

ANALIZA PRACY WYBRANYCH STOPNI WODNYCH NA ODCINKU NOTECI BYSTREJ W WARUNKACH ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO

Justyna Płaczek

Biuro Projektów Wodnych Melioracji i Inżynierii Środowiska
BIPROWODMEL Sp. z o.o.

Tomasz Dysarz, Joanna Wicher-Dysarz

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie. Celem przedstawionej publikacji jest analiza warunków przepływu oraz pracy budowli wodnych usytuowanych na odcinku Noteci Bystrej od stopnia Romanowo do jazu w Rosku. Obiekt badawczy zostały wybrany z dwóch powodów: (1) dla tego odcinka rzeki Noteć zostały opracowane mapy zagrożenia powodziowego jako wdrożenie Dyrektywy Powodziowej UE w ramach prac nad projektem ISOK, (2) na wymienionym odcinku znajduje się szereg budowli piętrzących posiadających zdolność retencjonowania wody i oddziaływania na falę wezbraniową. W ramach badań wykorzystano szeroko narzędzia GIS oraz modelowania matematycznego.

Słowa kluczowe: Notec Bystra, HEC-RAS, symulacja przepływu, budowla hydrotechniczna

WSTĘP

Istotą problemu poruszonego w niniejszej pracy jest analiza zmian funkcjonowania wybranych stopni wodnych na Noteci Bystrej. Badania zostały wykonane za pomocą modelu jednowymiarowego umożliwiającego symulację przepływu wezbraniowego w korycie rzeczonym. Testowano różne warianty pracy budowli na przykładzie fal hipotetycznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia. W badaniach wykorzy-

Adres do korespondencji – Corresponding authors: mgr inż. Justyna Płaczek, Biuro Projektów Wodnych Melioracji i Inżynierii Środowiska BIPROWODMEL Sp. z o.o., ul. Dąbrowskiego 138, 60-101 Poznań; dr inż. Joanna Wicher-Dysarz, dr inż. Tomasz Dysarz, Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94 A, 60-649 Poznań; e-mail: dysarz@up.poznan.pl, jwicher@up.poznan.pl.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2016

stano różnorodne dane oraz narzędzia GIS zarówno na etapie przygotowania danych, jak i w procesie analizy oraz wizualizacji wyników.

Zastosowanie narzędzi GIS w analizach zagrożenia i ryzyka powodziowego, a także do rozwiązywania innych problemów środowiskowych jest coraz powszechniejsze. Ciekawym przykładem może być praca Khatami i Khazaei [2014], w której opisano wiele korzyści wynikających z wykorzystania aplikacji GIS w modelowaniu hydrologicznym. Wśród polskich autorów podobne prace publikuje Gołuch [2000a, 2000b, 2003]. W artykułach tych można znaleźć wiele podstawowych informacji dotyczących funkcjonalności modelu, modyfikowania go, czy pozyskiwanie nowych informacji z istniejących danych.

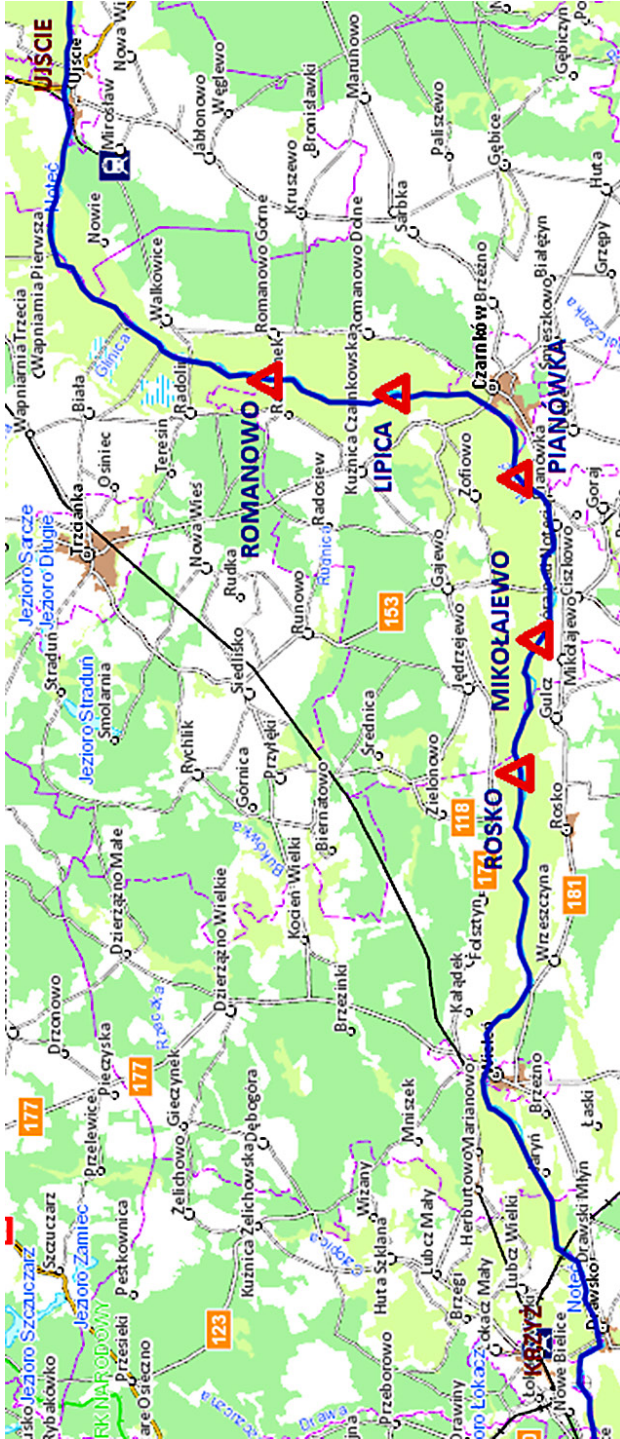
Nieco bardziej zaawansowane prace pojawiają się na gruncie zastosowań GIS i modelowania hydrodynamicznego w ochronie przed powodzią. Przykładem może być niedawna praca Brandta [2016] poświęcona modelowaniu i wizualizacji niepewności wyznaczania stref zagrożenia powodziowego. Podobny charakter ma praca Safaripour i in. [2012]. Z kolei prace Tiukało i in. [2015a] oraz Tiukało i in. [2015b] pokazują zastosowanie podobnych metodologii na gruncie lokalnym.

Od momentu wejścia w życie Dyrektywy Powodziowej (26 listopada 2007) nasz kraj zobowiązany jest do sporządzenia dokumentów planistycznych z zakresu zarządzania ryzykiem powodziowym. Metodologię sporządzania map zagrożenia i ryzyka powodziowego można znaleźć między innymi w opracowaniach wykonanych na zlecenie KZGW przez Borowicza i in. [2009] czy IMGW w Krakowie [2013]. Narzędzia GIS w kwestii opracowywania map są najbardziej odpowiednim rozwiązaniem. Wykorzystanie numerycznego modelu rzeźby terenu jest niezbędne w procesie tworzenia map zagrożenia i ryzyka powodziowego. W publikacjach Kurczyńskiego [1998] można znaleźć prezentację technologicznych podstaw uwarunkowania budowy NMT. Natomiast Gołuch [2002a, 2002b, 2003] skupił się na generowaniu NMT, w celu przeprowadzenia symulacji przepływu wody w dolinie rzeki oraz wykorzystaniu modelu terenu i ortofotomapy, jako źródła danych określających cechy hydrauliczne doliny cieku.

Celem niniejszej publikacji jest analiza warunków przepływu oraz pracy wybranych stopni wodnych usytuowanych na odcinku Noteci Bystrej od stopnia Romanowo do jazu w Rosku. Analiza została przeprowadzona na podstawie symulacji przepływu i pracy budowli w warunkach propagacji fal wezbraniowych o kulminacjach odpowiadających przepływowi maksymalnym 10% oraz 1%. Testowano trzy warianty pracy budowli. Wyniki przedstawiono w postaci profili podłużnych oraz map zasięgu zalewów powodziowych. Analiza wykazała, że odpowiednie sterowania budowlami umożliwia redukcję zagrożenia powodziowego w analizowanym obszarze

OPIS OBIEKTU BADAŃ

Rzeka Noteć stanowi najdłuższy i najbardziej zasobny w wodę prawostronny dopływ rzeki Warty. Swoje źródła ma w jeziorach Brdowskim i Modzerowskim na Pojezierzu Kujawskim. Jej długość wynosi 361 km. Noteć jest rzeką niziną, obejmującą swym zasięgiem zlewnię o powierzchni około 17 300 km². Przepływa przez trzy województwa: kujawsko-pomorskie, wielkopolskie i lubuskie [Kuczkowski 2000a, 2000b].



Ryc. 1. Lokalizacja wybranych stopni wodnych (Geoportal)
Fig. 1. Location of selected hydro-structures (Geoportal)

Największymi dopływami Noteci jest Gwda, która uchodzi do niej w miejscowości Ujście, oraz Drawa łącząca się z nią w okolicach Krzyża Wielkopolskiego.

Rzekę dzieli się na dwa podstawowe odcinki: górna Noteć – od źródeł do Nakła, o długości 174 km, oraz dolna Noteć – od Nakła do ujścia do Warty, o długości 187 km. Dolna Noteć płynie pradoliną Warty. Stanowi ona fragment Międzynarodowej Drogi Wodnej E70. Jej bieg jest dość rozwinięty i skanalizowany. Charakteryzuje się różnicowanymi spadkami, co pozwala wyróżnić kilka odcinków rzeki. Na odcinku około 15 km, tj. od miejscowości Nakło nad Notecią do Gromadna, spadek rzeki Noteć jest dość duży i sięga 0,29%. Dalej, do ujścia Gwdy, na długości około 50 km wynosi on zaledwie 0,016%. Stąd przyjęta została nazwa tego odcinka: Noteć Leniwa. Poniżej połączenia z jednym z największych dopływów – Gwdą w miejscowości Ujście – zlewnia rzeki powiększa się prawie dwukrotnie, a przepływy wzrastają 2,5-krotnie. Równocześnie zwiększa się spadek rzeki do 0,2%. Odcinek ten nazwano Notecią Bystrą lub Notecią Skanalizowaną. Od śluzu w Krzyżu do Santoka, gdzie uchodzi do Warty, Noteć jest wolno płynącą, uregulowaną rzeką. Jest to tak zwana Noteć Swobodnie Płynąca (www.mdwe70.pl). Na rycinie 1 przedstawiono lokalizację wybranych stopni wodnych na rzece Noteć, na odcinku do Ujścia do Krzyża.

Noteć Bystra przebiegająca od miejscowości Ujście (106,1 km) do Śluzu Krzyż (176,2 km) o długości 70,1 km, stanowi odcinek w pełni skanalizowany. Poziom wody na tym odcinku jest prawie całkowicie ustabilizowany dzięki pracy 11 jazów. Noteć Bystra na długich odcinkach, szczególnie powyżej jazów piętrzących, płynie w wałach cofkowych. Dolina Noteci Bystrej jest bardzo szeroka, a na obrzeżach jest intensywnie użytkowana rolniczo. Teren doliny jest w przeważającej części zbudowany z gleb torfowych, występują tu liczne rowy melioracyjne oraz starorzecza noteckie.

MATERIAŁY I METODY

Reżim rzeczny odcinka Noteci Bystrej oceniono na podstawie danych hydrologicznych z wielolecia 1970–2013 z profilu wodowskazowego Ujście 2, usytuowanego poniżej ujścia Gwdy. Dane opracowano za pomocą standardowych metod [Ozga-Zielińska i Brzeziński 1997]. Wyniki pozwalają zauważyć że najniższy przepływ wystąpił w 1992 roku i wyniósł $13,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a najwyższy obserwowany przepływ wyniósł $146 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, który odnotowano 1981 roku. Średni przepływ z wielolecia jest równy $47,39 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Natomiast przepływu o określonym prawdopodobieństwie występowania oszacowano za pomocą metody największej wiarygodności. Wybrane wartości zestawiono w tabeli 1.

Oprócz danych hydrologicznych w pracy wykorzystano Numeryczny Model Terenu (NMT) doliny Noteci Bystrej. Został on uzupełniony o specjalnie przygotowany NMT koryta rzeki sporządzony na podstawie pomiarów wykonanych przez IMGW w roku 2012 w ramach projektu ISOK. Wykorzystano również informacje o budowach takich jak jazy, śluzu oraz mosty, które występują na analizowanym odcinku. Materiał badawczy uzupełniono o fotografie przekrojów i obiektów (ryc. 2 a, b). Dodatkowo korzystano z materiałów udostępnionych przez BPWMiIŚ BIPROWODMEL [2011a, 2011b] do realizacji pracy magisterskiej Płaczek [2015].

a



b



Ryc. 2. Stopień wodny Rosko na rzece Noteć: a – widok śluzy od górnej wody, b – widok jazu piętrzącego od dolnej wody (fot. J. Wicher-Dysarz)

Fig. 2. Hydro-structure at Rosko in the Noteć river: a – headwater view of the lock, b – tailwater view of the weir (photo J. Wicher-Dysarz)

Przydatne okazały się również informacje zawarte w operatach wodno-prawnych stopni wodnych [np. Gajewski 2000a, 2000b, Olejniczak 2000]. Do badań wykorzystano 140 przekroji korytowych i 68 przekroji śluz żeglugowych (11 śluz), na odcinku ciekłu o długości około 84,5 km (ryc. 2 a, b). NMT koryta rzeki został połączony z NMT doliny za pomocą narzędzi dostępnych w pakiecie ArcGIS, np. HEC-GeoRAS [Cameron i Ackerman 2012].

Tabela 1. Wybrane wartości przepływów charakterystycznych i maksymalnych wyznaczone dla wodowskazu Ujście 2 na rzece Noteć na podstawie danych z wielolecia 1970–2013

Table 1. Selected values of characteristic and maximum flows estimated for Ujście 2 gauge station in the Noteć river on the basis of data collected in 1970–2013

Przepływ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	NNQ	SSQ	WWQ	$Q_{10\%}$	$Q_{1\%}$
	13,20	47,39	146,00	122,92	174,21

Do przeprowadzenia testów przepływu nieustalonego niezbędne jest wykorzystanie scenariusza wezbraniowego w postaci hydrogramu lub hydrogramów wezbraniowych w przekroju lub przekrojach dopływowych rzeki. Testowano potencjalne powodzie o wielkości kulminacji równej wybranym przepływowi maksymalnym. Dlatego posłużono się syntetycznymi hydrogramami wezbraniowymi skonstruowanymi na bazie równania Reitza-Krepsa. Równanie to ma szerokie zastosowanie w praktyce inżynierskiej w Polsce [Ciepielowski i Dąbkowski 2006, Gądek 2012]. Przyjęta forma analityczna hydrogramu wezbraniowego ma dwa człony opisujące falę wezbraniową w fazie przyboru ($t \leq t_s$) i w fazie opadania ($t \geq t_s$). Podstawowymi parametrami, które należy określić są: podstawa fali Q_0 , kulminacja Q_{\max} i czas pojawienia się kulminacji t_s [Byczkowski 1999].

$$Q(t) = Q_0 + \begin{cases} (Q_{\max, p} - Q_0) \sin^2 \left(\frac{\pi t}{2t_s} \right) & t \leq t_s \\ (Q_{\max, p} - Q_0) \exp [-\alpha(t - t_s)] & t \geq t_s \end{cases} \quad (1)$$

Za postawę fali Q_0 przyjęto przepływ charakterystyczny $SSQ = 47,39 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Jako przepływy kulminacyjne $Q_{\max, p}$ przyjęto wartości wybrane z krzywej przepływów maksymalnych. Testy zaprezentowane w pracy wykonano dla wody dziesięcio- (10%) i stuletniej (1%). Wartości wybranych przepływów podano w tabeli 1. Przyjęto 12-godzinny czas wznoszenia t_s (przyboru) zgodny z obserwacjami rzeczywistymi. Jako czas zakończenia przyboru wezbraniowego przyjęto 120 h, α_x – jest współczynnikiem recesji. Założono, że jego wartość 0,09 pozwala odtworzyć obserwowaną smukłość.

Symulacje przepływu nieustalonego wykonano za pomocą modelu przygotowanego w pakiecie HEC-RAS 4.1.0. Program ten zawiera szereg modułów obliczeniowych umożliwiających symulację przepływu oraz procesów zachodzących w rzekach, np. ruch rumowiska, migracja zanieczyszczeń. W przedstawionych analizach wykorzystano moduł przepływu nieustalonego. Algorytm ten umożliwia analizę zmiennego w czasie przepływu podłużnego w korycie rzecznym wielodzielnym o nieregularnym kształcie. Podstawą zastosowanej metodyki jest numeryczna wersja równań St. Venanta [Brunner 2010, Dysarz 2012]. Wykorzystane oprogramowanie umożliwia uwzględnienie budowy

wodnych i odwzorowanie ich warunków ich pracy. Przygotowanie geometrii koryta rzecznoego wraz z dodatkowymi elementami odbywa się za pomocą specjalnego zestawu narzędziowego HEC-GeoRAS, zainstalowanego jako komponent ArcGIS-a.

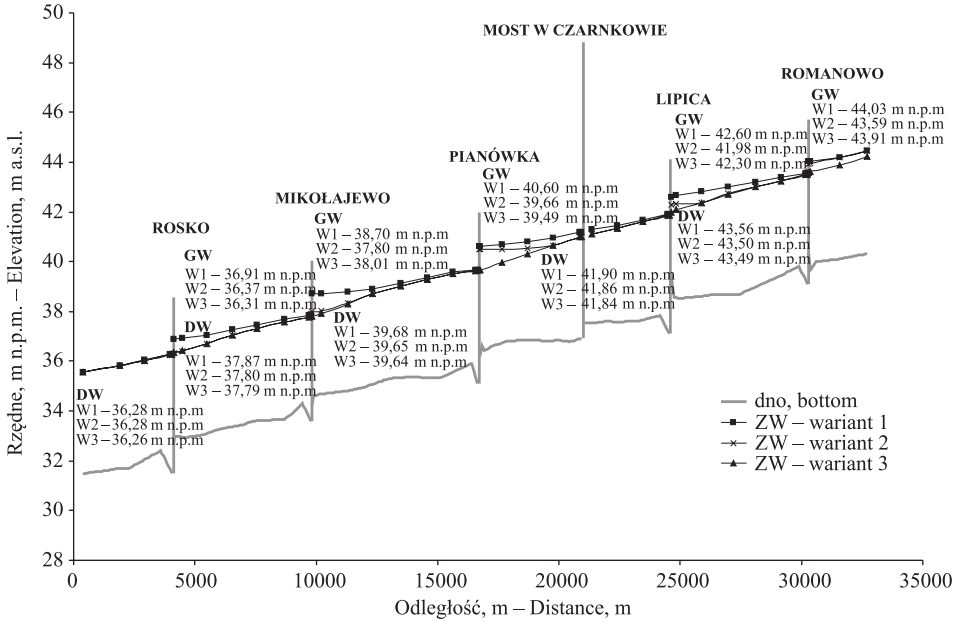
Szczegółowy przebieg rzeki, brzegów, trasy terenów zalewowych i wałów ustalano za pomocą ortofotomap oraz map topograficznych dostępnych przez Geoportal. Przygotowany model zawierał 94 przekroje podstawowe, 277 przekroi interpolowanych 5 jazów i 1 most. Średnia odległość między przekrojami podstawowymi wynosiła około 500 m. Po wprowadzeniu interpolacji między przekrojami obliczeniowymi odległości nie przekraczały 100 m. W pobliżu budowli przekroje były zagęszczane do średniej odległości około 50 m. Wszystkie modelowane budowle mają podobną konstrukcję geometryczną. Wartości wydatku przepustów budowli przyjęto równe 0,6, co jest wartością średnią z dopuszczalnego przez oprogramowanie zakresu. Pozostałe parametry, w tym współczynniki dławienia, przyjęto zgodnie ze standardowymi ustawieniami HEC-RASA. Składają się z trójprzęsłowego jazu. Założono, że służy są elementami nieprzepływowymi i nie uwzględniono ich w modelu. Współczynniki szorstkości koryta i terenów zalewowych oszacowano na podstawie zdjęć. Dla koryta przyjęto wartość $0,030 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1/3}$, natomiast dla terenów zalewowych $0,040 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1/3}$. W wybranych przekrojach zdefiniowano tzw. strefy retencjonowania wody.

Jako warunek początkowy przyjmowano układ zwierciadła wody wytworzony w warunkach przepływu ustalonego równego podstawie fali wezbraniowej. Warunkiem brzegowym dopływowym były przygotowane hydrogramy wezbraniowe. Natomiast na brzegu odpływowym zadano warunek swobodnego odpływu w postaci głębokości normalnej wyznaczanej dla spadku dna równego 0,17‰.

Celem symulacji przepływu nieustalonego było wyznaczenie profili zwierciadła wody oraz odpowiadających im zasięgów zalewów, przy różnej pracy stopni wodnych, dla przejścia dwóch fal powodziowych o kulminacjach Q_{\max} odpowiednio $Q_{10\%}$ i $Q_{1\%}$. Każdą z fal testowano dla trzech wariantów funkcjonowania budowli. Warianty różniły się stanem początkowym otwarcia światła przelewowych oraz sposobem manewrowania zamknięciami. W wariantcie 1 na początku zjawiska wezbraniowego zamknięcia były ustawiane na poziomie zapewniającym utrzymanie NPP przy przepływie równym podstawie fali wezbraniowej Q_0 . Następnie przyjęto, że zamknięcia otwierają się po przekroczeniu poziomu o 10 cm wyższego od NPP. Zamknięcia zamykały się po obniżeniu się poziomu zwierciadła wody o więcej niż 50 cm poniżej NPP. W wariantcie 2 przyjęto, że zamknięcia światła przelewowych są otwarte maksymalnie przez cały czas trwania symulacji. W wariantcie 3 przyjęto takie same reguły sterowania zamknięciami jak w wariantcie I. Jednak tym razem punktem startowym nie było utrzymanie NPP, ale otwarcie zamknięć jeszcze przed przyjsciem kulminacji, tak aby nastąpiło przygotowanie retencji korytowej. Natomiast po przejściu kulminacji fali wezbraniowej zamknięcia były stopniowo przysmykane.

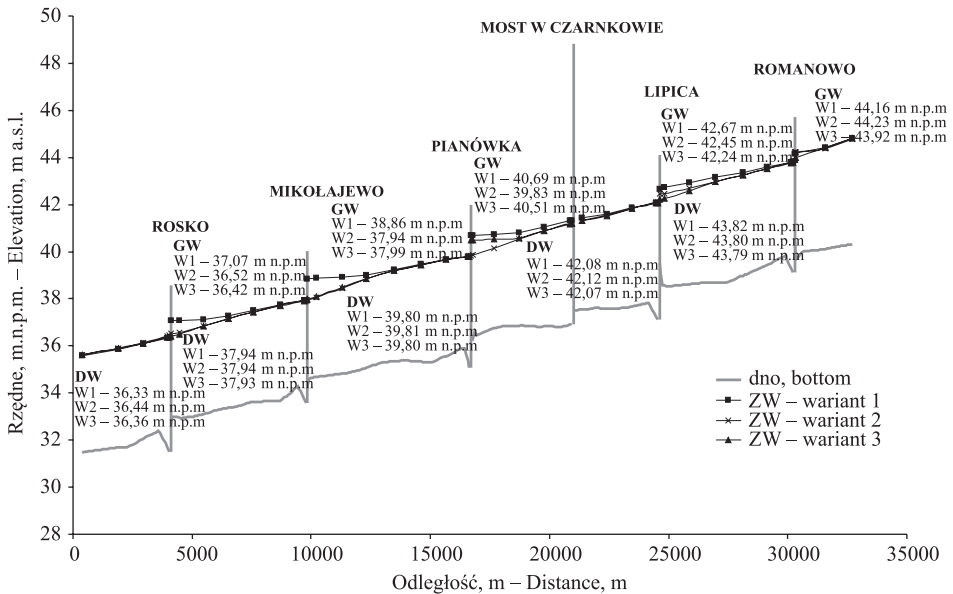
WYNIKI I Dyskusja

Wyniki przeprowadzonych testów zaprezentowano w dwóch formach, tzn. jako profile podłużne układu maksymalnych rzędnych zwierciadła wody (ryc. 3–4) oraz jako mapy maksymalnego zasięgu zalewu (ryc. 5–6).



Ryc. 3. Profil maksymalnych rzędnych zwierciadła wody, przy przejściu fali wezbraniowej o kulminacji $Q_{10\%}$

Fig. 3. Maximum water surface elevations for flood wave with maximum flow $Q_{10\%}$



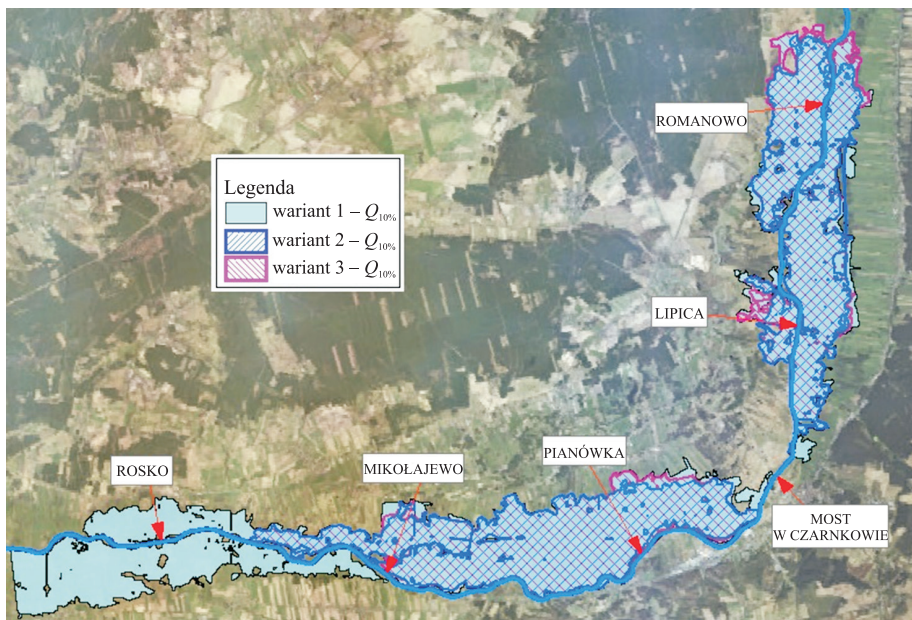
Ryc. 4. Układ max rzędnych zwierciadła wody, przy przejściu fali wezbraniowej o kulminacji $Q_{1\%}$

Fig. 4. Maximum water surface elevations for flood wave with maximum flow $Q_{1\%}$

Na ryc. 3 i 4 zamieszczono lokalizację stopni wodnych na długości rzeki wraz z mostem w miejscowości Czarnków. Budowle zaznaczone są pionowymi szarymi liniami. Dno kanału przedstawione jest jako linia szara. Poszczególne testowane warianty są zaznaczone liniami z symbolami: kwadratu, trójkąta oraz ikxa. Oznaczają one maksymalne rzędne zwierciadła wody odpowiednio dla wariantów 1, 2 i 3. Na wykresie zamieszczono również wartości rzędnych na stanowisku górnym i dolnym każdego stopnia.

Zgodnie z oczekiwaniami, przepływ maksymalny $Q_{1\%}$ (ryc. 4) daje znacząco wyższe rzędne niż przepływ $Q_{10\%}$ (ryc. 3). Jest to typowe niezależnie od testowanego wariantu. Na obu wykresach widać, że największe rzędne zwierciadła wody uzyskano dla wariantu 1. Wyniki te uwypuklają rolę początkowego otwarcia zamknięć, a tym samym przygotowania na nadejście fali wezbraniowej. Pomimo, że praca budowli w trakcie wezbrania jest różna w wariantach 2 i 3, to ostateczne wyniki w postaci maksymalnych rzędnych zwierciadła wody są bardzo podobne. W większości przypadków różnice między tymi wariantami zaznaczają się tylko w postaci niewielkich piętrzeń w bezpośrednim sąsiedztwie stopnia widocznych przy przepływie $Q_{1\%}$. Jedynie w przypadku stopnia Pianówka piętrzenia w wariantcie 3 są znacząco większe od tych uzyskanych w wariantcie 2. Różnicę można zaobserwować dla obu testowanych przepływów.

Analiza wezbrania wykazuje, że jest to efekt sterowania już po przejściu fali wezbraniowej. W wariantcie 2 zamknięcia pozostają otwarte przez cały okres symulacji. Natomiast w wariantcie 3 światła przelewowe są przymykane, gdy zwierciadło wody osiągnie poziom o 50 cm niższy niż NPP. Przy odpowiednio długim czasie symulacji, zwierciadło wody w wariantcie 3 będzie dążyć do NPP.

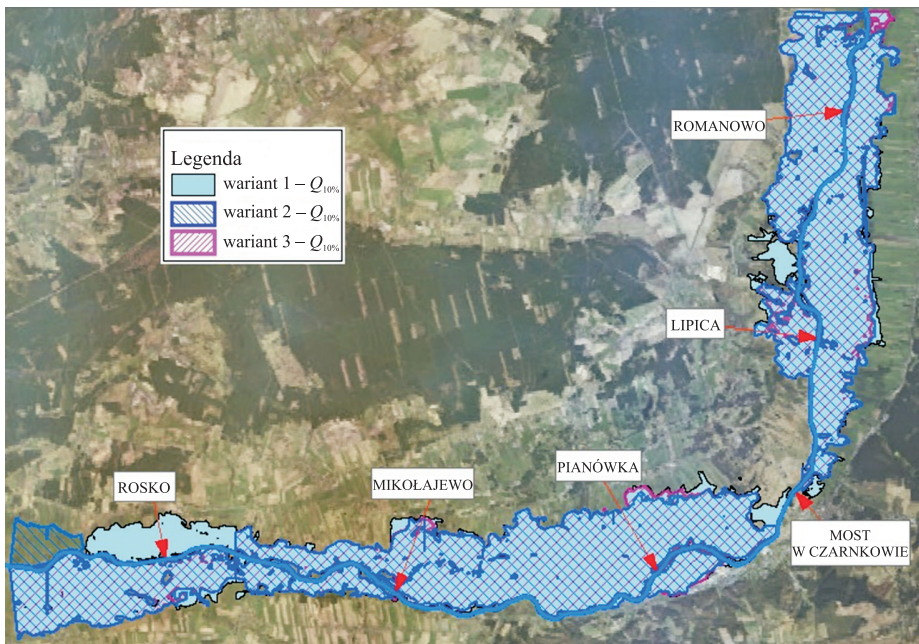


Ryc. 5. Zasięg zalewu dla trzech wariantów regulacji budowli przy przejściu fali wezbraniowej o kulminacji $Q_{10\%}$

Fig. 5. Flood inundation areas of three tested variants for flood wave with maximum flow $Q_{10\%}$

Na ryc. 5 i 6 przedstawiony mapy zasięgu zalewu na podkładzie ortofotomapy badanego obszaru. Na mapach doliny rzecznej zasięgi zaznaczono niebieską linią. Opisano również lokalizację budowli wodnych wraz z mostem w Czarnkowie. Zasięgi zalewu odpowiadające poszczególnym wariantom oznaczono w różny sposób. Wariant 1 przedstawiony jest jako pola niebieskie. Warianty 2 i 3 są zaznaczone poprzez zakreskowanie niebieskie w lewą i różowe w prawą stronę.

Zgodnie z przewidywaniami zasięgi zalewu otrzymane dla przepływu $Q_{1\%}$ są większe od zasięgów przy $Q_{10\%}$. Jednak trzeba zaznaczyć, że różnice między wariantami są mniejsze przy większym przepływie. Wyprzedzające otwarcie zamknięć zastosowane w wariantach 2 i 3 pozwala na redukcję zasięgu zalewu w stosunku do wariantu 1. Dodatkową redukcję może wprowadzić sterowanie zastosowane w wariacie 3. Ryc. 6, przedstawiająca wyniki dla przepływu $Q_{1\%}$, pokazuje, że mogą występować również różnice między wariantem 2 i 3. Zasięg zalewu poniżej stopnia Rosko, na odpływie z analizowanego odcinka, jest wyraźnie większy w przypadku wariantu 2.



Ryc. 6. Zasięg zalewu dla trzech wariantów regulacji budowli przy przejściu fali wezbraniowej o kulminacji $Q_{1\%}$

Fig. 6. Flood inundation areas of three tested variants for flood wave with maximum flow $Q_{1\%}$

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Analizując wyniki przedstawionych obliczeń można stwierdzić, że przepustowość budowli umożliwi przepływ testowanych fal wezbraniowych. W żadnej z przeprowadzonych symulacji nie zauważono przelewania się wody przez koronę budowli piętrzących.

Oprogramowanie, które zostało wykorzystane w procesie tworzenia modelu i przeprowadzania symulacji, zdecydowanie ułatwiło pracę nad przedstawionym problemem. Narzędzia GIS są doskonałym sposobem na usprawnienie pracy, a co za tym idzie – zaoszczędzenie czasu projektanta. Dodatkowo pomagają odbiorcom zrozumieć istotę problemu, dzięki wizualizacji wyników. Ponadto, aplikacje takie jak HEC-GeoRAS, które umożliwiają przenoszenie danych pomiędzy poszczególnymi programami, poszerzają zakres możliwości ulepszania modelu i uzyskania wyników zidentyfikowanych z obiektem.

W wyniku przeprowadzonych symulacji można stwierdzić, że wykorzystanie retencji dolinowej analizowanego odcinka rzeki w wariancie 1, przyczynia się do lekkiego spłaszczenia fali powodziowej. Może to być zjawiskiem pożądanym w przypadku zagrożeń dla konstrukcji budowli wynikających z niewystarczającej przepustowości.

Zgodnie z przewidywaniem, obniżenie piętrzenia na budowlach przed prognozowanym nadejściem fal wezbraniowych testowane w wariantach 2 i 3 może znacznie poprawić warunki przepuszczania wód wezbraniowych w korycie rzeki. Zaobserwowano znaczące zmniejszenie zasięgów zalewu w dolinie na analizowanym odcinku. Jednocześnie przymykanie zamknięć, po przejściu szczytu fali testowane w wariancie 3 przyczynia się do lepszego wykorzystania retencji korytowej i w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia zasięgu zalewu, także na dolnych odcinkach ciek.

Warto zauważyć, że na analizowanym odcinku rzeki Noteć znajduje się miejscowość Czarnków. Dlatego ważna może być wyprzedzająca informacja o zagrożeniu powodziowym na badanym odcinku.

Podsumowując: w warunkach powodziowych wskazana jest wcześniejsza reakcja i obniżenie piętrzenia na budowlach jeszcze przed nadejściem kulminacji wezbrania. Należy jednak pamiętać, że odcinek Noteci Bystrej stanowi fragment Międzynarodowej Drogi Wodnej E70. W związku z tym, przymykanie zamknięć przeseł zaraz po przejściu kulminacji fali powodziowej i szybki powrót do NPP, jest wskazany nie tylko dla bezpieczeństwa terenów przyległych do ciek, ale również umożliwia szybszy powrót do pożądanego stanu komunikacji rzecznej.

PIŚMIENNICTWO

- BPWMIŚ BIPROWODMEL Sp. z o.o. (2011a). Mała Elektrownia Wodna Mikołajewo na rzece Noteci. Koncepcja programowo – przestrzenna. Poznań.
- BPWMIŚ BIPROWODMEL Sp. z o.o. (2011b). Mała Elektrownia Wodna Pianówka na rzece Noteci. Koncepcja programowo – przestrzenna. Poznań.
- Borowicz, A., Kwiatkowski, J., Spatka, J., Zeman, E. (2009). Metodyka opracowania map zagrożenia powodziowego. DHI Polska na zlecenie Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Brandt, S.A. (2016). Modeling and visualizing uncertainties of flood boundary delineation: algorithm for slope and DEM resolution dependencies of 1D hydraulic models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 1–14 (w sieci od 18.01.2016).
- Brunner, G. (2010). HEC-RAS River Analysis System. User's Manual. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. USA.
- Byczkowski, A. (1999). *Hydrologia*. T. 2. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.

- Cameron, T., Ackerman, P.E. (2012). HEC-GeoRAS. GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS. User's Manual. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center, USA.
- Ciepielowski, A., Dąbkowski, S. (2006). Metody obliczeń przepływów maksymalnych w małych zlewniach rzecznych. Oficyna Wydawnicza Projprzem – EKO, Bydgoszcz.
- Dysarz, T. (2012). Teoretyczne podstawy symulacji przepływu niustalowanego i ustalonego w korytach otwartych. Maszynopis. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej.
- Gajewski, B. (2000a). Operat wodnoprawny. Hydrowęzeł Lipica – piętrzenie rzeki Noteci w km 128+330 drogi wodnej Wisła–Odra. Gospodarstwo Pomocnicze, przy RZGW, Poznań.
- Gajewski, B. (2000b). Operat wodnoprawny. Hydrowęzeł Rosko – piętrzenie rzeki Noteci w km 148+840 drogi wodnej Wisła–Odra. Gospodarstwo Pomocnicze, przy RZGW, Poznań.
- Gądek, W. (2012). Wyznaczanie wezbrań hipotetycznych metodą Politechniki Warszawskiej i metodą Politechniki Krakowskiej w zlewniach kontrolowanych. Cz. I: Opis metod. Czasop. Techn., 23, Środowisko, 2-Ś, 95–104.
- Geoportals: maps.geoportals.gov.pl.
- Gołuch, P. (2000a). Generowanie numerycznego modelu terenu dla symulacji przepływu wody w dolinie rzeki. Praca doktorska. Akademia Rolnicza we Wrocławiu.
- Gołuch, P. (2000b). Numeryczny model terenu i ortofotomapa – źródło danych do określenia cech hydraulicznych doliny rzeki. Akademia Rolnicza, Wrocław.
- Gołuch, P. (2003). Numeryczny model terenu, numeryczny model pokrycia terenu i ortofotomapa jako źródło danych dla przeprowadzenia modelowania hydrodynamicznego. Arch. Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 13B, 361–370.
- IMGW O/Kraków (2013). Metodyka opracowania planów zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszarów dorzeczy i regionów wodnych. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Opracowanie wykonane na zlecenie KZGW Warszawa.
- Khatami, S., Khazaei, B. (2014). Benefits of GIS application in hydrological modeling. J. Water Manag. Res., 70, 41–49.
- Kuczowski, W. (2000a). Między Wisłą i Odrą: dalej Notecią Bystrą. Gosp. Wodna, 4, 121–124.
- Kuczowski, W. (2000b). Między Wisłą i Odrą: wchodzimy na noteckie „schody”. Gosp. Wodna, 3, 81–84.
- Kurczyński, Z. (1998). Technologiczne uwarunkowania budowy numerycznego modelu rzeźby terenu. GUGiK, Warszawa, Biul. Inform., II/1, 10–16.
- Olejniczak, W. (2000). Operat wodnoprawny. Hydrowęzeł Romanowo – piętrzenie rzeki Noteci w km 122+600 drogi wodnej Wisła–Odra. Gospodarstwo Pomocnicze przy RZGW, Poznań.
- Ozga-Zielińska, M., Brzeziński, J. (1997). Hydrologia stosowana. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Płaczek, J. (2015). Symulacja przepływu i pracy stopni wodnych na odcinku Noteci Bystrej z wykorzystaniem narzędzi GIS. Praca magisterska. Maszynopis. KIWIS, UP w Poznaniu.
- Safaripour, M., Monavari, M., Zare, M., Abedi, Z., Gharagozlu, A. (2012). Flood Risk Assessment Using GIS (Case Study: Golestan Province, Iran). Polish J. Environm. Studies, 21(6), 1817–1824.
- Tiukało, A., Malinger, A., Orczykowski, T., Pasiok, R., Bedryj, M., Wawrzyniak, M., Dysarz, T., Grzelka, T., Krawczak, E. (2015a). Ocena ryzyka powodziowego na potrzeby planów zarządzania ryzykiem powodziowym. Gosp. Wodna, 3, 79–85.
- Tiukało, A., Malinger, A., Bedryj, M., Wawrzyniak, W., Andryk, P., Garasz, P., Jałowiecka, A., Jaworski, W., Czarnecka, J., Kostyk, A., Krawczak, E., Orczykowski, T., Dysarz, T. (2015b). Analiza obszarów narażonych na zalanie w przypadku zniszczenia lub uszkodzenia wałów przeciwpowodziowych dla scenariusza całkowitego zniszczenia wałów. Gosp. Wodna, 7, 193–202.

ANALYSIS OF SELECTED DAMS OPERATION IN THE REACH OF THE NOTEC BYSTRA DURING THE FLOOD HAZARD CONDITIONS

Abstract: The purpose of the paper is the analysis of flow conditions and dams operation for selected weirs located on the reach of the Notec Bystra river, from the Romanowo dam to the Rosko dam. The study area is chosen due to two reasons: (1) the flood hazard maps were elaborated for this reach, when the EU Flood Directive were applied in Poland in the frame of the ISOK project, (2) along the reach there is several hydro-structures enabling water retention and controlling of the flood wave. The GIS tools and mathematical modeling software is adopted for the purposes of the research. The analysis is done on the basis of flood wave simulation with maximum flows equaling 10% and 1% extreme events. Three variants of dams operation are tested. The results are presented as longitudinal profiles of water surface and inundation maps. The analysis proved that robust control of dams enables reduction of flood hazard in the investigated area.

Keywords: the Notec Bystra river, HEC-RAS, flow simulation, hydro-structure

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 1.12.2016

Do cytowań – For citation: Płaczek, J., Dysarz, T., Wicher-Dysarz, J. (2016). Analiza pracy wybranych stopni wodnych na odcinku Noteci Bystrej w warunkach zagrożenia powodziowego. Acta. Sci. Pol., *Formatio Circumiectus*, 15(4), 295–307.