

*Jacek Markowski*

## **STEROWANIE ROZDZIAŁEM PRZEPIWÓW W SIECI KANALÓW RZECZNYCH**

---

### ***FLOW CONTROLLING IN RIVER CHANNEL NETWORK***

#### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono przykład zastosowania modelu komputerowego przepływu w sieci kanałów. Rozwiązania takich zadań dla przepływu stacjonarnego są stosunkowo proste obliczeniowo, nawet dla skomplikowanych schematów geometrycznych. Dlatego skupiono się na rozwiązaniu wybranych wariantów sterowania rozdziałem wód w warunkach przepływu niestacjonarnego. Przyjęty schemat geometryczny sieci nawiązuje do układu kanałów w WWW.

**Słowa kluczowe:** modelowanie przepływu w sieci kanałów rzecznych, przepływ niestacjonarny

#### ***Summary***

In this paper application of hydrodynamic model of flow in the channel net is presented. The solutions of these tasks for stationary flow are relatively simple even for complicated geometric systems. Therefore the author has focused on the solution of selected variants for non-stationary flow control.

The taken geometric schema is similar to Wrocław Water System.

**Key words:** river channel network modeling, unsteady flow simulation

#### **WSTĘP**

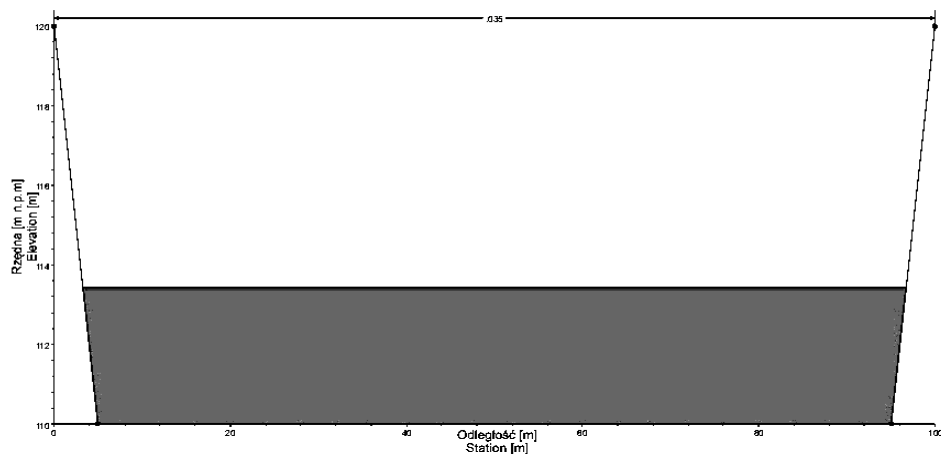
Celem pracy jest opracowanie modelu komputerowego przepływu wody w sieci kanałów otwartych, z możliwością ograniczonego sterowania przepływem wody w tej sieci. Ważnym zadaniem było zebranie istotnych wskazań do konstrukcji modelu komputerowego Wrocławskiego Węzła Wodnego (WWW), w tym głównie co do stabilności rozwiązań numerycznych dla ruchu niestacjonarnego w warunkach geometrycznych zbliżonych do rzeczywistych.

## SCHEMAT GEOMETRYCZNY SIECI KANAŁÓW

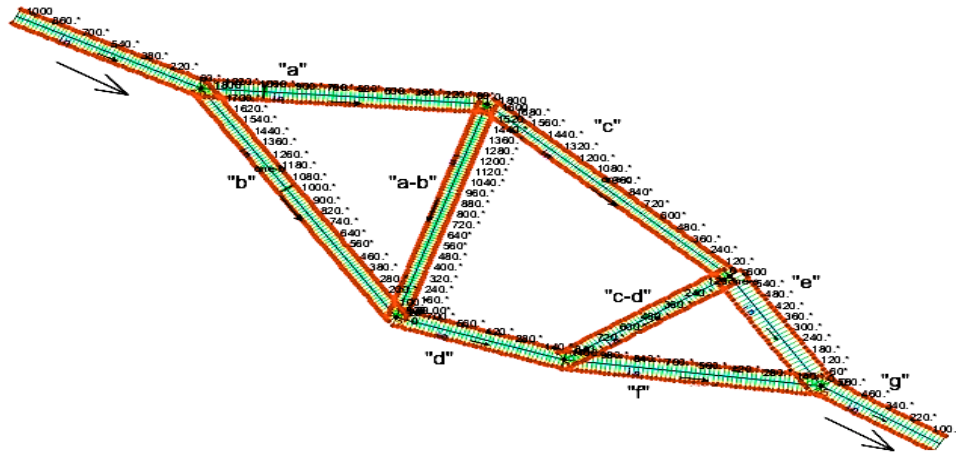
Sieć składa się z dziesięciu odcinków o łącznej długości 11 500 m. Wszystkie odcinki mają taki sam kształt i wymiary przekroju poprzecznego (rys. 1). Schemat sieci umieszczono na rysunku 2. Przyjmując orientację, jak na rysunku 2, przepływ odbywa się od strony lewej do prawej. Pierwszy odcinek kanału ma długość 1000 m, spadek dna  $i = 0,001$  i kończy się rozwidleniem na dwa kanały „a” i „b”. Kanał „a” ma długość 1300 m, kanał „b” ma długość 1800 m przy takim samym spadku dna  $i = 0,001$ . Przedłużeniem kanału „a” jest kanał „c” o długości 1800 m i spadku dna  $i = 0,001$ . Przedłużeniem kanału „b” jest kanał „d” o długości 800 m i spadku dna  $i = 0,001$ . Końce odcinków „a” i „b” łączy kanał „a-b” o długości 1600 m i spadku dna  $i = 0,0003125$ . Końce odcinków „c” i „d” łączy kanał „d-c” o długości 900 m i spadku dna  $i = 0,00056$ . Przedłużeniem kanału „c” jest kanał „e” o długości 600 m i spadku dna  $i = 0,001$ . Przedłużeniem kanału „d” jest kanał „f” o długości 1100 m i spadku dna  $i = 0,001$ . Końce kanałów „e” i „f” łączą się z kanałem ujściowym „g” o długości 600 m i spadku dna  $i = 0,001$ .

We wstępnym etapie obliczeń sterowanie rozdziałem przepływu na wejściu do modelu odbywa się za pomocą dwóch analogicznych jazów umieszczonych na odcinkach „a” i „b”, odpowiednio w odległości 290 m od węzła rozdziału dla odcinka „a” i 790 m od węzła rozdziału dla odcinka „b”. Schemat jazu przedstawiono na rysunku 3.

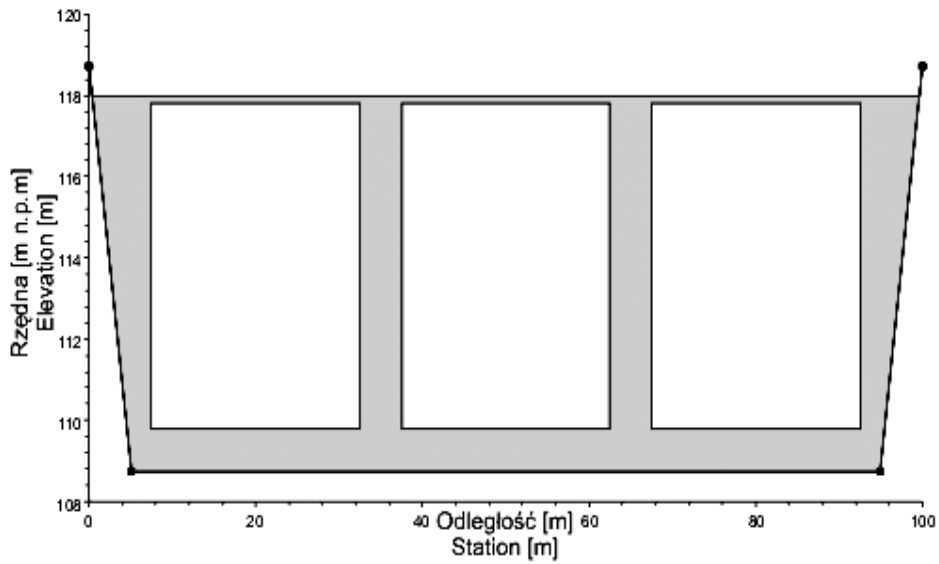
Jaz składa się z trzech przęseł o szerokości 25 m każde z niezależnym sterowaniem każdego przęsła w zakresie od rzędnej 110 m n.p.m. do rzędnej 117.90 m n.p.m.



**Rysunek 1.** Przekrój poprzeczny kanału  
**Figure 1.** Channel crosssection



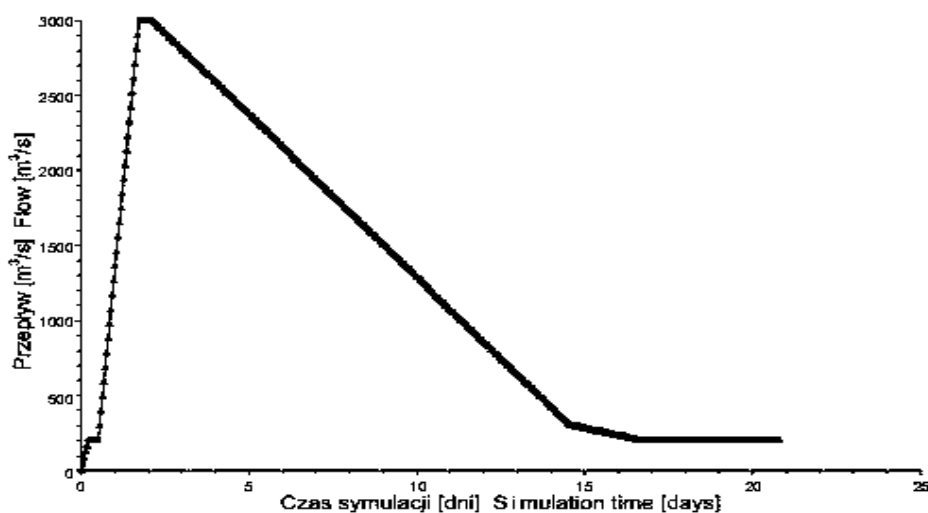
Rysunek 2. Schemat modelowanej sieci kanałów  
Figure 2. Channel network schema



Rysunek 3. Schemat jazu piętrzącego  
Figure 3. Weir schema

## WYBÓR WIELKOŚCI I KSZTAŁTU FALI WEZBRANIA

Wybierając schemat geometryczny sieci kanałów, założono w analogii do sytuacji rzeczywistej, że modelowany jest obiekt zbliżony do hydrowężła wrocławskiego. Można przyjąć zatem, że w części przyboru fala wezbrania będzie miała kształt łagodny, bez wyraźnego punktowego szczytu, z długim czasem opadania (rys. 4). Dla wymiarów kanału jak na rys. 1, przy średnim spadku dna  $i = 0,001$  i współczynniku oporów liniowych  $0,035$ , przy napełnieniu  $90\%$ , przepływ maksymalny wynosi  $Q = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ , a objętość wezbrania wynosi około  $2155 \text{ mln m}^3$ .



Rysunek 4. Hipotetyczny wykres fali wezbrania na wejściu do modelu  
 Figure 4. Hypothetical flood wave chart on the model input

## WARIANTY STEROWANIA PRZEPLYWEM W PRZEDSTAWIONEJ SIECI KANAŁÓW

Teoretycznie istnieje nieskończona ilość wariantów sterowania przepływem w prezentowanej sieci. Z punktu widzenia analogii do hydrowężła wrocławskiego niektóre warianty mają znaczenie szczególne. Będą to oba przypadki skierowania głównej części przepływu do jednego z kanałów „a” lub „b” oraz równomierny rozdział przepływu na oba kanały, przy zachowaniu niezmiennych ustawień urządzeń zrzutowych jazów (ale zmiennej wysokości piętrzenia), trudno tu jednak mówić o sterowaniu przepływem. Można jednak ocenić wpływ przyjętych założeń na rozdział przepływu w prezentowanej sieci i wyrównującego działania kanałów „a-b” i „c-d”. Przy bardzo małych spadkach dna obu

kanałów przepływ w nich może zmieniać kierunek. Właściwe sterowanie przepływem zrealizowano w ostatnim wariantcie, który zakłada manewrowanie urządzeniami zrzutowymi jazów w zależności od rzędnej zwierciadła wody na górnym stanowisku.

### WARIANTY PRZY ZACHOWANIU NIEZMIENNYCH USTAWIEŃ ZAMKNIĘĆ MANEWROWYCH JAZÓW

Rozdział przepływu w kanałach zestawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Rozdział przepływu w kanałach – warianty obliczeniowe

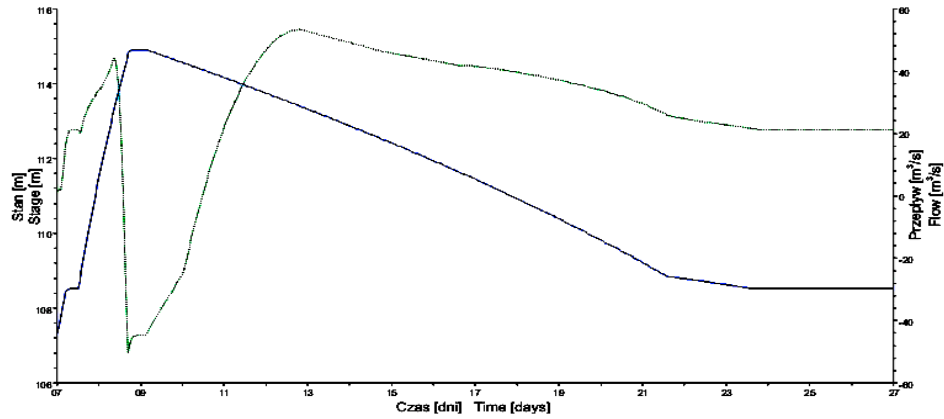
**Table 1.** Flow distribution in channels – calculation variants

kanal channel	a	b	a-b	c	d	c-d	e	f	g
przepływ flow [m3/s] % przepływu % of flow	2943 98	57 2	1275	1668	1332	84	1752	1248	3k
przepływ flow [m3/s] % przepływu % of flow	2680 90	320 10	1116	1565	1435	182	1746	1254	3k
przepływ flow [m3/s] % przepływu % of flow	1556 51	1444 49	304	1253	1747	456	1709	1291	3k
przepływ flow [m3/s] % przepływu % of flow	1182 39	1818 61	-51 - 53	1228	1772	477	1705	1295	3k
przepływ flow [m3/s] % przepływu % of flow	336 10	2664 90	-734	1067	1933	607	1674	1326	3k
przepływ flow [m3/s] % przepływu % of flow	70 2	2930 98	-907	977	2023	678	1655	1345	3k

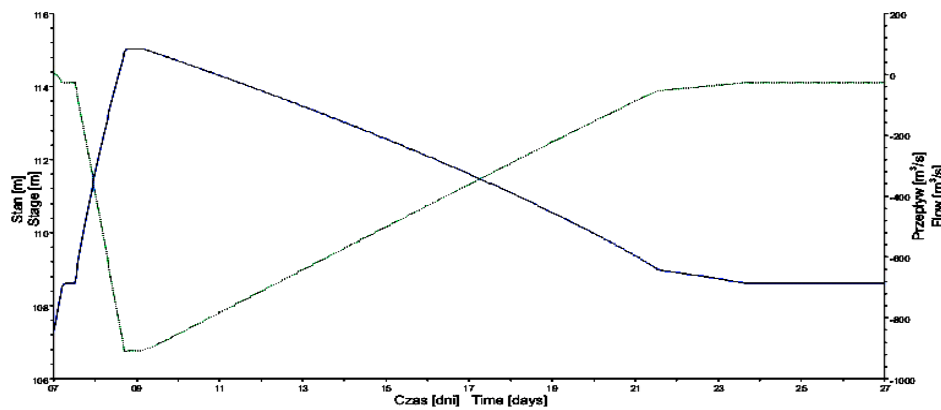
Rozdział przepływu w kanałach „a” i „b” jest prostą konsekwencją początkowego ustawienia urządzeń zrzutowych jazów w tych kanałach i odnosi się do wartości maksymalnych przepływu w szczycie fali wezbrania.

Wykres stanów i przepływów na rysunku 5 przedstawia sytuację, w której początkowo przepływ w kanale „a-b” jest zgodny ze spadkiem dna, następnie wraz ze wzrostem przepływu w kanale „b” zmienia kierunek na przeciwny, by ostatecznie na opadającym odcinku fali wezbrania powrócić do kierunku początkowego. Ze względu jednak na wielkość przepływu w kanale „a-b” wynoszącą mniej niż 2% przepływu sumarycznego w kanałach „a” i „b” można przyjąć, że w tym wariantcie nie uczestniczy on w przerzucie wody pomiędzy górną i dolną nitką kanałów. W przypadku niemal całkowitego skierowania przepływu do kanału „b” przepływ w kanale „a-b” odbywa się przez cały okres symulacji w kierunku przeciwnym do kierunku spadku dna kanału (rys. 6).

Ogólna interpretacja tabeli 1 sprowadza się do stwierdzenia, że im kanał znajduje się dalej od węzła rozdziału przepływu, tym wpływ tego rozdziału na przepływ w kanale jest mniejszy. Otrzymane wyniki dla kanałów „c” i „d” zmieniają się w zakresie około 23%, dla kanału „c-d” 20%, a dla kanałów „e” i „f” około 3,3%



**Rysunek 5.** Wykres stanów i przepływów w kanale „a-b” dla czwartej pozycji w tabeli 1  
**Figure 5.** Stage and flow chart in “a-b” channel for 4<sup>th</sup> position in table 1

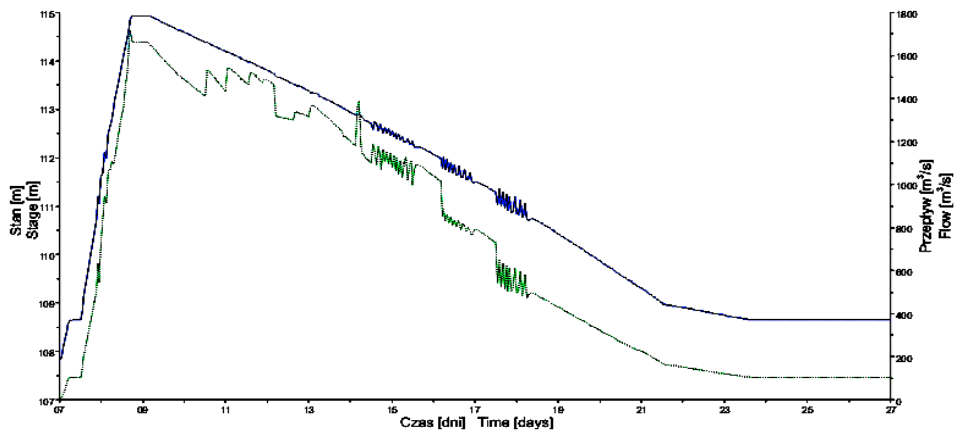


**Rysunek 6.** Wykres stanów i przepływów w kanale „a-b” dla ostatniej pozycji w tabeli 1  
**Figure 6.** Stage and flow chart in “a-b” channel for the last position in table 1

### WARIANTY STEROWANIA URZĄDZENIAMI ZRZUTOWYMI JAZÓW W ZALEŻNOŚCI OD POŁOŻENIA ZWIERCIADŁA WODY NA GÓRNYM STANOWISKU BUDOWLI

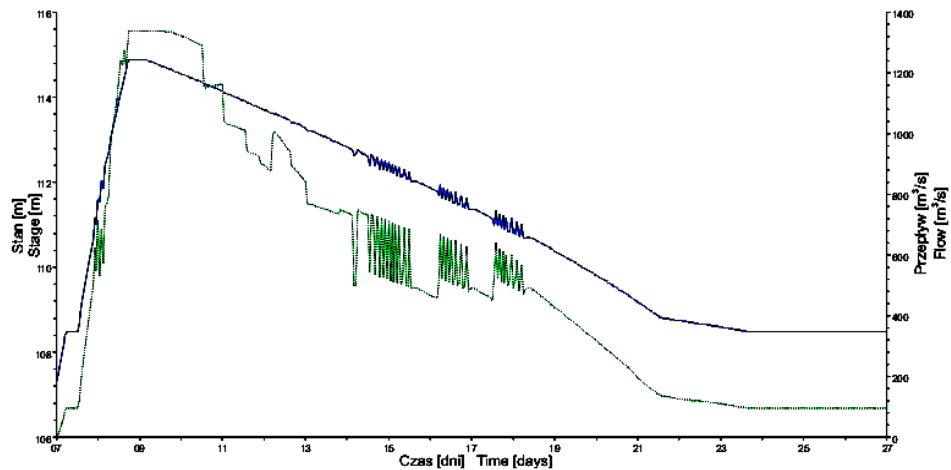
Założono, że urządzenia zrzutowe jazów są początkowo otwarte na około 12,5% całkowitej przepustowości, następnie wraz ze wzrostem napelnienia na górnym stanowisku są otwierane do pełnej przepustowości lub zamykane przy obniżeniu rzędnej zwierciadła wody na górnym stanowisku poniżej przyjętej

wartości. Różnica w zmianach rzędnej zwierciadła wody na górnym stanowisku nie powinna być większa niż 1 metr przez cały okres symulacji. Jedynymi kryteriami sterowanie urządzeniami zrzutowymi obu jazów są powyższe warunki. Aby uzyskać stabilność numeryczną modelu na początku obliczeń przyjęto, że w chwili startu modelu w każdym kanale następuje już przepływ o natężeniu  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , co stanowi mniej niż 0,1% maksymalnej wartości przepływu.



**Rysunek 7.** Wykres stanów i przepływów w kanale „a” w warunkach sterowania zamknięciami manewrowymi jazów

**Figure 7.** Stage and flow chart in “a” channel considering weir gates controlling



**Rysunek 8.** Wykres stanów i przepływów w kanale „b” w warunkach sterowania zamknięciami manewrowymi jazów

**Figure 8.** Stage and flow chart in “b” channel considering weir gates controlling

W warunkach rzeczywistych sterowanie przepływem będzie odbywało się na podstawie prognozy, której wiarygodność będzie malała wraz z długością okresu, na który jest przewidywana.

W warunkach modelowych można przyjąć do obliczeń dowolną treść prognozy i wykonać niemal nieskończoną liczbę symulacji, starając się coraz dokładniej odwzorowywać w modelu geometrię przepływu i właściwości zabudowy hydrotechnicznej kanałów. Obliczenia przeprowadzono przy użyciu ogólnie dostępnego modelu HEC-RAS, który pozwala na wykonywanie obliczeń w czasie rzeczywistym.

### WNIOSKI

Widzę możliwość wdrożenia prezentowanego modelu dla hydrowęzła wrocławskiego, jak i do innych zastosowań inżynierskich wymagających sterowania złożonymi układami w sieci kanałów. W przypadku WWW, odwzorowanie aktualnej geometrii przepływu oraz wstawienie do modelu istniejących obiektów hydrotechnicznych wraz z opcjami sterowania ich urządzeniami zrzutowych nie powinno znacząco wydłużyć czasu obliczeń pojedynczego wariantu powyżej kilkudziesięciu sekund. Po kalibracji modelu pozwoli to wykonać praktycznie nieograniczoną liczbę symulacji, nawet dla zdarzeń o znikomym prawdopodobieństwie wystąpienia i z uwzględnieniem np. szczególnych scenariuszy ewolucji dna kanałów. Baza danych gromadząca wiarygodne scenariusze, oparte na historycznych charakterystykach wezbrań, może wspomagać procesy decyzyjne w sytuacji konieczności sterowania przepływem w czasie rzeczywistym. Ponieważ w Instytucie Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu przewiduje się budowę modelu fizycznego hydrowęzła wrocławskiego, stwarza to możliwość identyfikacji niektórych parametrów do modelu komputerowego.

### BIBLIOGRAFIA

HEC-RAS Applications Guide  
HEC-RAS Reference Manual

Jacek Markowski  
Wydziałowe Laboratorium Komputerowe  
na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
tel. 071 3205507  
e-mail: jacek.markowski@up.wroc.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. Włodzimierz Parzonka*