Znajduje się on w przekroju zamykającym cząstkową zlewnię badawczą. Zakres rozpoznania obejmował odcinek rzeki niezbędny do oszacowania wpływu na wydatek progu obszaru napływowego wody górnej oraz wyprowadzenia strumienia z jazu. W jego zakres wszedł obszar przepływu na górnym stanowisku obiektu, konstrukcja progu piętrzącego oraz przyległa do jazu część stanowiska dolnego. Podniesiony ponad dnem próg jazowy kształtuje warunki przepływu w stanowisku górnym i na długości przeprawy mostowej. Koryto rzeki pod mostem jest zabezpieczone przed rozmyciem, a jego światło nie przekracza 10 m. Dla tego typu mostów dopuszcza się spiętrzenie wody górnej i wystąpienie na odcinku przeprawy ruchu rwącego. Występujące poniżej jazu wysokie stany wody dolnej wskazują, że przepustowość obiektu w dużej mierze zależy od warunków hydraulicznych odpływu od jazu. W pracy zaprezentowano wyniki studiów dotyczących określenia wpływu obszaru wody dolnej oraz konstrukcji progu na przepustowość obiektu.

**Abstract.** The purpose of the analysis in this article was to determine the conditions for establishing the discharge curve of the old mill dam construction in comparison to the gage located above the bridge. The analysed object – Siekierka, is located on the Zwoleńka river. It is located in the closing section of a partial research catchment. The reconnaissance scope covered the section of the river necessary to assess the impact of the upstream and the downstream flow conditions on the weir waterflow. This included the flow area in the upper reach of the object, the spill-weir construction and the area adjacent to the downstream section. The weir sill raised above the river bed shapes the flow conditions in the upper

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Sławomir Bajkowski, Katedra Inżynierii Wodnej, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, 02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166, e-mail: slawomir\_bajkowski@sggw.pl.

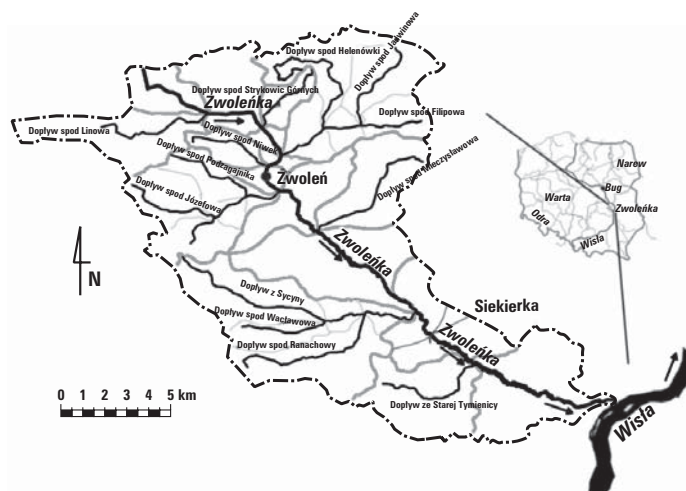
water section and in the line of the bridge passing. The bridge has a river bed protected from the erosion and the weir width does not exceed 10 m. For this type of bridges the accumulation of the upper water level is allowed as well as the subcritical motion may occur on the crossing section. High bottom water conditions occurring below the weir indicate that the capacity of the object largely depends on the hydraulic conditions of the weir outlet. The article includes the results of studies on determining the impact of the lower water area and the construction of the weir sill on the outflow.

**Słowa kluczowe:** rzeka, most, jaz młyński

**Key words:** river, bridge, mill weir

## WSTĘP

Obiekt Siekierka objęty rozpoznaniem znajduje się na drodze łączącej wieś Siekierka Mała i Siekierka Duża z miejscowościami Ruda i Krzywda. Położony jest on na 14+040 km powyżej ujścia rzeki Zwoleńki do Wisły w km 579+360. Przekrój wodowskazowy zlokalizowany powyżej mostu zamyka zlewnię o powierzchni 186,8 km<sup>2</sup> [Banasik i in. 2011]. Lokalizację rzeki Zwoleńki, jej zlewnię oraz główne jej dopływy i ich zlewnie cząstkowe pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Lokalizacja obiektu Siekierka

Fig. 1. Location of the Siekierka object (dopływ spod, z = tributary from)

Ważnym elementem w ocenie przepustowości obiektu jest przebieg niwelety nasypu drogowego. Na odcinku od młynówki do jazu występuje znaczne obniżenie korony drogi. Jest to miejsce, przez które nastąpi przepływ wody, zanim poziom osiągnie rzędną spodu konstrukcji mostu na badanym jazu. Kształt doliny rzeki Zwoleńki w miejscu przeprawy wskazuje, że na obszarze powyżej jazu występuje duża retencja dolinowa, która może powodować znaczną redukcję fali wezbraniowej. Prezentowane analizy wykonano przy założeniu uzyskania wystarczających objętości wody do wypełnienia retencji górnego

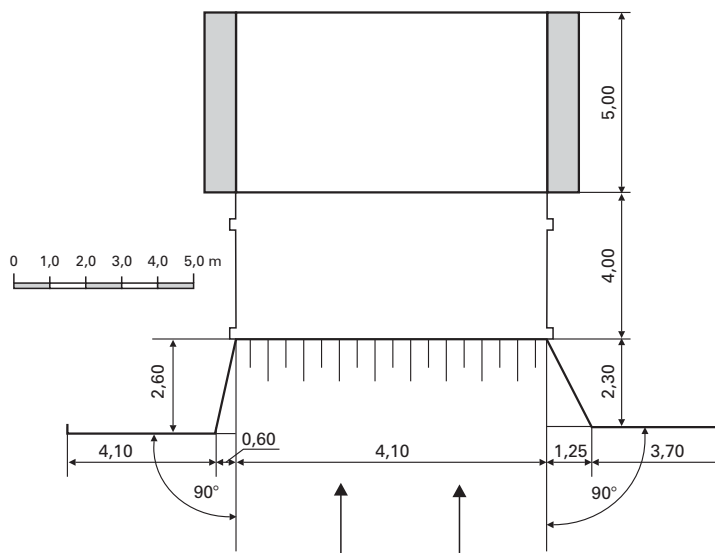
stanowiska i utrzymania przepływu na obiekcie. Podobnie duży udział w retencjonowaniu wody ma część doliny poniżej jazu. Poziomy wody na obszarze stanowiska dolnego wpływają na występowanie zróżnicowanych form przepływu na progu.

## MATERIAŁ I METODY

Analizowany obiekt mostowy stanowi pozostałość konstrukcji młyńskiego jazu piętrzącego wodę do siłowni, której ruiny znajdują się w pobliżu mostu, na prawej terasie zalewowej. Widok mostu od strony wody dolnej pokazano na rys. 2, a kształty głównych elementów obiektu na rys. 3. W chwili obecnej z konstrukcji jazu pozostały tylko przyczółki oraz skrzydełka. Na przyczółkach położony jest belkowy most drogowy o konstrukcji stalowo-drewnianej. Ruchome elementy piętrzenia zostały całkowicie zniszczone lub usunięte. Pozostał próg jazowy oraz przyczółkowe wnęki zamknięć głównych i remontowych. Przyczółki jazu zostały wykonane z kamienia na zaprawie cementowo-wapiennej. Pionowe powierzchnie przyczółków są zniszczone, widoczne są na nich ślady licznych napraw. Pomimo tych zniszczeń stan konstrukcji kamienno-betonowej zapewnia bezpieczeństwo użytkowania mostu. Zupełnie zniszczone jest prawe dolne skrzydełko obiektu. Lewe dolne skrzydełko jest pęknięte. Jaz ma portalowy wlot górny, a dolne wyprowadzenie wody wykonano w formie skrzydełek równoległych. W przyczółkach zlokalizowane są wnęki zamknięć głównych i remontowych. W przeszłości całkowite światło jazu było podzielone filarami mocowanymi w progu na 4 otwory. Na powierzchni progu w linii wnęk widoczne są trzy otwory filarowe. Skrajne otwory zaniesione są rumowiskiem, w środkowym pozostały części stopy drewnianego filara.



Rys. 2. Widok mostu od strony wody dolnej  
Fig. 2. View of the bridge from tailwater side



Rys. 3. Obrys konstrukcji jazu

Fig. 3. Contour of construction of the weir

### Stanowisko górne

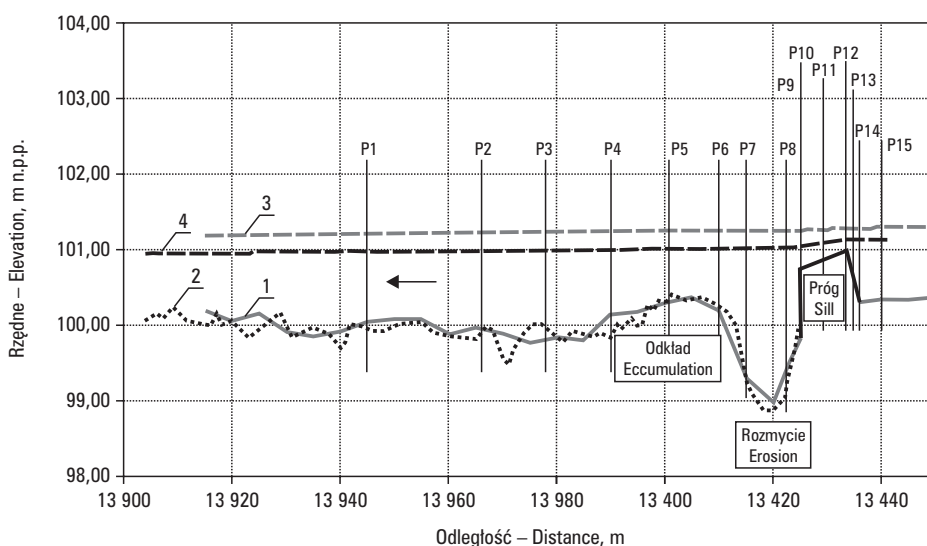
Na stanowisku górnym, powyżej mostu, rzeka w strefie brzegowej płynie spokojnie, co spowodowane jest wypiętrzoną ponad dno rzeki progami jazowym. Wzdłuż brzegów rosną drzewa, występuje tu też niski porost roślinny. Z prawej strony pas zadrzewień brzegowych ma szerokość około 10 m. Z lewej strefę brzegową tworzy las mieszany przylegający do rzeki.

### Próg przelewowy

Próg piętrzący jazu został wykonany jako przelew o szerokiej koronie z możliwością piętrzenia wody zastawkami opieranymi o drewniane filary. Filary jazowe były kotwione w płycie progowej i oparte o konstrukcję nośną mostu. Widoczne są otwory w płycie jazowej służące do ich kotwienia. Z inwentaryzacji obiektu wynika, że światło jazu było podzielone na 4 otwory filarami wpuszczanymi w gniazda znajdujące się w płycie. Wymiary otworów  $40 \times 30$  cm oraz całkowita szerokość przelewu 8,6 m wskazują że pierwotnie czynna szerokość pojedynczego otworu wynosiła 1,85 m, co przy 4 otworach dawało czynne światło wynoszące 7,4 m. W chwili obecnej nie ma filarów, stąd czynna szerokość światła równa się 8,6 m.

Na rys. 4 pokazano pomierzony profil podłużny rzeki Zwoleńka na długości progów i stanowiska dolnego jazu. Obejmuje on około 100-metrowy odcinek rzeki poniżej jazu. Płyta progowa wyniesiona jest ponad dno stanowiska górnego na wysokość 0,70 m. Dno pomiędzy skrzydełkami górnymi obudowane jest betonową płytą tworzącą skos wlotowy progów. Inwentaryzacja obiektu wykazała, że ściana wlotowa progów w części

środkowej nachylona jest do poziomu pod kątem około  $18^\circ$  (w stosunku 1 : 3). Poza strefą środkową kąt ten jest znacznie większy, a część wlotu zasłonięta półką przekroju wodowskazowego nachylenie to ma największe. Boczne górne ograniczenia napływu stanowią wydłużone skrzydełka prostopadłe. Mają one lekko odchyłone ściany wzdłużne i zakończone są ścianą czołową, prostopadłą do osi podłużnej jazu [Rozporządzenie... 2000]. Wydłużenie skrzydełka lewego ma kąt odchylenia równy  $13^\circ$ , prawego  $18^\circ$ . Poniżej przelewu jazowego na długości skrzydełek dolnych wykonano płytę wypadową. Na jej długości ściany przyczółków tworzą równoległe skrzydełka dolne. Płyta denną jazu ma spadek w kierunku przepływu wynoszący  $i_g = 0,022$  (2,2%) na początkowym odcinku przelewowym o długości 4,0 m oraz  $i_d = 0,030$  (3,0%) na długości 5,0 m płyty wypadowej.



Rys. 4. Profil odcinka badawczego: 1 – linia dna 08.09.2010, 2 – linia dna 12.07.2011, 3 – linia wody 08.09.2010, 4 – linia wody 12.07.2011

Fig. 4. Profile of the research section: 1 – bed line 08.09.2010, 2 – bed line 12.07.2011, 3 – water line 08.09.2010, 4 – water line 12.07.2011

### Stanowisko dolne

Poniżej jazu koryto rzeki rozszerza się, co częściowo wynika z rozmycia dna rzeki. Trudno w chwili obecnej ustalić rzeczywistą przyczynę rozległych rozmyć. Wysokie położenie wody dolnej wskazuje, że należy się ich upatrywać w złym rozwiązaniu urządzeń do rozpraszania energii [Rozporządzenie... 2007]. Na jazie do rozpraszania energii zastosowano płytę wypadową. Jest ona jednak położona wysoko w stosunku do niwelety dna stanowiska dolnego. Jej skuteczność w rozpraszaniu energii wody jest znacznie mniejsza przy przepływach niższych niż przy dużych, przy których zatapiający jest nie tylko strumień spływający z płyty, ale także na przelewie wlotowym. Taką genezę rozmyć potwierdza zinventaryzowany wybój poniżej jazu. Przedstawiony na rys. 4 profil

wykazuje długość dołu rozmycia sięgającą 15 m, a odkładu około 25 m. Koryto rzeki poniżej jazu na obszarze wyboju jest szerokie, na długości odcinka akumulacyjnego ulega zwężeniu, dalej zaś kształty i wymiary jego przekroju stabilizują się.

## ANALIZY

Obszar wody dolnej badanego jazu jest zróżnicowany pod względem przestrzennych warunków przepływu. Zróżnicowanie to wyraża się występowaniem znacznych deformacji pionowych dna rzeki poniżej jazu oraz rozwinięciem linii brzegowej. Krzywą przepustowości stanowiska dolnego wyznaczono dla spadku podłużnego  $i_z = 0,0005$  (0,5‰), wykorzystując powszechnie stosowaną formułę Manninga [Bajkowski i in. 2010].

Spiętrzenie cofkowe na odcinku stanowiska dolnego wyznaczono dla pomierzonej geometrii przekrojów poprzecznych. Lokalizację przekrojów pokazano na rys. 4. Do obliczenia różnicy zwierciadła wody wykorzystano formułę uzyskaną z równania różnicowego ustalonego dla dwóch sąsiednich przekrojów w formie podanej przez Dąbkowskiego i in. [1982].

Wartości współczynników szorstkości do oszacowania podstawowej krzywej przepustowości stanowiska dolnego, bez wpływu zarastania, przyjęto według Dąbkowskiego i in. [1982]:

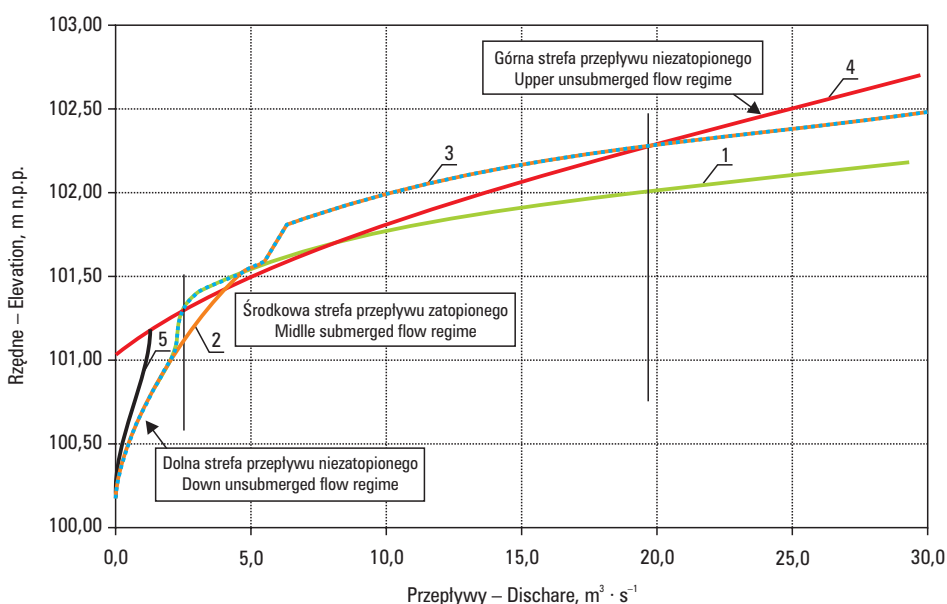
- dla części koryta głównego  $0,040 \text{ m}^{-1/3}$ s według tab. 2.2 „Naturalne ciekły wodne. Potoki nizinne czyste, kręte z łachami i dołami” wartość średnia, wg tab. 2.4 „Koryta cieków naturalnych. Koryta z zakolami z niewielką ilością zastoisk i pogłębień, czyste” w stanie dobrym.
- dla części zalewowej doliny  $0,050 \text{ m}^{-1/3}$ s wg tab. 2.2 „Koryta z zalewiskami. Powierzchnie pokryta wikliną, pojedyncze krzaki obfita trawa i zielsko” wartość średnia, wg tab. 2.4 „Koryta cieków naturalnych. Strefy o powolnym przepływie, zarośnięte trawą lub z głębokimi jamami, dołami” w stanie bardzo dobrym.

Pomierzone natężenia przepływu na badanym progu cechuje okresowa zmienność. Wyniki pomiarów hydrometrycznych wykonanych w okresie wegetacyjnym układają się w dwóch obszarach. W pierwszym zebrane są wyniki dla początkowego okresu porostania koryta, wykonane w okresie od maja do lipca. Drugi obszar grupuje punkty dla końcowego okresu występowania porostu roślinnego w korycie. Należą do niego wyniki pomiarów hydrometrycznych wykonanych w okresie od sierpnia do października.

Pomiar z dnia 2010.09.08 został wykonany w drugim przyjętym przedziale czasowym. W dniu tym stan na wodowskazię wynosił 130 cm (linia zwierciadła wody 3 na rys. 4). Badanie wykonane 2011.07.12 odpowiadało stanowi na wodowskazię 114 cm i przepływowi pomierzonemu równemu  $0,719 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (linia zwierciadła wody 4 na rys. 4). Roślinność rozwijająca się w korycie rzeki Zwolenki powoduje ograniczenie czynnego pola przepływu i zwiększenie oporów ruchu. W efekcie prowadzi to do wzrostu współczynnika szorstkości  $n$  do wartości wynoszącej  $0,080 \text{ m}^{-1/3}$ s, oszacowanej na podstawie układu zwierciadła wody z pomiarów terenowych (linie 3, 4 na rys. 4). Ustalona z pomiarów wartość współczynnika szorstkości odpowiada warunkom wg tab. 2.2 [Dąbkowski i in. 1982] określonym jako „Naturalne ciekły wodne. Potoki nizinne na pewnych odcinkach całkowicie zarośnięte z głębokimi dołami lub występowaniem wikliny i pni zwalonych drzew” w zakresie wartości od minimalnych do średnich, a wg tab. 2.4 „Koryta

cieków naturalnych. Strefy z dużą ilością gęstej roślinności” przy stanie skarp dobrym i bardzo dobrym.

Krzywe analizujące przepustowość stanowiska dolnego jazu pokazano na rys. 5. Przy ich ustalaniu uwzględniono przepustowość przekrojów oraz wzajemne ich oddziaływanie wynikające z kształtów przekrojów poprzecznych i konfiguracji obszarów brzegowych. Krzywe te zostały opracowane przy założeniu, że woda gromadząca się powyżej przekroju jazowego nie przeleje się przez obniżenie korony drogi z prawej strony jazu. Gdy dopuścimy taką możliwość, to w przepustowości przekroju należy uwzględnić przepływ nad koroną drogi na obszarze tego obniżenia. Obliczenia na potrzeby ustalenia przepustowości stanowiska dolnego jazu wykonano dla tabelarycznych oraz pomierzonych wartości współczynników szorstkości.



Rys. 5. Krzywe analizujące przepustowość jazu: 1 – krzywa końca rozlewiska, 2 – krzywa ciekłu, 3 – krzywa wynikowa, 4 – krzywa przepływu swobodnego, 5 – krzywa okresu wegetacyjnego  
 Fig. 5. Analyzes the outflow curves of the weir: 1 – pool end curve, 2 – river curve, 3 – resulting curve, 4 – free flow curve, 5 – vegetation period curve

Przepustowość jazu Siekierka w dużym stopniu zależy od ukształtowania koryta Zwolenki na dolnym stanowisku oraz zmieniających się warunków odpływu determinowanych rozwojem roślinności korytowej. Rzędne wody poniżej progu kształtowane są spiętrzeniem w obszarze rozlewiska oraz na dalszej długości koryta. Krzywa 1 na rys. 5 odzwierciedla spiętrzenie powodowane przepustowością przekroju P4 położonego poza strefą erozyjo-akumulacyjną, w końcowej części rozlewiska, przed zwężeniem koryta. Zwężenie rzeki poniżej rozlewiska oraz podniesienie rzędnych brzegu na dalszym odcinku znacznie ogranicza przepustowość koryta. Oddziaływanie tych form przedstawia



krzywa 2 na rys. 5. Opracowano ją według spiętrzenia powodowanego przepustowością przekroju P1. Uzyskana krzywa wynikowa 3 na rys. 5 przebiega po skrajnych wartościach ustalonych dla analizowanych warunków przepływu w przekrojach P4 (krzywa 1) oraz P1 (krzywa 2).

W celu ustalenia oddziaływania warunków hydraulicznych panujących w dolnym stanowisku jazu na jego przepustowość opracowano obliczeniową krzywą wydatku przelewu według Wytycznych instruktażowych [1986]. W obliczeniach przyjęto schemat przepływu nad przelewem o szerokiej koronie, przy swobodnym przepływie (krzywa 4 na rys. 5). Porównując przebieg krzywej 3 oraz krzywej 4, w analizowanym zakresie przepływów wyróżniono trzy obszary wzajemnych oddziaływań:

- dolny obszar przepływu niezatopionego,
- środkowy obszar przepływu zatopionego,
- górny obszar przepływu niezatopionego.

Należy pamiętać, że zmieniająca się w ciągu roku szata roślinna może powodować utrzymywanie się innych poziomów wody niż ustalone według krzywej podstawowej. Krzywą koryta głównego 5 na rys. 5 opracowano dla współczynników szorstkości określonych z pomiarów. Odzwierciedla ona przepustowości koryta w okresach rozwoju roślinności w korycie. Ustalono ją dla koryta głównego w zakresie napelnień, dla których za reprezentatywne uznano wartości współczynnika szorstkości uzyskane z badań. Rozwijająca się w korycie rzeki roślinność powoduje ograniczenie dolnego obszaru przepływu swobodnego przelewu jazowego.

## PODSUMOWANIE

Krzywe analizujące przepustowość jazu młyńskiego w miejscowości Siekierka uwzględniają warunki przepływu panujące na stanowisku dolnym. Wykorzystując pomiary terenowe, oszacowano warunki przepływu w okresie rozwoju roślinności korytowej w strefie przepływu wody. Częstkowe krzywe opracowane dla charakterystycznych stref oddziaływań pozwoliły zdefiniować ostateczną krzywą przepustowości stanowiska dolnego jazu. Ustalano ją według krzywej spiętrzenia oddającej poziomy wody w rozlewisku dolnym oraz w korycie rzeki poniżej. Krzywa ta pozwala ustalić warunki zatopienia strumienia przelewowego w ocenie przepustowości obiektu.

## PIŚMIENNICTWO

- Bajkowski S., Pietraszek Z., Śniegocki B., 2010. Opracowanie hydraulicznych krzywych przepustowości urządzeń wodnych. Zadanie 1. Krzywa wydatku jazu młyńskiego w miejscowości Siekierka na rzece Zwoleńka. Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW Warszawa. Maszynopis.
- Banasik K., Oygarden L., Hejduk L., 2011. Prediction and the reduction of diffuse pollution, solid emission and extreme flows from rural areas – case study of small agricultural catchments. Monografia. Katedra Inżynierii Wodnej SGGW Warszawa. Maszynopis.
- Dąbkowski Sz.L., Skibiński J., Zbikowski A., 1982. Hydrauliczne podstawy projektów wodno-melioracyjnych. PWRiL Warszawa.



- Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. Dz.U. z 2000 r. Nr 63, poz. 735.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie. Dz.U. z 2007 r. Nr 86, poz. 579.
- Wierzbicki M., Hämmerling M., 2009. Przepływ wody w korycie rzeki Proсны w warunkach jazów piętrzących. *Nauka Przyr. Technol.* 3(3), 1–9.
- Wytyczne instruktażowe 1986. Obliczenia hydrauliczne przelewów budowli wodno melioracyjnych. Biblioteczka Wiadomości IMUZ 67. PWRiL Warszawa.

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 22.03.2012*