

Maciej Zdrzewicz

**SYMULACJE PRZEPIYWÓW DLA GÓRNEGO BOBRU
NA PODSTAWIE WYBRANYCH SCENARIUSZY
POGODOWYCH**

***THE UPPER BOBR DISCHARGE SIMULATIONS BASED
ON SELECTED WEATHER SCENARIOS***

Streszczenie

W ramach realizacji międzynarodowego projektu Floodmed, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej we Wrocławiu uczestniczył w zadaniu poświęconym oszacowaniu adekwatności obecnych zabezpieczeń przeciwpowodziowych na wybranych zlewniach pilotowych dla różnych scenariuszy pogodowych. Niniejszy artykuł stanowi część powyższej pracy dotyczącej głównie oceny wpływu zmian warunków atmosferycznych dla różnych scenariuszy w nawiązaniu do realnej sytuacji powodziowej zanotowanej w 1997 roku. Oceny dokonano na podstawie porównań kształtów hydrogramów w Jeleniej Górze dla powodzi z lipca 1997 roku i uzyskanych z symulacji modelem Mike 11 dla analizowanych scenariuszy.

Słowa kluczowe: górny Bóbr, przepływy, modele opad – odpływ, model hydrodynamiczny, scenariusze pogodowe

Summary

During the realization of Floodmed Project, the Institute of Meteorology and Water Management Wrocław Branch has participated in the action focused on the adequacy of the existing structural and non structural flood protection works and measures. The analysis was elaborated for pilot basins and concerned various weather conditions for different scenarios compared to the real one, noticed during the flood in 1997. The evaluation was achieved on comparison between hydrographs for Jelenia Gora measure gauging station for flood 1997 and obtained as results of Mike 11 simulations for analyzed scenarios.

Key words: upper Bobr, discharges, rainfall – runoff models, HD model, weather scenarios

WSTĘP

W roku 2006 Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej we Wrocławiu podjął prace badawczo-wdrożeniowe w projekcie międzynarodowym o akronimie FLOODMED, będącym częścią programu INTERREG IIIB CADSES. Projekt dotyczył głównie monitoringu, prewencji oraz najlepszych praktyk zarządzania powodzią i ograniczania jej negatywnych skutków w regionie CADSES (Central European, Adriatic, Danubian, South – Eastern European Space). Realizowało go 13. partnerów z 9. krajów: Włoch, Grecji, Rumunii, Bułgarii, Czarnogóry, Węgier, Słowacji, Niemiec i Polski.

Wykonano 30 zadań na wybranych zlewniach pilotażowych. Objęły one między innymi bazę danych zjawisk powodziowych dla wskazanych zlewni [Report 2.2, 2006], analizę obecnych technicznych i prawno-administracyjnych narzędzi przeciwdziałaniu powodzi i ograniczaniu jej negatywnych skutków, analizę sieci pomiarowej pod kątem jej adekwatności w kontekście przestrzennym i technicznym, rozbudowę automatycznych, telemetrycznych sieci pomiarowych, opracowanie, kalibrację i eksploatację modeli hydrologicznych [Report 3b, 2007] i hydrodynamicznych z wykorzystaniem wyników prognozy meteorologicznej, jak również analizę zabezpieczeń przeciwpowodziowych na badanym obszarze [Report 4.3, 2007]. Niniejszy artykuł dotyczy ostatniego ze wskazanych zadań.

OBSZAR BADAŃ

Jako obiekt badań wybrano obszar górnego Bobru o powierzchni 1049 km² [Mapa cyfrowa... 2005], zamkniętego profilem wodowskazowym w Jeleniej Górze. Rzeka wypływa ze wschodnich stoków Grzbietu Lasockiego (Republika Czeska). Do zbiornika Bukówka o powierzchni zlewni około 58,5 km² płynie głębokim jarem [Jelonek i in. 2008]. Utrzymując ten kierunek, osiąga ona najpierw przekrój wodowskazowy w Błażkowej (powierzchnia zlewni różnicowej 45,5 km²), następnie przekrój w Kamiennej Górze (powierzchnia zlewni różnicowej 86 km²), po czym zmienia kierunek na północny i północno-zachodni. Trasa rzeki przebiega przez Wojanów (powierzchnia zlewni różnicowej 345 km²) Cieplice i Jelenią Górę. Sieć rzeczna górnego Bobru jest asymetryczna z wyraźnie rozbudowanymi lewostronnymi dopływami, głównie Łomnicą (powierzchnia zlewni około 118 km²) i Kamienną (powierzchnia zlewni około 255 km²). Spadki terenu oraz użytkowanie gruntów [Corine... 1993] na badanym obszarze są bardzo zróżnicowane. Ich znajomość i gruntowne rozpoznanie jest niezbędne dla poprawnego określenia wartości parametrów modeli.

Zlewnia Kamiennej charakteryzuje się spadkami rzędu 63%–1%. Jej dolne partie zdominowane są przez łąki, pastwiska, złożone systemy upraw i działek oraz niewielkie obszary rolnictwa z udziałem upraw naturalnych. Postępująco

w górę rzeki, pojawiają się krzewy i lasy, by w środkowej i górnej części zlewni stanowić niemal 100% użytkowania terenu. Jest to wynik lokalizacji Karkonoskiego Parku Narodowego i jego strefy buforowej. Park ten wraz ze strefą buforową rozciąga się dalej na południe, obejmując górne partie zlewni Łomnicy (spadki terenu 75%–14%) i Bobru, do wysokości Ogorzeleca i Jarkowic, gdzie spadki szacowane są w przedziale 45%–14%. Postępując w dół rzeki do Kamiennej Góry, prawa strona zlewni zdominowana jest przez uprawy rolne pozabawione nawodnień, natomiast lewa wykazuje dominację obszarów leśnych. Poniżej, przy samej rzece zlokalizowane są pomniejszych miejscowości, za nimi z kolei obszary leśne (las mieszany i liściasty). Spadki terenu wynoszą tutaj 45%–1%, przy dominacji spadków od 7% do 4%. Kierując się w stronę Jeleniej Góry wzrasta liczba łąk i u użytków rolnych (z nawodnieniami i bez nich) kosztem obszarów leśnych. Jedynie w około 10-kilometrowej południowo-zachodniej, południowej i południowo-wschodniej strefie, przy Bobrze i jego dopływach teren zdominowany jest przez obszary zurbanizowane, charakteryzujące się znacznymi odpływami podczas intensywnych opadów atmosferycznych.

METODYKA BADAŃ

Wpływ różnych scenariuszy pogodowych na formowanie się fali powodziowej na odcinku rzeki wymaga budowy grupy modeli typu opad – odpływ wraz z modelem hydrodynamicznym transformującym falę w sieci koryt rzecznych. Przygotowano sześć modeli typu opad – odpływ (RR – *rainfall – runoff*), reprezentujących kolejno zlewnie cząstkowe Kamienicy i Łomnicy oraz zlewnie różnicowe zawarte pomiędzy wodowskazami Bukówką i Błażkową, Błażkową i Kamienną Górą, Kamienną Górą i Wojanowem oraz Wojanowem i Jelenią Górą. Hydrogramy przepływów uzyskane z dwóch pierwszych modeli stanowią wejście punktowe w modelu hydrodynamicznym (HD), natomiast wyniki kolejnych czterech modeli przyjęto jako dopływy rozłożone dla odpowiadających im odcinków Bobru. Górny warunek brzegowy modelu HD stanowił zarejestrowany odpływ ze zbiornika w Bukówce, dolny zaś, właściwa krzywa natężenia przepływu. Dane wejściowe dla modeli RR stanowiły opad, ewapotranspiracja i natężenie przepływu. Opad średni z okresu od 01.07.1997 do 07.08.1997 obliczono metodą wieloboków równomiernego zadeszczenia na podstawie danych godzinowych. Ewapotranspirację dla regionu wyznaczono na podstawie danych synoptycznych ze stacji Jelenia Góra. Natężenie przepływu wyznaczono na podstawie zarejestrowanych sygnalizacyjnych i nadzwyczajnych stanów wody oraz krzywej natężenia przepływu. Do skonstruowania modeli RR posłużono się modelem NAM (Nedbør-Afstrømnings-Model), opracowanym na Politechnice Duńskiej, a następnie zmodyfikowanym przez Duński Instytut Hydrauliki (DHI – Water & Environment). Jest to model konceptualny o parametrach skupionych

[NAM User's guide 1990] i strukturze zbiornikowej, który działa na zasadzie ciągłego obliczania zawartości wilgoci w czterech różnych, wzajemnie powiązanych zbiornikach reprezentujących cztery formy retencji: śniegową, powierzchniową, gruntową i podziemną [MIKE 11 2003].

SCENARIUSZE ZDARZEŃ

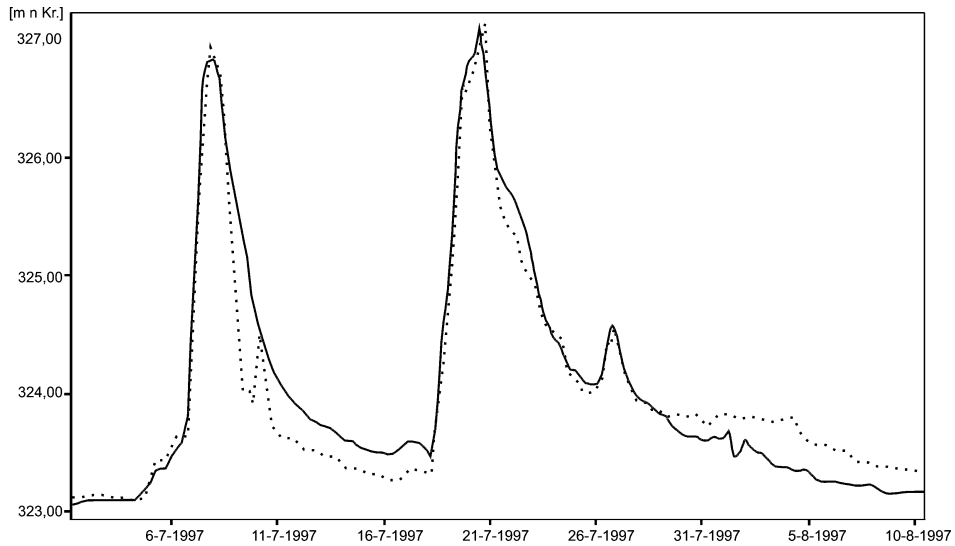
Kalibrację modelu przeprowadzono na podstawie danych zarejestrowanych podczas powodzi w 1997 roku, obejmujących opady, parowanie oraz stany wody wraz z przepływami dla okresu 01.07.1997 – 10.08.1997. Pozytywne wyniki kalibracji modeli RR przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki kalibracji modeli typu opad – odpływ
Table 1. Results of rainfall – runoff models calibration

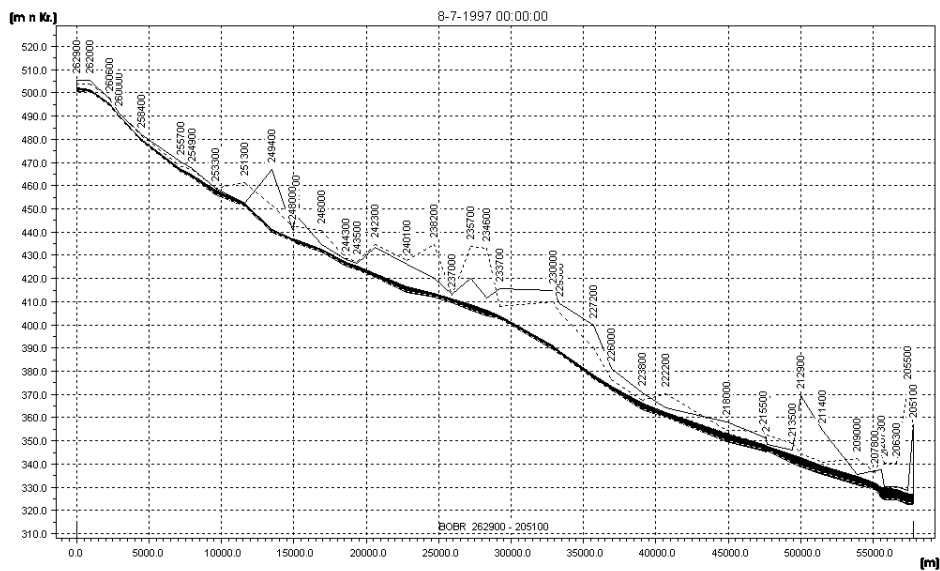
Lp. No.	Nazwa zlewni Basin	Współczynnik determinacji [-] Determination coefficient [-]	Bilans wodny [%] Water balance [%]
1.	Kamienna	0,949	0,1
2.	Łomnica	0,852	31,4
3.	Bukówka – Błazkowa	0,926	-0,1
4.	Błazkowa – Kamienna Góra	0,853	12,1
5.	Kamienna Góra – Wojanów	0,863	0,1
6.	Wojanów – Jelenia Góra	0,778	-0,5

W przypadku modelu hydrodynamicznego uzyskano współczynnik korelacji rzędu 0,97 przy wykorzystaniu hydrogramów rzeczywistych. Po zmianie danych wejściowych na wyniki uzyskane z modeli typu opad – odpływ współczynnik korelacji uległ redukcji, jednak otrzymane wyniki należy uznać za satysfakcjonujące (rys. 1).

Dla maksymalnej wartości pierwszej fali wezbraniowej niedoszacowanie wartości uzyskanej z modelu w stosunku do zaobserwowanej wynosi około 10 cm, w przypadku drugiej fali wezbraniowej różnica zmniejszyła się do około 5 cm. Największe różnice obserwuje się jednak dla pierwszej i drugiej fali w części opadającej. Wynoszą one około 20 cm. Należy jednak zaznaczyć, że w przypadku pierwszej fali mamy do czynienia z przeszacowaniem stanów przez model, a w drugim z niedoszacowaniem. Ponieważ oba przypadki obejmują ten sam przedział zmienności, nie można było przeprowadzić stosownych korekt, ponieważ poprawa przebiegu hydrogramu dla jednej fali wiązała się ze zwiększeniem błędów dla fali drugiej. Układ lustra wody dla analizowanego odcinka Bobru (Bukówka – Jelenia Góra) hydrologicznego przedstawiono na rysunku 2.

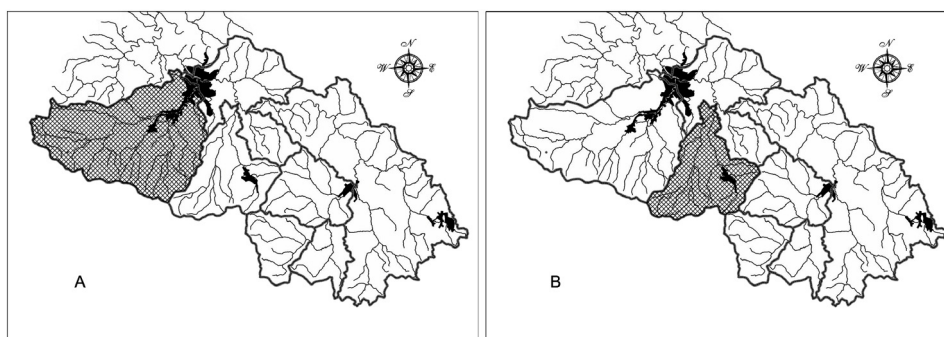


Rysunek 1. Wynik kalibracji – hydrogram z obserwacji (linia przerywana) i hydrogram z modelu (linia ciągła) dla wodowskazu Jelenia Góra
Figure 1. Calibration result – measured hydrograph (dot line) and simulated hydrograph (solid line) for Jelenia Gora gauge station



Rysunek 2. Profil podłużny górnego Bobru – model hydrodynamiczny
Figure 2. Upper Bobr longitudinal profile – hydrodynamical model

Obliczenia symulacyjne polegały na wykazaniu wpływu rozkładu opadów w poszczególnych zlewniach na hydrogram stanów wody w Jeleniej Górze. W sumie przeprowadzono 6 scenariuszy. Każdy z nich zakładał w przebiegu jednej symulacji wprowadzenie dla analizowanego okresu braku opadu („opad zerowy”) dla jednej, wybranej zlewni, podczas gdy w pozostałych zachowano oryginalne przebiegi opadów zarejestrowanych w 1997 roku (rys. 3) W kolejnym przebiegu obliczeniowym, zlewni pozbawionej uprzednio ciągu opadowego, wprowadzano pierwotny ciąg danych dokonanych dla tego okresu pomiarów, a rzeczywistego ciągu opadowego pozbawiano kolejną zlewnię. Taka procedura pozwoliła na określenie udziału poszczególnych zlewni w powodzi roku 1997.



Rysunek 3 A). Wprowadzenie do modelu „opadu zerowego” dla zlewni Kamiennej, w pozostałych zlewniach opad zarejestrowany podczas powodzi w 1997, B) Wprowadzenie do modelu „opadu zerowego” dla zlewni Łomnicy, w pozostałych zlewniach opad zarejestrowany podczas powodzi w 1997 roku

Figure 3 A). “Zero precipitation” data string for Kamienna basin inputed to the model, in the rest of basins precipitation registered during the flood 1997, B) “Zero precipitation” data string for Lomnica basin, in the rest of basins precipitation registered during flood 1997

Największy wpływ na hydrogram stanów w Jeleniej Górze na Bobrze uzyskano przy założeniu braku opadu dla zlewni Kamiennej. Odznaczył się on redukcją maksymalnej rzędnej wezbrania podczas pierwszej fali powodziowej, aż o 70 cm i 90 cm dla kolejnej fali. Natomiast najmniejszy wpływ na hydrogram stanów wody w Jeleniej Górze wywołał brak opadu w zlewni różnicowej zamkniętej wodowskazami Bukówka i Błazkowa – obniżenie poziomu fali powodziowej kolejno o 20 i 5 cm. Powodem takich rozbieżności są dwa czynniki. Pierwszy stanowi powierzchnia zlewni, drugi natomiast to natężenie opadu dla analizowanego okresu.

Kolejne 5 scenariuszy zakładały modyfikację ciągów opadowych polegającą na eliminacji okresów bezopadowych i przesunięciu ich na koniec ciągu danych, przy jednoczesnym przesunięciu okresów opadowych celem stworzenia ciągłego okresu opadowego. Celem takiego postępowania było przeprowadzenie porównania wyników dla wydarzeń z lipca roku 1997 z teoretycznie znacznie bardziej niekorzystnym scenariuszem opadowym. Uzyskano interesujące wyniki, ponieważ przy wprowadzeniu wyżej opisanych zmian dla pierwszych czterech zlewni, tj. Kamiennej, Łomnicy, zlewni różnicowych – Błażkowej i Kamiennej Góry uzyskano wartości stanów wody niższe niż dla powodzi z 1997 roku. Dopiero kolejna zmiana, a więc w zlewni różnicowej dla Wojanowa, umożliwiła przekroczenie stanów dla 1997 roku.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych prac można stwierdzić, że budowa tak kompleksowego modelu, składającego się z zespołu modeli typu opad – odpływ połączonych z modelem hydrodynamicznym, otwiera szerokie możliwości ocen realnych i hipotetycznych zagrożeń dla badanego obszaru.

Uzyskane podczas kalibracji współczynniki determinacji kształtujące się na poziomie 0,949 do 0,778 są wystarczające dla wykorzystywania modeli w trybie operacyjnym. Wątpliwości może budzić dość niska wartość tego współczynnika ($R^2 = 0,778$) dla modelu opisującego zlewnię różnicową Wojanów – Jelenia Góra oraz dość znaczna różnica w bilansie wodnym (WBL = 31,4%) dla modelu zlewni różnicowej Błażkowa – Kamienna Góra, które są wynikiem wpływu budowli hydrotechnicznych zlokalizowanych w tym rejonie. Niestety w chwili obecnej nie ma możliwości redukcji tego wpływu z poziomu modeli RR. Równie istotnym aspektem wpływającym na uzyskiwane rezultaty ma charakter modeli. Dla niniejszej analizy zastosowano modele konceptualne o parametrach skupionych. Zatem parametry modelu i ciągi danych wejściowych są uśredniane, aby zapewnić ich reprezentatywność dla opisywanego obszaru.

Analiza oddziaływania poszczególnych zlewni dla scenariusza zakładającego brak opadu podczas powodzi w 1997 roku wykazała największy wpływ zlewni Kamiennej, pomimo że nie był to obszar gdzie zanotowano największe opady. Był to rezultat uzyskany przede wszystkim dzięki wielkości powierzchni zlewni tej rzeki. Dla analizowanego okresu największe opady zanotowano dla zlewni różnicowych od Bukówki po Wojanów. Tylko sumując różnice kulminacji fal dla hydrogramów zarejestrowanych w tym okresie do uzyskanych z modeli dla zlewni różnicowych (Bukówka – Błażkowa, Błażkowa – Bukówka, Bukówka – Wojanów) uzyskanoby wyższe stany niż obliczone dla zlewni Kamiennej. Wynosiły by one odpowiednio: 130 cm dla pierwszej fali powodziowej i 125 cm dla drugiej. Kolejny pakiet scenariuszy zakładał stworzenie sytu-

acji bardziej niekorzystnej pod względem opadów od zanotowanej w lipcu 1997. W przypadku dokonanych zmian w pierwszych 4 zlewniach uzyskano dla hydrogramu w Jeleniej Górze stany wody niższe niż miało to rzeczywiście miejsce. Dopiero wprowadzenie zmodyfikowanego łańcucha opadów do ostatniego, piątego modelu RR opisującego zlewnię różnicową Kamienną Górę – Wojanów spowodowało nieznaczne przekroczenie stanów wody z lipca 1997, o 20 cm dla pierwszej fali powodziowej i 25 cm dla fali drugiej. Zatem pomijając skalę natężenia opadu, a uwzględniając jedynie jego czas wystąpienia i okres transformacji deszczu w odpływ z poszczególnych zlewni i w konsekwencji falę wezbraniową, należy stwierdzić, że wydarzenia z lipca 1997 roku były jednym z najbardziej niekorzystnych scenariuszy jakie mogły wystąpić.

BIBLIOGRAFIA

- Corine land cover. Co-ordination of information on environment, 1993.
- Jelonek L., Strońska K., Zdralewicz M. *Możliwość szacowania dopływu do zbiornika z wykorzystaniem modeli typu opad – odpływ na przykładzie zbiornika*. Szklarska Poręba, XII Międzynarodowa konferencja naukowo – techniczna „Zarządzanie zasobami wodnymi w dorzeczu Odry”, 2008.
- Mapa cyfrowa podziału hydrograficznego Polski (MPHP) wersja 3 – 2005, IMGW i Ministerstwo Środowiska.
- MIKE 11 – A modelling system for rivers and channels. User Guide, DHI Water & Environment, 2003.
- NAM User’s guide, Danish Hydraulic Institute, 1990.
- Report 2.2. *Flood events data base*. IMGW, 2006, maszynopis.
- Report 3.2b. *Comparison and evaluation of the different rainfall-runoff models (HEC-HMS, SWAT, NAM, KINEROS, MISD-IRPI, IMGW modelling platform, HBV, TRIMR3D, GAPI, HRON model, NAM, HSPF, BASINS, VIDRA) applied in gauged basins*. Exchange of partners’ experiences to assess the robustness of the models, their capabilities of integrating sub-models and sub-routines, their user friendly interface etc. IMGW 2007, maszynopis.
- Report 4.3. *Examination of the adequacy of the existing flood protection works and measures and their association with low impact development (LID)*. Identification of possible impact. IMGW, 2007, maszynopis.

Dr inż. Maciej Zdralewicz
Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
Oddział we Wrocławiu
51 – 616 Wrocław
ul. Parkowa 30
e – mail: maciej.zdralewicz@imgw.pl
tel. 071 32 00 148

Recenzent: Prof. dr hab. Włodzimierz Parzonka