

Dział: Melioracje i Inżynieria Środowiska

ISSN 1897-7820

http://www.npt.up-poznan.net/tom1/zeszyt2/art_27.pdf

Copyright ©Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu

IRENEUSZ LAKS¹, TOMASZ KAŁUŻA²

¹Katedra Mechaniki Budowli i Budownictwa Rolniczego

²Katedra Budownictwa Wodnego

Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu

ANALIZA PRZEJŚCIA FALI WEZBRANIOWEJ Z 1997 ROKU NA ODCINKU OD JEZIORSKA DO OBORNIK W MODELU OBLICZENIOWYM, UWZGLĘDNIAJĄCYM AKTYWNA CZĘŚĆ PRZEKROJU*

Streszczenie. W pracy przedstawiono analizę przejścia fali powodziowej Warty z lipca 1997 roku na odcinku od zbiornika Jeziorsko do przekroju wodowskazowego w Obornikach. Model numeryczny odcinka zawierał implementację aktywnej strefy przepływu, bazującą na zmodyfikowanej metodzie Pasche. Obliczenia zrealizowano, wykorzystując komputerowy system modelowania przepływów nieustalonych SPRUNER.

Słowa kluczowe: przepływ nieustalony, metoda Pasche, aktywna strefa przepływu

Odzworowanie szerokich dolin zalewowych w jednowymiarowych modelach przepływu

Szerokie tereny zalewowe w sposób istotny wpływają na transformacje przepływu fal wezbraniowych i powodziowych, dlatego ich oddziaływanie musi być uwzględnione w numerycznych modelach przepływu nieustalonego. W modelach bazujących na układzie równań Saint-Venanta oddziaływanie terenów zalewowych jest uwzględnione dzięki obliczeniowemu podzieleniu przekroju obliczeniowego rzeki na przekrój czynny A_c (przepływowy) oraz całkowity $A = A_c + A_o$. W równaniu ciągłości uwzględnia się cały przekrój; przyjmie ono wtedy postać (MAIDMENT i IN. 1992):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial (A_c + A_o)}{\partial t} = q \quad (1)$$

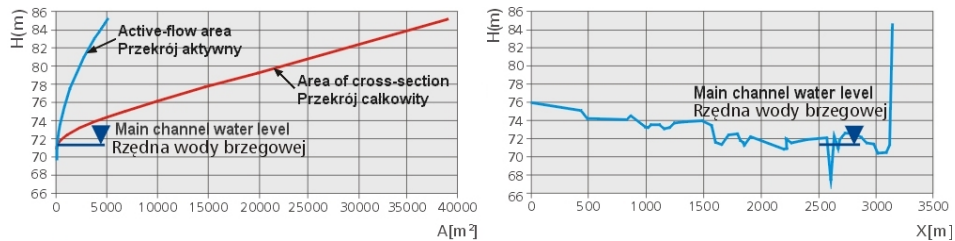
* Praca zrealizowana w ramach grantu Ministerstwa Nauki i Informatyzacji nr 2 P06S 078 28.

W równaniu ruchu (2) uwzględnia się tylko przekrój czynny. Całkowite pole powierzchni przekroju jest identyfikowane polem powierzchni przekroju czynnego:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2/A_c)}{\partial x} + gA_c \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_{ec} \right) + W = 0 \quad (2)$$

gdzie: Q – natężenie przepływu (m^3/s), h – rzędna zwierciadła wody (m), x – współrzędna położenia przekroju (m), A_c – pole powierzchni strefy aktywnej przekroju rzeki (m^2), A_o – pole powierzchni stref retencji przekroju rzeki (m^2), t – czas (s), g – przyspieszenie ziemskie (m/s^2), q – jednostkowy dopływ boczny na długości cieku ($\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$), β – współczynnik Saint-Venanta, S_f – spadek hydrauliczny, S_{ec} – człon uwzględniający straty przy zawężeniu lub rozszerzeniu przekroju, $W = qQ/A_c$ – człon uwzględniający jednostkowy dopływ boczny w równaniu ruchu (m^3/s^2).

W tak przyjętym schemacie obliczeniowym podstawową trudność stanowi wyznaczenie pola powierzchni aktywnej strefy przepływu. Jedną z metod jej definiowania w jednowymiarowych modelach przepływu nieustalonego jest metoda Pasche (PASCHE 1984), która zakłada podział złożonego przekroju poprzecznego koryta na wiele stref przepływu. Metoda została zaimplementowana w jednowymiarowym systemie modelowania przepływów nieustalonych SPRUNER (LAKS I KAŁUŻA 2005). Przyjmuje się w nim, że czynna część przekroju składa się z obszaru wyznaczającego wodę brzegową koryta głównego, powiększonego o zasięg strefy interakcji, i terenów zalewowych. Zasięg strefy interakcji zależy od parametrów pokrywy roślinnej oraz rzędnych zwierciadła wody. Dla każdego przekroju system przechowuje dwa zestawy danych, osobno dla strefy aktywnej i obszaru całkowitego przepływu. Na rysunku 1 pokazano wartości aktywnej i całkowitej powierzchni przepływu dla przekroju obliczeniowego 350+100, zlokalizowanego w obrębie Doliny Konińsko-Pyzderskiej.



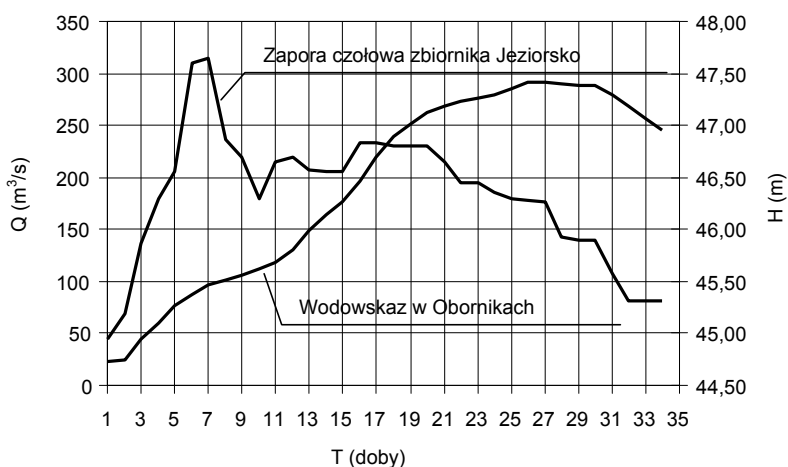
Rys. 1. Przekrój obliczeniowy Warty w km 350+100. Wykres pola powierzchni przekroju aktywnego i całkowitego

Fig. 1. Cross-section located at 350+100 km of Warta river. Scheme of active flow area and area of whole cross-section

System modelowania przepływów nieustalonych SPRUNER

Stosowanie metod numerycznych do rozwiązywania układu równań de Saint-Venanta wymaga w praktyce opracowania aplikacji komputerowych w formie pojedynczych programów lub rozbudowanych systemów informatycznych (CUNGE 1989, ABBOTT i IN. 1991). Wykorzystany do obliczeń system SPRUNER (WOSIEWICZ i IN. 1996) powstał w ramach projektu badawczego, realizowanego na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska Akademii Rolniczej w Poznaniu od połowy 1993 do 1995 roku. Do rozwiązania układu równań różniczkowych (1) i (2) wykorzystano metodę różnic skończonych. Nieznane człony równań są aproksymowane czteropunktowym niejawnym schematem Preissmanna.

System nadal jest rozwijany i udoskonalany pod kątem zarówno rozszerzania zbioru rozwiązywanych problemów, jak i optymalizacji architektury rozwiązania informatycznego. W wersji z 2004 roku system SPRUNER umożliwia prowadzenie obliczeń dla rzeki z rozgałęzieniami (bifurkacje i oczka), zabudowanej mostami, uwzględnia zasilenie boczne (wzdłuż długości rzeki, związane na przykład z przyrostem powierzchni zlewni), a także w pełni odwzorowuje dopływy rzeki, retencje dolinowe, pracę polderów i kanałów okresowo prowadzących wodę (LAKS i WOSIEWICZ 1997). Można zdefiniować praktycznie dowolną ilość polderów połączonych z rzeką wieloma przelewami. Ilość zbiorników i przelewów jest ograniczona jedynie dostępną pamięcią operacyjną komputera. Przelew wałowy jest modelowany jako przelew o szerokiej koronie.



Rys. 2. Górny (zapora czołowa zbiornika Jeziorsko) i dolny (wodowskaz w Obornikach) warunek brzegowy modelu obliczeniowego. Dane dla fali z 1997 roku
 Fig. 2. Upper boundary condition (main dam of Jeziorsko reservoir) and lower boundary condition (Oborniki gauge station) of numerical model. Data for flood wave taken place in 1997

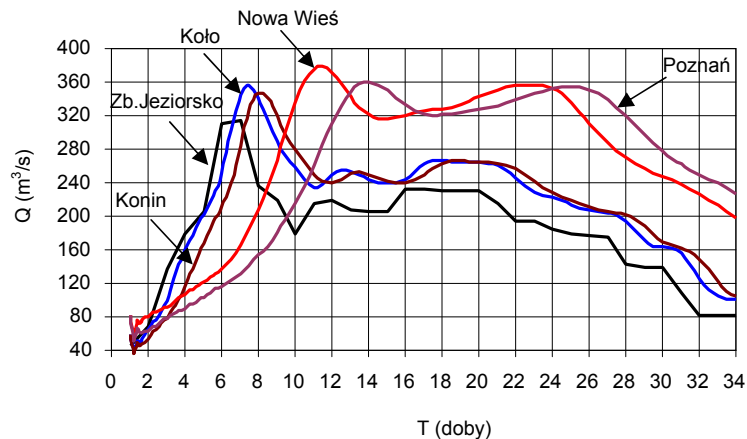
Model odcinka Warty od zapory czołowej zbiornika Jeziorsko do Obornik

Modelowany odcinek Warty to fragment zlokalizowany między przekrojem w km 384+150, odpowiadający dolnemu stanowisku zapory czołowej zbiornika Jeziorsko oraz km 206+300, w którym znajduje się posterunek wodowskazowy Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Obornikach.

Model analizowanego odcinka zawierał 244 odcinki obliczeniowe, 21 przekrojów poprzecznych, 27 mostów, cztery kanały ulgi (w Kole, Koninie, Śremie i Poznaniu), dwa przelewy wałowe oraz jeden zbiornik przyrzeczny (polder Golina). W modelu uwzględniono również dwa dopływy – Prosnę i Ner. Dane o geometrii przekrojów, zabudowie hydrotechnicznej i początkowych wartościach współczynników szorstkości dla koryta i terenów zalewowych, wprowadzone do bazy danych systemu SPRUNER, określił LEWANDOWSKI i IN. (1995). Obliczenia przeprowadzono dla dwóch wariantów – ze strefą aktywną i bez niej. Model został poddany procedurze tarowania.

Transformacja fali wezbraniowej z 1997 roku

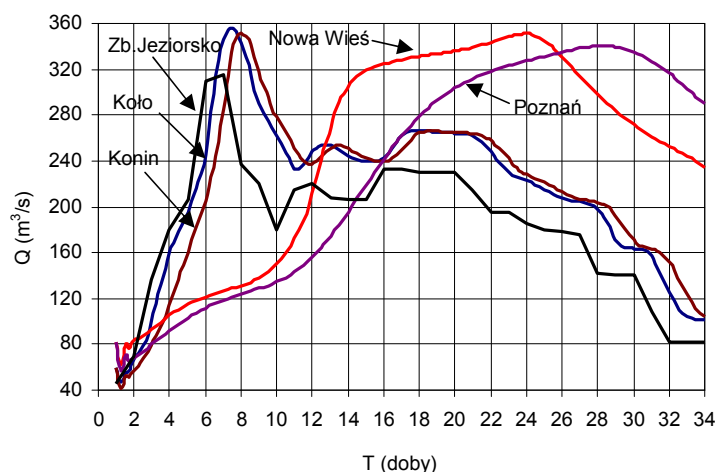
Wyniki obliczeń transformacji fali wezbraniowej z 1997 roku przedstawiono w postaci hydrogramów stanów oraz przepływów w przekrojach kontrolnych Koło, Konin, Nowa Wieś Podgórna oraz Poznań. Wyniki porównano z danymi pomiarowymi. Na rysunku 3 przedstawiono hydrogramy przepływów w przekrojach kontrolnych dla wariantu bez aktywnej strefy przepływu. Dodatkowo naniesiono hydrogram zrzutów ze zbiornika Jeziorsko. Zauważyć można, że fala nie uległa w sposób istotny transformacji, zachowując kształt na całym odcinku.



Rys. 3. Obliczeniowe hydrogramy przepływów w przekrojach kontrolnych Koło, Konin, Nowa Wieś Podgórna oraz Poznań dla modelu bez wydzielonej aktywnej strefy przepływu

Fig. 3. Calculating results of discharge for control cross-section located in Koło, Konin, Nowa Wieś Podgórna and Poznań (example with no active cross-section)

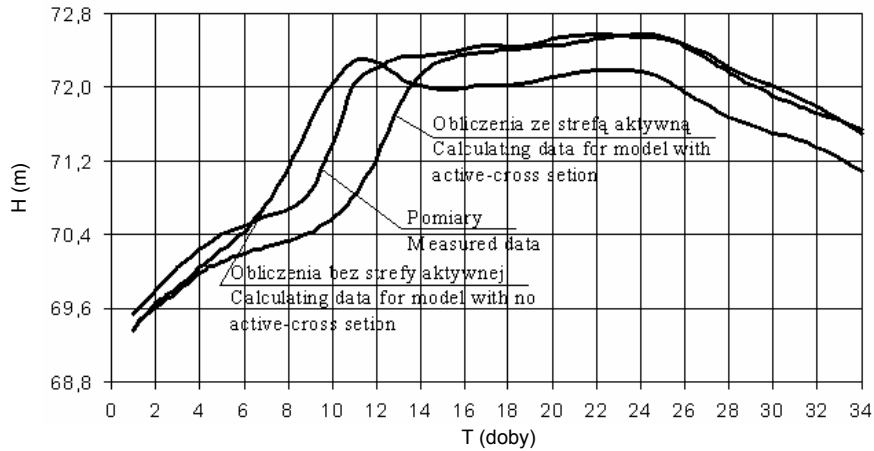
Rysunek 4 przedstawia wyniki dla modelu z wydzieloną strefą aktywną. Tutaj również przedstawiono obliczeniowe hydrogramy przepływów w przekrojach kontrolnych. Widoczna jest istotna zmiana kształtu fali w przekrojach Nowa Wieś Podgórna oraz Poznań. Przekroje te leżą poniżej Doliny Konińsko-Pyzderskiej, która ma największy wpływ na transformację przepływów wód wielkich.



Rys. 4. Obliczeniowe hydrogramy przepływów w przekrojach kontrolnych Koło, Konin, Nowa Wieś Podgórna oraz Poznań dla modelu z wydzieloną aktywną strefą przepływu

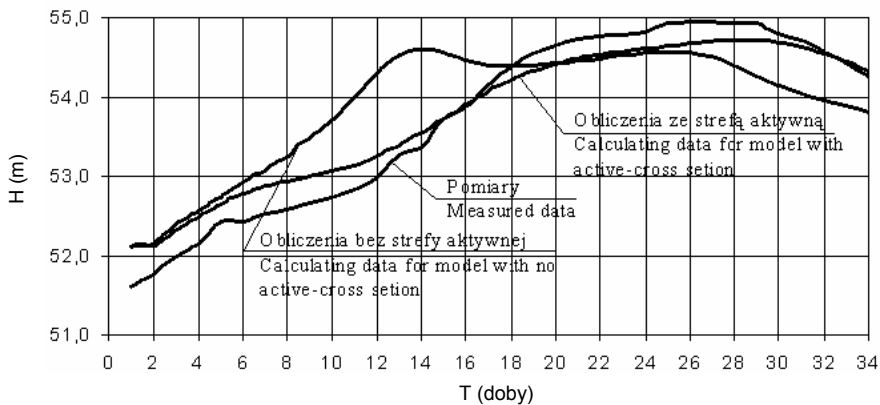
Fig. 4. Calculating results of discharge for control cross-section located in Koło, Konin, Nowa Wieś Podgórna and Poznań (example with active cross-section)

Wyniki modelu obliczeniowego porównano z danymi pomiarowymi w przekrojach kontrolnych. Dla przekrojów wodowskazowych Nowa Wieś Podgórna oraz Poznań dodano wyniki obliczeń dla wariantu bez strefy aktywnej, co przedstawiono na rysunku 5 oraz 6. Otrzymane rezultaty wskazują, że uwzględnienie aktywnej strefy przepływu w obliczeniach numerycznych zdecydowanie poprawiło odwzorowanie transformacji przepływu na modelowanym odcinku rzeki. Odnosi się to w szczególności do przekrojów położonych poniżej Doliny Konińsko-Pyzderskiej, to jest Nowej Wsi Podgórnej oraz Poznania. W modelu bez strefy aktywnej właściwości retencyjne doliny nie zostają poprawnie odwzorowane, co skutkuje niewielkim wpływem na obliczeniową transformację przepływu.



Rys. 5. Porównanie obliczeniowych oraz pomiarowych hydrogramów stanów w przekroju wodowskazowym Nowa Wieś Podgórna

Fig. 5. Comparison of calculated and measured data of water level in Nowa Wieś Podgórna gauge – station



Rys. 6. Porównanie obliczeniowych oraz pomiarowych hydrogramów stanów w przekroju wodowskazowym Poznań

Fig. 6. Comparison of calculated and measured data of water level in Poznań gauge – station

Podsumowanie

Opisany w artykule schemat odwzorowania szerokich dolin zalewowych wprowadza do jednowymiarowych modeli przepływu nieustalonego, bazujących na układzie równań de Saint-Venanta, nowe parametry, wymagające tarowania w procesie identyfikacji modelu z obiektem rzeczywistym. Przyjęcie współczynnika oporów ruchu jako jedynego

parametru tarowania nie ma zastosowania dla modeli długich odcinków rzek, z obiektami o zdecydowanie przestrzennym charakterze ruchu wody w ich obrębie. W praktyce dla każdej symulacji, w której analizuje się falę wezbraniową lub powodziową, jest konieczny dobór parametru determinującego zasięg strefy aktywnej i jej zmienność wraz z napełnieniem. Unika się w ten sposób wprowadzania do modelu wartości współczynników szorstkości, zdecydowanie odbiegających od ich realnego zakresu, co w istocie wskazuje na nieadekwatność podstaw fizycznych modelu lub niepewność danych opisujących geometrię cieku, która jest uznawana jako wiarygodna. Przedstawione tu wyniki symulacji przejścia fali wezbraniowej z 1997 roku na odcinku Warty od zapory czołowej zbiornika Jeziorsko do Obornik wskazują, że bez uwzględnienia aktywnej strefy przepływu w obrębie szerokich terenów zalewowych nie jest możliwe poprawne odwzorowanie w modelu numerycznym warunków przepływu wód wielkich.

Literatura

- ABBOTT M.A., HAVNØ K., LINDBERG S., 1991. The forth generation of numerical modelling in hydraulics. *J. Hydraul. Res.* 29.
- CUNGE J.A., 1989. Recent developments in river modelling. W: Proc. Int. Conf. Hydraulic and Environmental Modeling of Coastal, Estuarine and River Water. Bradford, England.
- Handbook of Hydrology. 1992. Red. D.R. Maidment. McGRAW-HILL INC. New York.
- LAKS I., KALUŻA T., 2005. Implementacja Aktywnej Strefy Przepływu w Komputerowym Systemie Modelowania Przepływu Nieustalonego SPRUNER. *Gosp. Wod.* 1.
- LAKS I., WOSIEWICZ B.J., 1997. Uwzględnienie oddziaływania polderów w jednowymiarowych modelach transformacji przepływu. *Rocz. AR Pozn. Melior. Inż. Środ.* 19: 159-167.
- LEWANDOWSKI J.B., REMBEZA L., ZAWADZKI P., 1995. Model matematyczny rzeki Warty dla ruchu nieustalonego na odcinku od zbiornika Jeziorsko do Poznania. *Maszyn. Kat. Bud. Wodn. AR, Poznań.*
- PASCHE E., 1984. Turbulenzmechanismen in naturnahen Fließgewässern und die Möglichkeiten ihrer mathematischen Erfassung. *Mitt. Inst. Wasserb. Wasserwirtsch. RWTH.* 52.
- WOSIEWICZ B., LAKS I., SROKA Z., 1996. Computer system of flow simulation for the Warta river, *Pr. Nauk. Inst. Geotech. Hydromech. P. Wroc., Ser. Konf.* 38.

ANALYSIS OF FLOOD-WAVE TRANSFORMATION IN 1997 IN WARTA RIVER FROM JEZIORSKO TO OBORNIKI RIVER GAUGE STATIONS BY MEAN OF NUMERICAL MODEL WITH IMPLEMENTATION OF ACTIVE-CROSS SECTION

Summary. Results of calculations for Warta river section from Jeziorsko reservoir to Oborniki gauge – station were presented as an example of using modified Pasche method implemented in one-dimensional model of flow routing for analyzing flood-wave transformation in long section of lowland rivers. Implementation of flow active cross-section in one-dimensional computer system of flow routing named SPRUNER has been presented in the paper.

Key words: unsteady flow, Pasche method, active cross-section

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Ireneusz Laks, Katedra Mechaniki Budowli i Budownictwa Rolniczego, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 61-691 Poznań, Poland, e-mail: ilaks@au.poznan.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 10.05.2007

*Do cytowania – For citation: Laks I., Kałuża T., 2007. Analiza przejścia fali wezbraniowej z 1997 roku na odcinku od Jeziorska do Obornik w modelu obliczeniowym, uwzględniającym aktywną część przekroju. *Nauka Przyr. Technol.* 1, 2, #27.*