

EFEKTYWNOŚĆ NIESTEROWANEJ RETENCJI ZBIORNIKOWEJ NA RZECE DŁUBNI

Leszek Lewicki, Andrzej Mączyński

Politechnika Krakowska

Streszczenie. Doświadczenie powodzi z roku 2010 wykazało, że efektywność dotychczas podejmowanych działań i środków ochrony przed powodzią w dorzeczu Dłubni nie jest wystarczająca. Dla jej poprawy wymagane są zatem dodatkowe przedsięwzięcia. Przedmiotem niniejszej pracy jest analiza możliwości i efektywności zastosowania niesterowanej zbiornikowej retencji powodziowej na rzece Dłubni powyżej zbiornika Zesławice. Analizie poddano sześć potencjalnych lokalizacji, określono charakterystyki pojemnościowe zbiorników oraz wykalibrowano parametry urządzeń przelewowo-upustowych dla maksymalnego wykorzystania pojemności przy fali $Q_{1\%}$. Przeprowadzono symulacje numeryczne na modelu komputerowym zbudowanym w oparciu o program MIKE 11 firmy DHI dla scenariusza wezbrania hipotetycznego kulminacji $Q_{1\%}$. Analizę efektywności wykonano w oparciu o porównanie wyników modeli dla wariantów z zabudową zbiornikową i bez tej zabudowy. Dokonano oceny wpływu analizowanych rozwiązań na warunki odpływu wód powodziowych pod kątem obniżenia zagrożenia powodziowego w dorzeczu rzeki Dłubni oraz warunków pracy zbiornika Zesławice.

Słowa kluczowe: zbiornik niesterowany, retencja powodziowa, ochrona przed powodzią, modelowanie 1-D

WSTĘP

Retencja rozumiana jako zdolność zlewni do gromadzenia nadmiaru wody i przetrzymywania jej przez określony czas odgrywa istotną rolę w procesie formowania się fal wezbraniowych w korytach cieków. Efektem retencji jest opóźnienie odpływu i obniżenie wielkości przepływów kulminacyjnych tj. spłaszczenie fal wezbraniowych i złagodzenie przebiegu wezbrań. Tym samym retencja stanowi istotny czynnik obniżenia zagrożenia powodziowego obszarów zagospodarowanych w zlewni. z drugiej jednak strony – przekształcenia antropogeniczne zlewni tj. wzrost zagospodarowania poprzez

Adres do korespondencji – Corresponding authors: dr inż. Leszek Lewicki, dr inż. Andrzej Mączyński, Katedra Hydrauliki i Hydrologii, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków; e-mail: leszek.lewicki@iigw.pk.edu.pl

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2017

zabudowę i zmiany użytkowania terenów powoduje uszczelnienie powierzchni oraz zredukowanie wielu naturalnych form retencji jak retencja leśna, glebowa, meandrów, starorzeczy itp. Niedobór retencji w zlewni skutkuje wzrostem objętości fal wezbraniowych oraz przyspieszeniem i wzrostem ich kulminacji, co przekłada się z kolei na wzrost zagrożenia powodziowego w zlewni. Wzrost takiego zagrożenia jest w ostatnich latach obserwowany [Raport... 2010] szczególnie w zlewniach poddanych przekształceniom antropogenicznym. Do takich zlewni należy zlewnia rzeki Dłubni obejmująca tereny w granicach miasta Krakowa oraz obszary podmiejskie. Dla zachowania odpowiedniego poziomu ochrony w tych zlewniach konieczne jest zatem podejmowanie działań i stosowanie środków ochronnych przed powodzią.

Jednym ze sposobów ochrony zaliczanych do środków ochronnych czynnej jest zwiększenie retencyjności w zlewni. Zabiegi tego typu określa się mianem retencji sztucznej i do najpowszechniej stosowanych rozwiązań takiej retencji należą zbiorniki retencyjne. Retencja zbiornikowa realizowana jest poprzez przegrodzenie doliny cieku wodnego zaporą. Zatrzymywana przez zaporę część objętości wody tworzy zbiornik retencyjny a pozostała jest odprowadzana do stanowiska dolnego za pomocą urządzeń zrzutowych. Retencje zbiornikową dzieli się w ogólności (Dziewoński, 1973) na retencję sterowaną i niesterowaną. Urządzenia zrzutowe zbiorników sterowanych są wyposażone w zamknięcia umożliwiające prowadzenie gospodarki wodnej na zbiorniku, w przypadku zaś zbiorników niesterowanych takich zamknięć nie ma, co oznacza, że odpływ odbywa się samoczynnie.

O ile zbiorniki sterowane są realizowane na ogół jako duże zbiorniki wielozadaniowe, to zbiorniki niesterowane pełnią zwykle jedną funkcję i często są realizowane jako tzw. suche zbiorniki powodziowe. z uwagi na brak zamknięć urządzenia zrzutowe zbiorników niesterowanych są stale otwarte – przepływy niskie i średnie są przeprowadzane bez zakłóceń – co pozwala na zachowanie ciągłości ekologicznej koryta rzeki. Czasza zbiornika przez większość czasu pozostaje pusta i może być wykorzystywana do celów rolniczych np. na łąki – wypełniana jest jedynie w czasie wezbrań. Brak konieczności sterowania odpływem (automatyczne działanie) oznacza niższe koszty zarówno ich budowy, jak i eksploatacji. w przypadku utrzymywania pewnego stałego napełnienia zbiorniki takie mogą być wykorzystywane do celów rekreacyjnych, a także jako rezerwuuar wody do celów przeciwpożarowych. Efektywność przeciwpowodziowa retencji zbiornikowej zależy od wielkości dostępnej pojemności, która może być wykorzystana do zgromadzenia pewnej objętości fali wezbraniowej. w przypadku obszarów zagospodarowanych dostępność lokalizacji zapewniających wymaganą wielkość pojemności jest ograniczona, jak ma to miejsce w przypadku zbiornika Zesławice na rzece Dłubni.

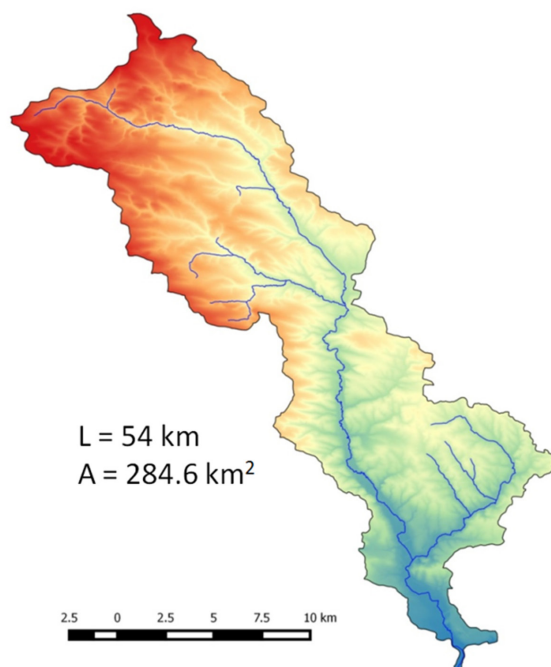
Przedmiotem niniejszej pracy jest analiza możliwości i wymaganego zakresu zwiększenia retencji w zlewni rzeki Dłubni poprzez zastosowanie niesterowanej retencji zbiornikowej na tej rzece powyżej zbiornika Zesławice oraz ocena efektywności jej działania w kontekście ochrony przed powodzią obszarów na terenie miasta Krakowa i z uwzględnieniem działania zbiornika Zesławice. Dokonano wyboru potencjalnych lokalizacji, określono charakterystyki pojemnościowe zbiorników oraz wykalibrowano parametry urządzeń przelewowo-upustowych dla maksymalnego wykorzystania pojemności przy fali $Q_{1\%}$. Symulacje numeryczne wykonano na modelu komputerowym zbudowanym w oparciu o program MIKE 11 firmy DHI. Oceny efektywności dokonano na podstawie porównania wyników modeli dla wariantów z zabudową zbiornikową i bez tej zabudowy.

OPIS ANALIZOWANEGO OBSZARU

Rzeka Dłubnia (zwana także pod nazwami: Głanówka, Gorąca) to rzeka w województwie małopolskim o długości ok. 53,2 km i powierzchni zlewni ok. 284,6 km². Dłubnia jest lewobrzeżnym dopływem Wisły i uchodzi do niej w km 89+400 (wg. IMGW) na terenie dawnej wsi Mogiła w Nowej Hucie, na obszarze miasta Krakowa, na wysokości 196,00 m n.p.m. Począwszy od wsi Jangrot na wschód od Olkusza, gdzie na wysokości 432,00 m n.p.m. znajdują się jej źródła, rzeka przepływa przez Wyżynę Olkuską, Wyżynę Miechowską, Płaskowyż Proszowicki i wpływa do Doliny Nadwiślańskiej. Średni spadek Dłubni wynosi 0,48%. Przebieg koryta Dłubni i układ topograficzny jej zlewni zobrazowano na rycinie 1.

Górna część zlewni Dłubni zajmuje wyżynny obszar nachylony łagodnie w kierunku południowo-wschodnim, obejmujący Wyżynę Krakowską i Wyżynę Miechowską. Najważniejsze miejscowości leżące nad Dłubnią powyżej zbiornika w Zesławicach to Ibramowice, Wysocice, Sieciechowice, Michałowice, Raciborowice i Batowice. Główne dopływy Dłubni to prawobrzeżna Minóżka oraz lewobrzeżne Potok Luborzycki i Baranówka.

Największą część powierzchni zlewni zajmuje roślinność uprawna: grunty orne (78,1%), użytki zielone (1,6%) i lasy (9,5%). Pozostałą część zlewni tj. 10,8% stanowią tereny zurbanizowane. Dłubnia na długości około 8,5 km przepływa przez obszar miejski Krakowa, co stanowi ok. 17% jej długości. Na końcowym odcinku o długości 2 km rzeka jest obwałowana.



Ryc. 1. Zlewnia rzeki Dłubni

Fig. 1. The Dłubnia river catchment

W latach 1964–1966 w km 8+740 rzeki w Zesławicach na granicach miasta Krakowa wybudowany został zbiornik retencyjny Zesławice i z przeznaczeniem do celów zaopatrzenia w wodę przemysłową ówczesnej Huty im. Lenina, zaopatrzenia w wodę pitną miasta Krakowa oraz ochrony przeciwpowodziowej miasta. W latach 80. ubiegłego wieku, ze względu na znaczne zamulanie czaszy [Tarnawski i Słowik-Opoka 2002] wybudowano równoległy zbiornik Zesławice II. Obecne funkcje kompleksu zbiorników to retencjonowanie wody celem wyrównania przepływu poniżej zapory i ochrona przeciwpowodziowa.

Zbiornik w Zesławicach jest zbiornikiem miejskim o sterowanym reżimie odpływu i niewielkiej pojemności, zlokalizowanym w pobliżu terenów zabudowanych. Taka lokalizacja sprawia, że z jednej strony obecność zabudowy poniżej zbiornika narzuca wysoki poziom ochrony, z drugiej zaś zabudowa powyżej ogranicza dostępną wielkość rezerwy powodziowej, a tym samym efektywność przeciwpowodziową zbiornika.

Doświadczenie powodzi z roku 2010 [Raport... 2010] kiedy miało miejsce zalanie ogródków działkowych zlokalizowanych w dolinie rzeki Dłubni poniżej zbiornika Zesławice w rejonie ulicy Zesławickiej oraz Ptaszyckiego i Wańkowicza wykazało, że efektywność przeciwpowodziowa istniejącego zbiornika retencyjnego w Zesławicach nie jest wystarczająca do ochrony obszarów położonych na obszarze miasta Krakowa [Michalec 2012]. Dodatkowym czynnikiem wzrostu zagrożenia powodziowego może być zabudowa zlewni, która poprzez uszczelnienie jej powierzchni i redukcję naturalnej retencji skutkuje wzrostem i przyspieszeniem kulminacji oraz zwiększeniem objętości fal wezbraniowych dopływających do zbiornika. Dla poprawy poziomu ochrony przeciwpowodziowej terenów Krakowa poniżej zbiornika Zesławice wymagane są zatem dodatkowe działania.

Ponieważ możliwości zwiększenia pojemności rezerwy powodziowej zbiornika Zesławice są ograniczone ze względu na uwarunkowania terenowe, w niniejszej pracy przyjęto za cel dokonanie identyfikacji możliwości wykorzystania niesterowanej zbiornikowej retencji powodziowej zlokalizowanej powyżej zbiornika Zesławice oraz przeprowadzenie analizy jej wpływu na obniżenie wielkości dopływów wezbraniowych do zbiornika Zesławice pod kątem poprawy poziomu ochrony przeciwpowodziowej obszarów położonych poniżej – na terenie miasta Krakowa.

PRZYJĘTA METODA I ZAKRES ANALIZ

Do przeprowadzenia symulacji numerycznych zastosowano model komputerowy rzeki Dłubni zbudowany w oparciu o pakiet oprogramowania MIKE 11 firmy DHI. Rozwiązanie numeryczne nieustalonego, jednowymiarowego (1-D), przepływu w korytach otwartych w MIKE 11 bazuje na, układzie równań Saint Venanta tj. równaniach: ciągłości (1) i zachowania pędu (2), w postaciach przedstawionych poniżej:

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (2)$$

gdzie:

- Q – natężenie przepływu,
- A – powierzchnia przepływu,
- q – dopływ boczny,
- h – rzędna zwierciadła wody,
- R – promień hydrauliczny,
- C – współczynnik Chezy,
- α – współczynnik Coriolisa,
- t – czas,
- g – przyspieszenie ziemskie.

Równanie ciągłości (1) w MIKE 11 jest zapisane w postaci (3) (MIKE 11, 2009):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b_s \frac{\partial h}{\partial t} = q \quad (3)$$

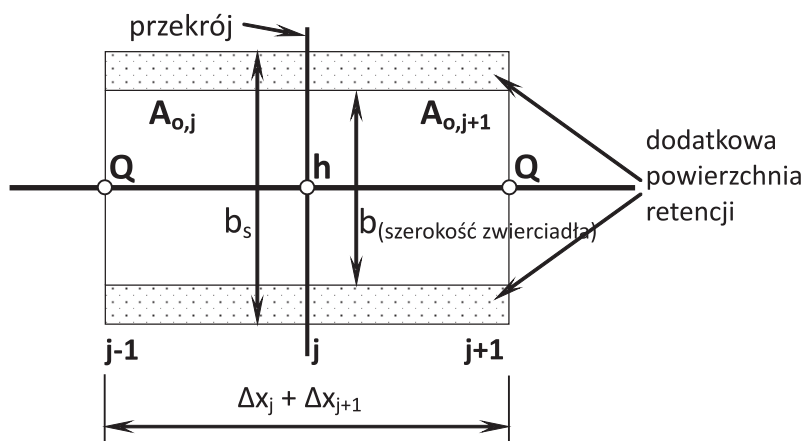
gdzie:

b_s – lokalna szerokość obszaru retencji zdefiniowana jest jako (4):

$$b_s = \frac{A_{o,j} + A_{o,j+1} + A_{dod}}{\Delta x_j + \Delta x_{j+1}} \quad (4)$$

gdzie:

- $A_{o,j}$ – powierzchnia retencji pomiędzy punktami węzłowymi $j-1$ i j ,
- $A_{o,j+1}$ – powierzchnia retencji pomiędzy punktami węzłowymi j i $j+1$,
- A_{dod} – dodatkowa powierzchnia retencji.



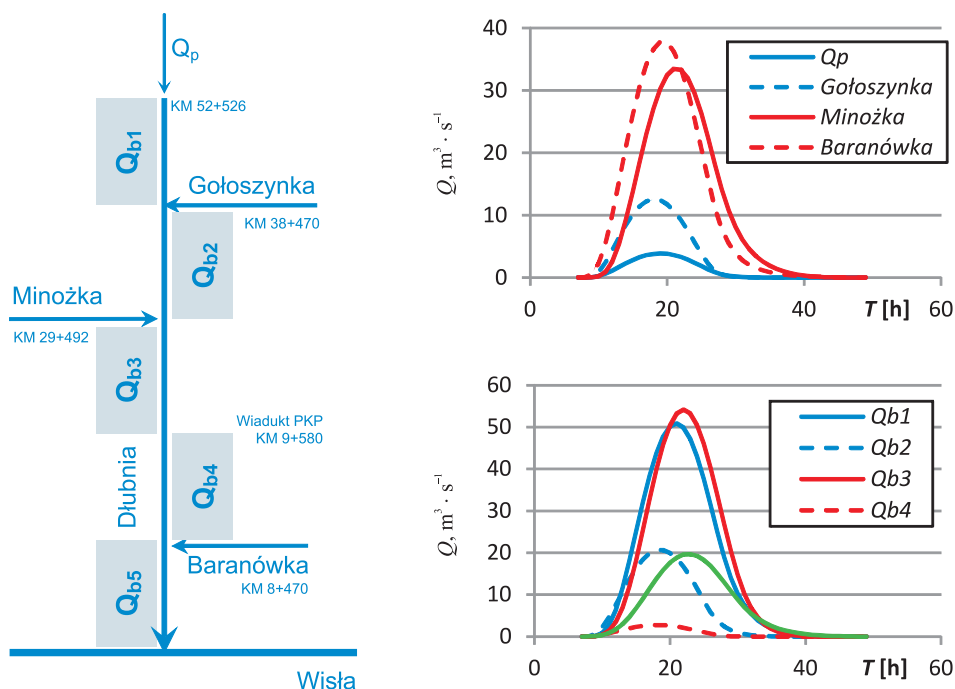
Ryc. 2. Schemat węzłów obliczeniowych

Fig. 2. Calculation node scheme

Powyższa idea, dzięki możliwości definiowania dodatkowej powierzchni retencji w równaniu ciągłości przez użytkownika, umożliwia taką modyfikację charakterystyk geometrycznych przekrojów poprzecznych, która pozwala na odwzorowanie charakterystyki pojemnościowej zbiornika retencyjnego za pomocą krzywej powierzchni zalewu. Pozwala to na definiowanie zbiorników retencyjnych jako obiektów składowych modelu 1-D rzeki i tym samym umożliwia ocenę ich oddziaływania na warunki przepływu w rzece.

W podstawowym modelu 1-D rzeki Dłubni uwzględniono obiekty zabudowy hydrotechnicznej i drogowej oraz potencjalne obszary zalewowe – w tym zbiornik retencyjny w Zesławicach wraz z regułami sterowania odpływem powodziowym. Obliczenia przeprowadzono dla scenariusza wezbrania hipotetycznego o kulminacji $Q_{1\%}$. Wykorzystano hydrogramy fal sporządzone w oparciu o model opad-odpływ w Instytucie Inżynierii i Gospodarki Wodnej Politechniki Krakowskiej. w modelowaniu przyjęto następujący schemat koryta rzeki oraz warunków zasilania (ryc. 3).

Przy wyborze potencjalnych lokalizacji zbiorników retencyjnych analizowanych w niniejszej pracy uwzględniono ukształtowanie i zagospodarowanie terenu oraz potrzeby ochrony. Dokonano identyfikacji miejsc sprzyjających lokalizacji zbiorników retencyjnych oraz obszarów zagrożonych wymagających ochrony. w tym celu przeprowadzono symulację przejścia fali $Q_{1\%}$ przez koryto Dłubni w warunkach



Ryc. 3. Schemat obliczeniowy rzeki i hydrogramy dopływu dla wezbrania $Q_{1\%}$

Fig. 3. Computational scheme and the inflow hydrographs for flood $Q_{1\%}$

istniejącego stanu zabudowy. Na podstawie otrzymanych rzędnych zwierciadła wody oraz numerycznego terenu doliny wyznaczono obszary potencjalnego zalania. Obszary potencjalnego zalania wodą dla przejścia fali $Q_{1\%}$ przedstawiono na rycinie 4a. Wytypowano lokalizacje zbiorników w miejscach niezagospodarowanych bądź słabo zagospodarowanych, posiadających naturalną tendencję do powstawania rozlewisk, które nie powodują zagrożenia powodziowego lub zagrożenie to jest niewielkie i łatwe do ograniczenia. Wzięto także pod uwagę konieczność poprawy bezpieczeństwa w obszarach zagrożonych wysokim ryzykiem powodziowym oraz opracowane wcześniej koncepcje i plany budowy zbiorników retencyjnych na rzece Dłubni.

Ostatecznie do dalszych analiz przyjęto sześć zbiorników retencyjnych (ryc. 4b). Ich zestawienie wraz z lokalizacją, rzędną maksymalnego poziomu piętrzenia i wielkością rezerwy powodziowej przedstawiono w tabeli 1 poniżej.

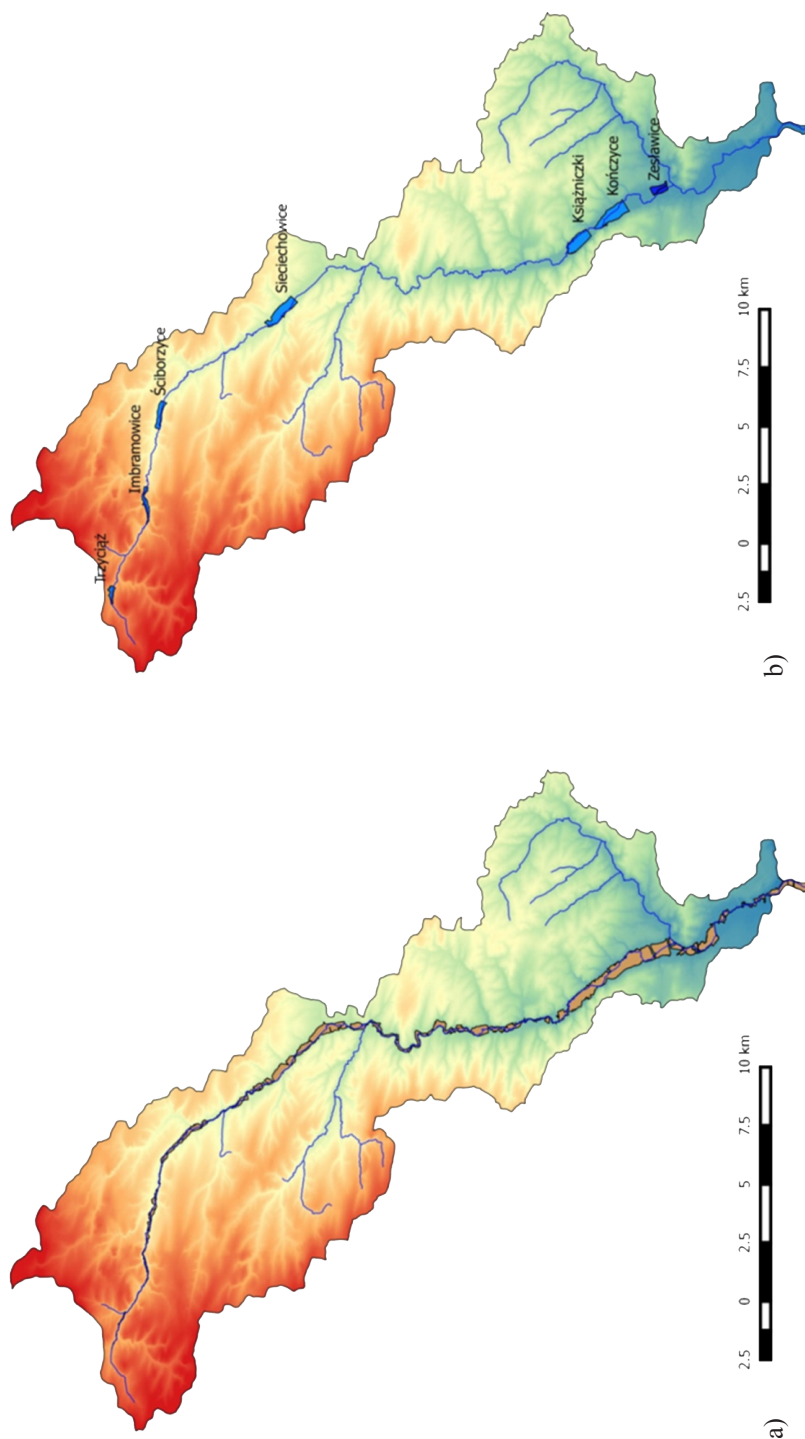
Tabela 1. Charakterystyki pojemności analizowanych zbiorników

Table 1. Volume characteristics of the analyzed reservoirs

Zbiornik Reservoir	Kilometraż Chainage	Rzędna Max PP Max elevation m n.p.m. – a.s.l.	Pojemność Volume mln m ³
Trzyciąż	52+337	390,00	0,159
Ibramowice	46+975	350,00	0,173
Ścieborzyce	42+628	316,00	0,732
Sieciechowice	33+681	285,00	1,535
Książniczki	13+877	230,00	1,035
Kończyce	11+534	226,00	2,067

Dla zdefiniowania zbiorników w hydrodynamicznym modelu 1-D Dłubni w programie MIKE 11 przeprowadzono:

- kalibrację pojemności zbiornika dla zadanych poziomów tak aby pojemność zbiornika była zgodna z objętością czaszy zbiornika wynikającą z ukształtowania terenu,
- iteracyjny dobór wymiarów spustu dennego dla fali $Q_{1\%}$ tak aby rzędna zwierciadła wody w zbiorniku osiągnęła ustaloną wartość MaxPP (dla zbiorników suchych),
- iteracyjny dobór wymiarów przelewu dla fali $Q_{1\%}$ tak aby rzędna zwierciadła wody w zbiorniku osiągnęła ustaloną wartość MaxPP (dla zbiorników częściowo wypełnionych).



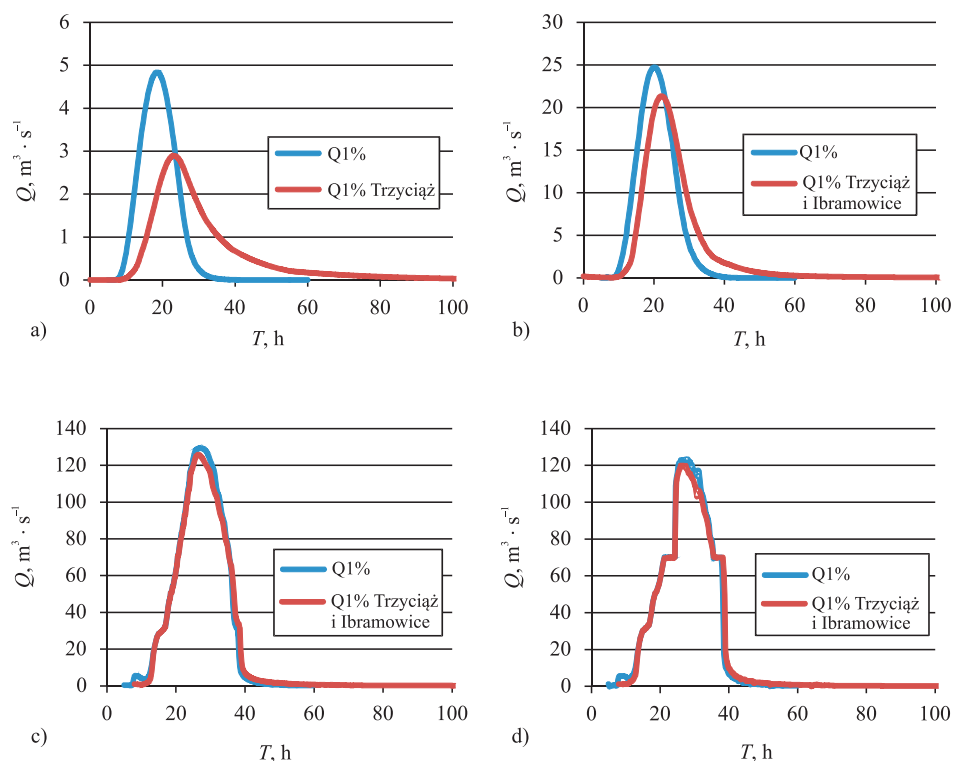
Ryc. 4. Zasięg zalewu dla fali $Q_{1\%}$ (a) i wybrane lokalizacje zbiorników (b)

Fig. 4. Flood coverage for wave $Q_{1\%}$ (a) and selected locations of reservoirs (b)

WYNIKI OBLICZEŃ MODELOWYCH

W pierwszej kolejności przeprowadzono symulację działania zbiorników Trzyciąż i Ibramowice. Są to zbiorniki o częściowo wypełnionej czaszy, położone w górnej części zlewni o stosunkowo niewielkich pojemnościach rezerwy powodziowej – odpowiednio 0,159 mln m³ i 0,173 mln m³.

Jak widać na rycinie 5a zbiornik Trzyciąż redukuje falę $Q_{1\%}$ o 40% co w wartościach bezwzględnych stanowi jedynie około 2 m³ · s⁻¹. Poniżej zbiornika Ibramowice fala redukowana jest o około 3,5 m³ · s⁻¹, tj. o 12% (ryc. 5b). Są to wielkości niewielkie i ze względu na położenie zbiorników w górnej części zlewni i znaczny przyrost zlewni różnicowej tracą znaczenie dla redukcji fali docierającej do zbiornika Zesławice, a przez to w minimalnym stopniu zmieniają warunki jego pracy (ryc. 5c i d). Uzyskany wynik wskazuje zatem na niewielką przydatność tych dwóch zbiorników w systemie ochrony przeciwpowodziowej Krakowa.



Ryc. 5. Wynikowe hydrogramy obliczeń dla zbiorników Trzyciąż i Ibramowice: a) poniżej zbiornika Trzyciąż, b) poniżej zbiornika Ibramowice, c) powyżej zbiornika Zesławice, d) poniżej zbiornika Zesławice

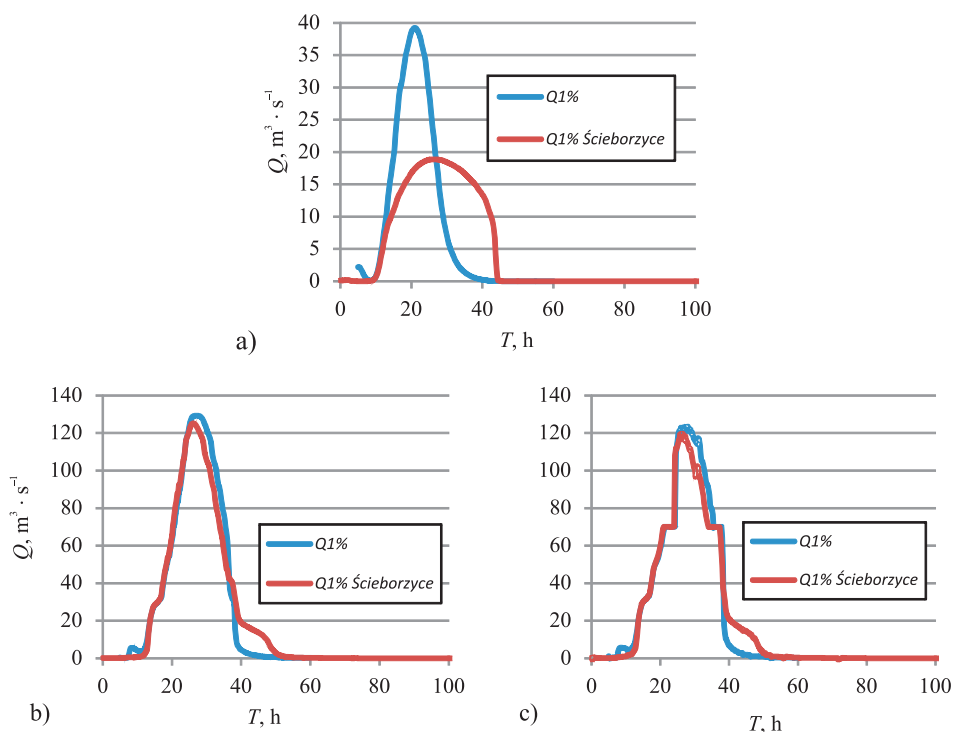
Fig. 5. Result hydrographs for the Trzyciaz and Ibramowice reservoirs: a) downstream the Trzyciaz reservoir, b) downstream the Ibramowice reservoir, c) upstream the Zeslawice reservoir, d) downstream the Zeslawice reservoir

W dalszych analizach wzięto pod uwagę pozostałe zbiorniki, tj.: Ścieborzyce, Sieciechowice, Książniczki i Kończyce bez uwzględniania działania zbiorników Trzyciąż i Ibramowice. Obliczenia prowadzono według zasady, że w pierwszej symulacji uwzględniono w modelu zbiornik położony najwyżej tj. Ścieborzyce, zaś w następnych symulacjach kolejno dołączano do modelu zbiorniki położone poniżej według schematu:

- Symulacja 1 – zbiornik Ścieborzyce,
- Symulacja 2 – zbiorniki Ścieborzyce i Sieciechowice,
- Symulacja 3 – zbiorniki Ścieborzyce, Sieciechowice i Książniczki,
- Symulacja 4 – zbiorniki Ścieborzyce, Sieciechowice, Książniczki i Kończyce.

W ten sposób uzyskano rosnącą objętość wykorzystanej retencji w każdej kolejnej symulacji, co pozwoliło, w dalszej kolejności, na określenie objętości retencji, która zapewniłaby takie obniżenie fali $Q_{1\%}$ dopływającej do zbiornika Zesławice aby mogła być ona efektywnie przez ten zbiornik redukowana do poziomu odpływu dozwolonego ($70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Wyniki symulacji 1 tj. efekt redukcji fali $Q_{1\%}$ przez zbiornik Ścieborzyce przedstawiono na ryc. 6. i tutaj, podobnie jak w przypadku zbiornika Trzyciąż, odnotowano

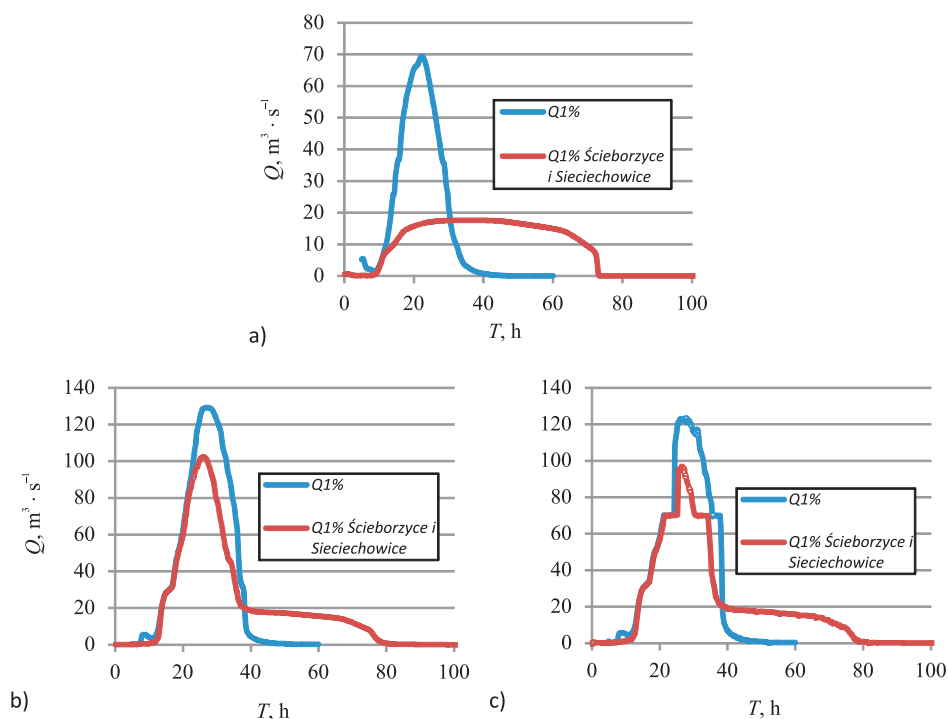


Ryc. 6. Wynikowe hydrogramy obliczeń dla zbiornika Ścieborzyce: a) poniżej zbiornika Ścieborzyce, b) powyżej zbiornika Zesławice, c) poniżej zbiornika Zesławice

Fig. 6. Result hydrographs for the Ścieborzyce reservoir: a) downstream the Ścieborzyce reservoir, b) upstream the Zesławice reservoir, c) downstream the Zesławice reservoir

prawie 50% redukcję fali, co oznacza obniżenie kulminacji o około $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ryc. 6a). Jednak w przekroju powyżej zbiornika Zesławice (ryc. 6b) efekt ten jest niwelowany do około $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, co okazuje się niewystarczające dla poprawy działania zbiornika Zesławice (ryc. 6c).

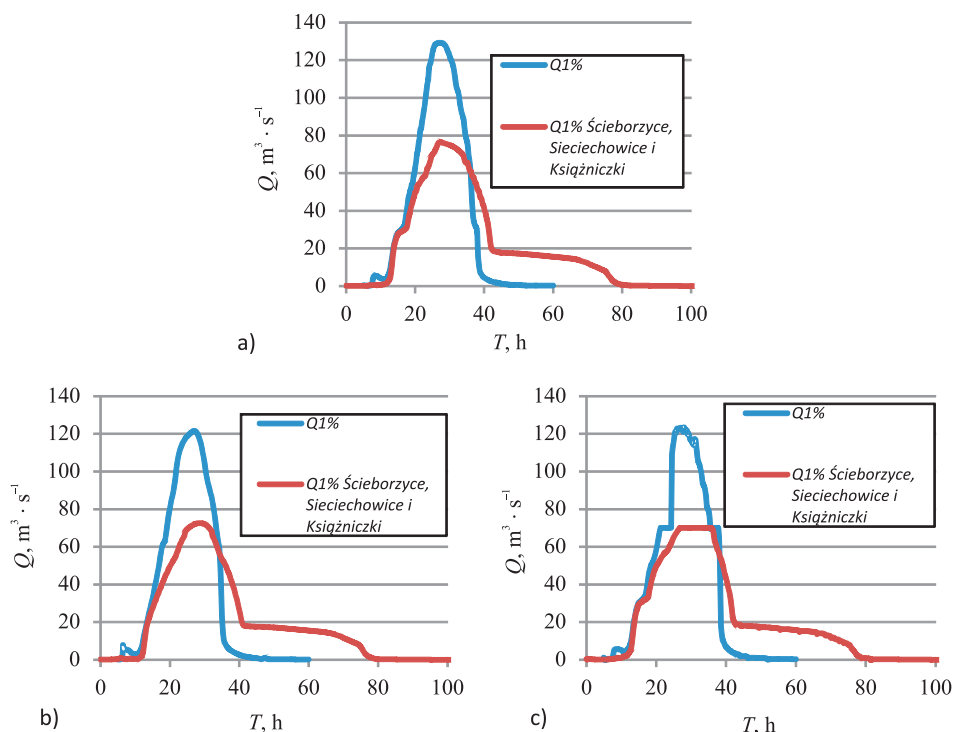
Na ryc. 7 przedstawiono efekt działania zbiornika Sieciechowice z uwzględnieniem pracy zbiornika Ścieborzyce. w przekroju poniżej zbiornika Sieciechowice (ryc. 7a) fala $Q_{1\%}$ redukowana jest o około $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ co stanowi ponad 70% redukcji fali. Redukcja fali dopływającej do zbiornika Zesławice jest już znacząca i wynosi ok. $27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tj. do około $102 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ryc. 7b), co jednak wciąż jest wielkością zbyt dużą do zredukowania jej do poziomu przepływu dozwolonego $Q_{\text{doz}} = 70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ryc. 7c). Przyjęta w tej symulacji retencja powodziowa jest zatem nadal niewystarczająca.



Ryc. 7. Wynikowe hydrogramy obliczeń dla zbiornika Sieciechowice, a) poniżej zbiornika Sieciechowice, b) powyżej zbiornika Zesławice, c) poniżej zbiornika Zesławice.

Fig. 7. Result hydrographs for the Sieciechowice reservoir, a) downstream the Sieciechowice reservoir, b) upstream the Zesławice reservoir, c) downstream the Zesławice reservoir.

Efekty pracy zbiornika Książniczki działającego w systemie wraz ze zbiornikami Ścieborzyce i Sieciechowice przedstawiono na rycinie 9. Jak widać, uzyskana blisko 42% redukcja fali $Q_{1\%}$, tj. o $54 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w przekroju poniżej zbiornika Książniczki (ryc. 8a) wydaje się być wystarczającą do uzyskania oczekiwanych efektów pracy zbiornika Zesławice i utrzymania przez niego bezpiecznego dla miasta Krakowa zrzuć nieprzekraczającego $70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ryc. 8b i 8c).

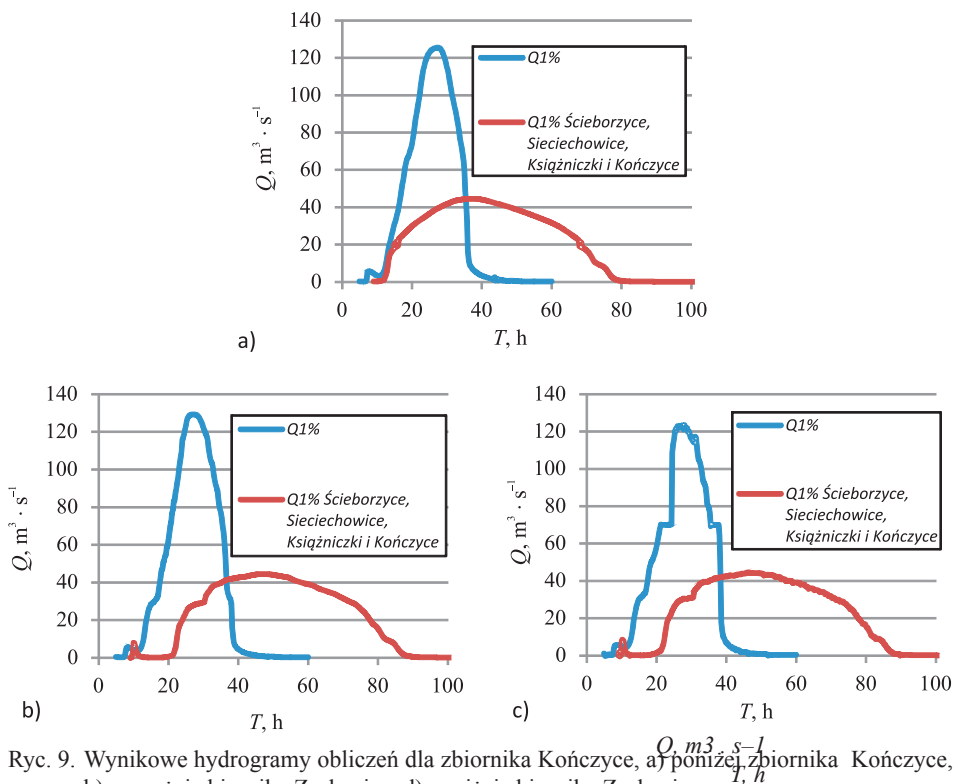


Ryc. 8. Wynikowe hydrogramy obliczeń dla zbiornika Książniczki, a) poniżej zbiornika Książniczki, b) powyżej zbiornika Zesławice, c) poniżej zbiornika Zesławice.

Fig. 8. Result hydrographs for the Książniczki reservoir, a) downstream the Książniczki reservoir, b) upstream the Zesławice reservoir, c) downstream the Zesławice reservoir.

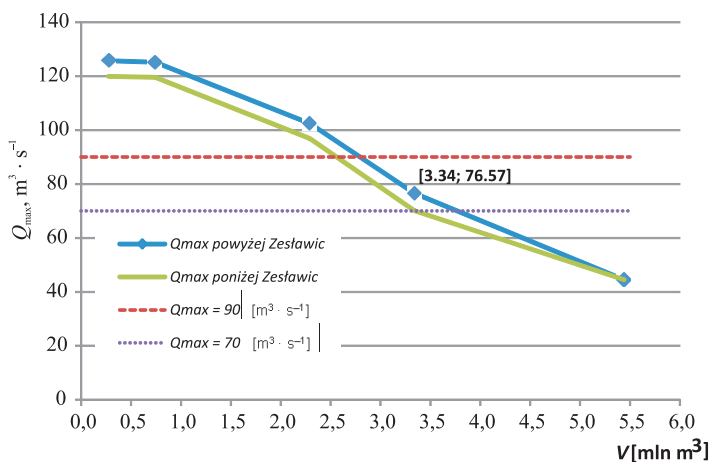
Na rycinie 9 pokazano wyniki symulacji 4. Poniżej zbiornika Książniczki fala $Q_{1\%}$ jest redukowana o $80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ tj. około 64% (ryc. 9a). Jak należało przypuszczać, efekt działania wszystkich czterech zbiorników w systemie tzn. Ścieborzyce, Sieciechowie, Książniczki oraz Kończycze pozwala na nadmiarową redukcję fali $Q_{1\%}$ tj. do poniżej $45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ tuż powyżej zbiornika Zesławice (ryc. 9b) i nie powoduje wdrożenia postępowania powodziowego na zbiorniku (ryc. 9b), a przez to tworzy dodatkowy bufor bezpieczeństwa dla miasta Krakowa.

Na rycinie 10 przedstawiono zależność uzyskanej w modelowaniu zredukowanej kulminacji fali $Q_{1\%}$ powyżej i poniżej zbiornika Zesławice od przyjętej i wykorzystanej objętości retencji zbiornikowej w dolinie Dłubni. Wynika z niej, że aby fala $Q_{1\%}$ dopływająca do zbiornika Zesławice mogła zostać efektywnie zredukowana, tj. do poziomu $Q_{\text{doz}} = 70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, jej przepływ kulminacyjny Q_{max} nie powinien przekraczać $77 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ponadto, można stwierdzić, że dla zapewnienia takiej redukcji fali dopływającej do zbiornika Zesławice wymagane jest wykorzystanie pojemności powodziowej retencji zbiornikowej w dolinie Dłubni wynoszącej $3,34 \text{ mln m}^3$.



Ryc. 9. Wynikowe hydrogramy obliczeń dla zbiornika Kończyce, a) poniżej zbiornika Kończyce, b) powyżej zbiornika Zesławice, c) poniżej zbiornika Zesławice.

Fig. 9. Result hydrographs for the Kończyce reservoir, a) downstream the Kończyce reservoir, b) upstream the Zesławice reservoir, c) downstream the Zesławice reservoir.



Ryc. 10. Zależność zredukowanych przepływów kulminacyjnych fali $Q_{1\%}$ od wykorzystanej pojemności retencji zbiornikowej

Fig. 10. Reduced peak flow discharges of the $Q_{1\%}$ flood wave versus the used reservoirs retention capacity

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W artykule dokonano analizy możliwości zastosowania niesterowanej retencji zbiornikowej w dolinie rzeki Dłubni oraz oceny efektywności jej działania w kontekście ochrony przed powodzią obszarów na terenie miasta Krakowa i z uwzględnieniem działania zbiornika Zesławice. w ramach przeprowadzonych prac dokonano:

- identyfikacji i wyboru potencjalnych lokalizacji dla zastosowania niesterowanej retencji zbiornikowej w dolinie rzeki Dłubni na bazie istniejącej dokumentacji i planów oraz analizy wielkości zasięgu zalewu wodą 1%;
- oceny możliwości zastosowania niesterowanej retencji zbiornikowej w zlewni rzeki Dłubni powyżej Zesławic i określenia jej efektywności, gdy chodzi o obniżenie zagrożenia powodziowego miasta Krakowa;
- określenia wymaganego poziomu redukcji dopływu do zbiornika Zesławice dla zapewnienia efektywnej redukcji wezbrania $Q_{1\%}$ przez zbiornik;
- oszacowania objętości retencji niesterowanej w zlewni potrzebnej do osiągnięcia założonego poziomu redukcji dopływu $Q_{1\%}$ do zbiornika Zesławice.

Symulacje numeryczne przeprowadzono na modelu komputerowym jednowymiarowego (1-D) przepływu nieustalonego rzeki Dłubni. Przeprowadzona analiza wyników symulacji pozwala stwierdzić, że:

- Dostępna w zlewni rzeki Dłubni wielkość niesterowanej retencji zbiornikowej pozwala na efektywne obniżenie zagrożenia powodziowego miasta Krakowa dla scenariusza wezbrania $Q_{1\%}$ poprzez taką redukcję fali dopływającej do zbiornika Zesławice, aby odpływ kulminacyjny poniżej zbiornika nie przekraczał wielkości dozwolonej $70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
- Dla zapewnienia efektywnej redukcji wezbrania $Q_{1\%}$ przez zbiornik Zesławice dopływ do zbiornika powinien zostać zredukowany do poziomu około $77 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
- Objętość całkowitej retencji zbiornikowej na rzece Dłubni wymaganej do osiągnięcia założonego poziomu redukcji oszacowano na 3,34 mln m^3 .

PIŚMIENNICTWO

- Dziewoński, Z. (1973). Rolnicze zbiorniki retencyjne. PWN, Warszawa.
- Lewicki, L. (2004). Modelowanie sterowanej retencji zbiornikowej w narzędziu komputerowym MIKE 11. *Czas. Techn.*, 1-Ś, 107–125.
- Lewicki, L., Pyrczak, G. (2016). Ocena efektywności przeciwpowodziowej kompleksu zbiorników wodnych w Zesławicach na rzece Dłubni. XXXV Ogólnopolska Szkoła Hydrauliki, Krasiczyn 9–12 maja 2016.
- Michalec, B. (2012). Wpływ zbiorników wodnych w Zesławicach na rzece Dłubni na redukcję fali wezbraniowej w lipcu 2010 roku. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumietus*, 11(3), 29–36.
- MIKE 11 (2009). a Modelling System for Rivers and Channels, DHI Denmark.
- Pociask-Karteczka, J. (1994). Przemiany stosunków wodnych na obszarze Krakowa. *Zesz. Nauk. UJ, MCXLIV, Prace Geograficzne*, 96.
- Raport po powodzi z maja i czerwca 2010. Urząd Miasta Krakowa, Kraków.
- Tarnawski, M., Słowik-Opoka, E. (2002). Rozkład materiału dennego w zbiorniku w Zesławicach. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, 393, *Inżynieria Środowiska*, 23, 259–266.

EFFICIENCY OF UNCONTROLLED STORAGE RESERVOIRS ON THE DŁUBNIA RIVER

Abstract. Experience of the flood in 2010 showed that the effectiveness of flood protection means and activities undertaken so far in the Dłubnia river basin is not sufficient. Therefore, there some additional measures are required for its improvement. The subject of this study is to analyze the possibility and effectiveness of application of uncontrolled flood storage reservoirs on the Dłubnia river located upstream the Zesławice reservoir. Six possible locations of reservoirs were analyzed. For each of them the capacity curve was defined and the parameters of the outlet structures were calibrated so as to obtain maximum reduction of flood wave culmination of $Q_{1\%}$. The numerical simulations were conducted on a computer model built on the basis of the MIKE 11 by DHI program for hypothetical flood scenarios: $Q_{50\%}$, $Q_{10\%}$, $Q_{1\%}$ and $Q_{0.2\%}$. The analysis of effectiveness was performed basing on a comparison of results of the Dłubnia river models with the reservoirs included and without them. The influence of the analyzed solutions to the flood wave outflow conditions was performed in terms of flood risks reduction in the river Dłubnia catchment and conditions of the Zesławice reservoir functioning.

Key words: uncontrolled reservoir, flood retention, flood protection, 1-D modeling

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 1.09.2017

Do cytowań – For citation: Lewicki, L., Mączyński, A. (2017). Efektywność niesterowanej retencji zbiornikowej na rzece Dłubni. Acta. Sci. Pol., Formatio Circumiectus, 16(3), 201–215.