

REDUKCJA FALI WEZBRANIOWEJ NA RZECE KACZAWA ZA POMOCĄ SUCHEGO ZBIORNIKA „RZYMÓWKA”

Paweł Bobrowski¹, Piotr Trybuś¹, Robert Kasperek²

¹ Water Service Sp. z o.o. Wrocław

² Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie: Celem pracy jest określenie stopnia redukcji fali powodziowej przepływającej przez projektowany suchy zbiornik „Rzymówka” na rzece Kaczawie. Założono, że gospodarka wodna na tym zbiorniku będzie „automatyczna”, a podczas przejścia fali miarodajnej, będzie pracował upust denny. Dla tych warunków oszacowano parametry otwarcia spustów dennych. Obliczenia transformacji hipotetycznej fali miarodajnej Q_m , kontrolnej Q_k i $Q_{1\%}$ przeprowadzono za pomocą metody Pulsa. Z obliczeń wynika, że redukcja w/w fal jest odpowiednio na poziomie 53%, 22% i 41%.

Słowa kluczowe: suchy zbiornik, redukcja wezbrania, ochrona od powodzi

ROLA SUCHYCH ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH

Suche zbiorniki retencyjne mają chronić tereny przed powodzią, tzn. redukować fale wezbraniowe oraz spowalniać ich odpływ [Lambor 1962; Mosiej, Ciepeliowski 1992]. Rodzaje urządzeń zrzutowych oraz ich przepustowość dobiera się ze względu na pojemność zbiornika, objętość fali oraz maksymalny zrzut (przepływ dozwolony). Urządzenia zrzutowe składają się z przelewu awaryjnego oraz upustu dennego. Dodatkowo, ze względu na poprawę skuteczności redukcji fal powodziowych, projektuje się również upusty pośrednie. W ciągu całego okresu eksploatacji obiektu upust denny jest otwarty. Umożliwia to swobodne przepuszczanie rumowiska oraz przepływ wód o natężeniu niższym od przepływu bezpiecznego. W czasie wzrostu przepływów powyżej bezpiecznego, przepustowość upustu jest mniejsza niż wielkość dopływu, co powoduje wzrost poziomu wody w zbiorniku. Wraz z jej wzrostem, zwiększają się wydatki upustów dennych. W momencie osiągnięcia w zasobniku poziomu wody odpowiadającej rzędnej krawędzi przelewu bocznego (awaryjnego), wydatek upustów dennych jest maksymalny i najczęściej równy przepływowi dozwolonemu Q_{doz} . Jeśli poziom wody w zbiorniku będzie

Adres do korespondencji – Corresponding author: Robert Kasperek, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: robert.kasperek@up.wroc.pl

nadal rósł to nastąpi, tzw. zgórowanie przelewu i na wielkość zrzutu decydujący wpływ będzie miała praca przelewu. Wraz ze spadkiem poziomu wody w zasobniku, zmniejszą się równocześnie wydatki upustu dennego, aż do całkowitego opróżnienia zbiornika [Lambor 1962]. Generalnie, gospodarka wodna prowadzona na suchym zbiorniku przeciwpowodziowym jest automatyczna, a transformacja fali powodziowej odbywa się bez udziału człowieka (zbiornik jest niesterowany). Decydujący wpływ na skuteczność redukcji fal powodziowych przez suchy zasobnik ma stosunek objętości fali hipotetycznej, miarodajnej lub kontrolnej do jego objętości. W przedmiotowej literaturze można spotkać wytyczne dotyczące relacji zachodzących między objętością fali hipotetycznej a pojemnością zbiornika. Fala powodziowa o prawdopodobieństwie przewyższenia raz na 30 lat powinna być całkowicie przechwycona przez zasobnik. Natomiast fala o prawdopodobieństwie przewyższenia raz na 100 lat powinna mieścić się w zbiorniku przynajmniej w 70% swojej objętości [Lambor 1962].

Pietrak i Banasik [2009] przeprowadzili analizę przejścia fali wezbraniowej na Potoku Służewieckim w obrębie terenów zurbanizowanych. Redukcja fali odbywa się za pomocą 3 zasobników, również tak, jak autorzy niniejszej pracy, w oparciu o metodę Pulsa. Względna redukcja fali o prawdopodobieństwie $p=10\%$ została określona na poziomie tylko 0,9% dla zbiornika Wyścigowego, 2,6% dla zbiornika Służewieckiego i 22% dla zbiornika Berensewicza. Pierwsze w/w dwa zasobniki spłaszczają bardzo nieznacznie falę, co oznacza, że są zbyt małe aby magazynować wodę przy średnim wezbraniu.

Dodatkową zaletą suchych zbiorników retencyjnych jest ich niska szkodliwość dla środowiska. Dzięki stale otwartym spustom zapewniona jest ciągłość migracji ichtiofauny w górę i w dół zasobnika.

Prognozowanie przejścia fali powodziowej oraz analiza i wyniki jej redukcji przez suche zbiorniki przeciwpowodziowe stanowią bardzo ważny element podczas oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim [Dyrektywa 2007/60/WE]. Dotyczy to zarówno map zagrożenia powodziowego, map ryzyka powodziowego (grudzień 2013 r.), jak i planów zarządzania ryzykiem powodziowym (grudzień 2015 r.).

Istotnym elementem przy projektowaniu zbiorników wodnych i analizie przejścia fali wezbraniowej jest ocena transportu rumowiska rzeczno i zamulania czaszy zasobnika. Zarówno rumowisko unoszone, jak i wleczone w zależności od charakteru cieku, reżimu hydrologicznego oraz budowy podłoża wpływa na eksploatację i gospodarkę wodną zbiornika. Tematyką tą zajmowali się m.in. Głowski, Kasperek, Mokwa, Parzonka i Wiatkowski, którzy przeanalizowali warunki transportu rumowiska unoszonego i wleczonego, początek ruchu i transport masowy na rzece Odrze, Troi i Widawie [Głowski, Kasperek, Parzonka 2010; Kasperek, Wiatkowski 2008; Kasperek, Mokwa, Wiatkowski 2013]. Kasperek i Wiatkowski [2008] wykonali symulacje przejścia fali miarodajnej Q_m i kontrolnej Q_k przez zbiornik Włodzienin na rzece Troja. Redukcja maksymalnego dopływu wynosiła 16–23% dla Q_m i 22–25% dla Q_k .

Ocenę wpływu gospodarki wodnej na zagrożenia powodziowe na przykładzie zbiornika Włocławek na Wiśle przeprowadził Kosiński [2013]. W celu obiektywnej oceny obliczył on współczynnik redukcji zagrożenia „r” dwiema metodami: pierwsza oparta na średnich przepływach i zrzutach dla określonej fali, druga uwzględniająca rzeczywiste przepływy średnie dobowe. Z analizy wszystkich fal w badanym okresie 41 lat przez

Kosińskiego wynika, że średni współczynnik „r” liczony pierwszą metodą jest na poziomie 62%, a drugą metodą 69%. Wykorzystując pojemność 137 mln m³ zbiornika Włocławek, można było całkowicie wyeliminować przynajmniej 20 powodzi (40% przypadków), a pozostałe w większym lub mniejszym stopniu ograniczyć.

W redukcji przepływów powodziowych decyduje również, (oprócz odpowiedniej pojemności powodziowej zbiornika) sterowanie urządzeniami przelewowo-spustowymi. Madzia [2015] przeprowadził analizę pracy zbiornika retencyjnego Wisła–Czarne w zlewni potoków Biała i Czarna Wisłka. Oparto ją na hydrogramie dopływu do zbiornika, którego przepływ kulminacyjny jest równy przepływowi maksymalnemu rocznemu o prawdopodobieństwie przewyższenia $p=1\%$. W celu wyznaczenia hydrogramu dopływu do zbiornika zastosowano model Snydera oraz model SCS (*Soil Conservation Service*). W analizie przeprowadzono szereg symulacji pracy zasobnika w zależności od stanu początkowego napełnienia zbiornika oraz pracy poszczególnych urządzeń przelewowo-spustowych, np. otwarte dwa spusty lub jeden, zamknięte oba na wypadek awarii, i różne początkowe napełnienia zasobnika. Z badań Madzi wynika, że objętość fali powodziowej wywołanej opadem o $p=1\%$ jest praktycznie równa pojemności użytkowej i powodziowej zbiornika. Redukcja przepływu kulminacyjnego w zależności od otwarcia spustów dennych wyniesie od 37,2% do 48,9%. Natomiast przepływ nieszkodliwy rzędu 20 m³/s zostanie przekroczony przy otwartych spustach dennych ponad 2 razy.

Ilość zanieczyszczeń pochodzących ze zlewni oraz czas przetrzymania wody w zbiornikach odgrywają również ważną rolę w kształtowaniu ilości i jakości tych wód, zarówno w samym zbiorniku, jak i na odpływie. Tematyka ta została szczegółowo omówiona w pracach Wiatkowskiego [2011], Wiatkowskiego, Rosik-Dulewskiej, Kuczewskiego i Kasperka [2013] oraz Wiatkowskiego, Rosik-Dulewskiej i Kasperka [2015].

PODSTAWOWE INFORMACJE O PROJEKTOWANYM ZBIORNIKU RZYMÓWKA

Projektowany suchy zbiornik przeciwpowodziowy położony jest w gminie Złotoryja, na terenie pogórza Kaczawskiego, w dolinie rzeki Kaczawy. Zapora czołowa usytuowana jest bezpośrednio powyżej miejscowości Rzymówka. Zamyka ona płaskodenną dolinę Kaczawy stanowiącą czaszę zbiornika w zakresie rzędnych 156,00 ÷ 167,00 m n.p.m (rys. 1).

Zbiornik „Rzymówka” jest obiektem I klasy [Trybuś i in. 2014] i będzie, obok zasobnika Słup na rzece Nysa Szalona, jednym z podstawowych elementów biernej ochrony przeciwpowodziowej miasta Legnica [Wujek i in.2007].

Korpus zapory zbiornika zlokalizowano w km 42,394 rzeki Kaczawy. Koronę zapory projektuje się na rzędnej 167,40 m n.p.m. Szerokość korony przyjęto równą 6,0 m. Zapora będzie miała jednakowe nachylenie skarpy odwodnej i odpowietrznej 1:3. Długość zapory w osi korony wynosi 843 m.

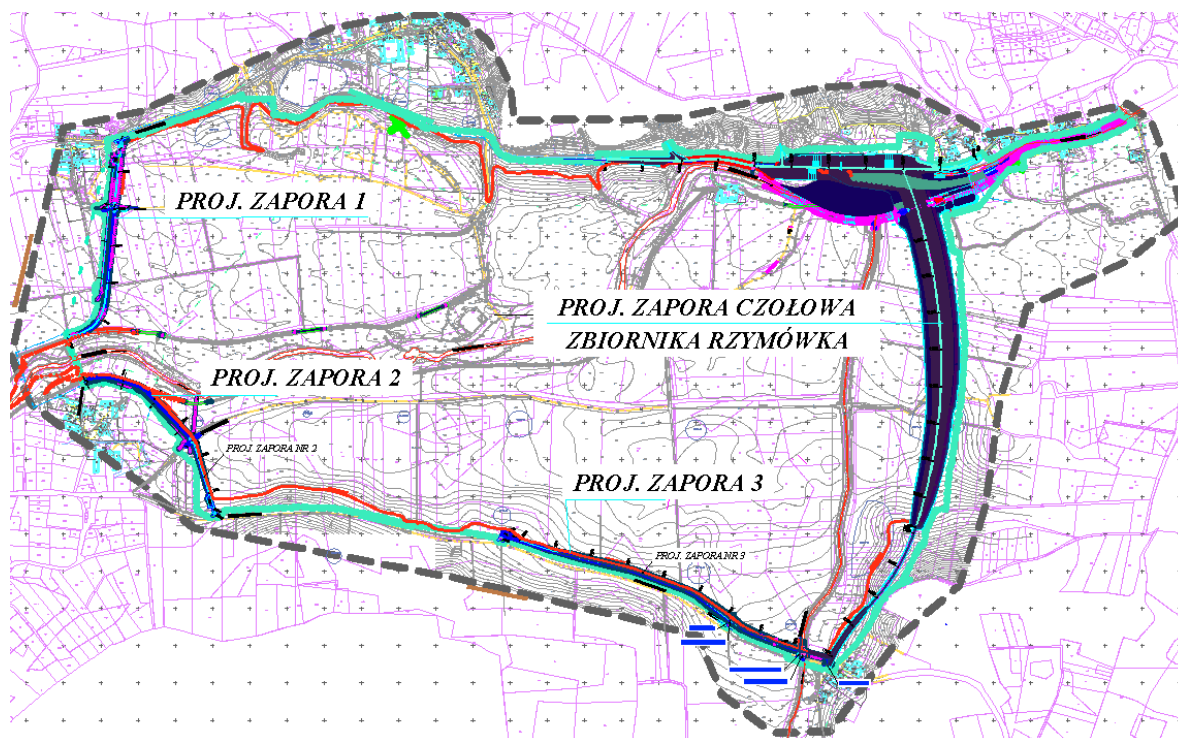
Tabela 1. Parametry zbiornika „Rzymówka” [Trybuś i in. 2014]

Table 1. Parameters of „Rzymówka” reservoir [Trybuś et al. 2014]

Parametr/Parameter	Wartość/Value
Maksymalny poziom piętrzenia MaxPP. (m n.p.m.) Maximum water level	166,33
Objętość całkowita V (mln m ³) Total capacity V	12,50
Maksymalna powierzchnia zalewu F (ha) Maximum flood surface	–
Średnia głębokość zbiornika V max/ F max (m) Mean depth of reservoir	5,0
Długość zapory L (m) Length of dam	843
Wysokość zapory H (m) Height of dam	11,25
Nachylenie skarpy odwodnej i odpowietrznej Slope of dam scarps	1:3

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study



Rys. 1. Lokalizacja suchego zbiornika „Rzymówka” na rzece Kaczawie

Fig. 1. Locality of the dry reservoir „Rzymówka” on the Kaczawa River

Źródło: Opracowanie własne [Trybuś i in. 2014]

Source: Own study [Trybuś et al. 2014]

Przepływ miarodajny i kontrolny

Na podstawie obliczeń hydrologicznych [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2007, IMGW Wrocław 2014] ustalono, że dla zbiornika „Rzymówka” będącego budowlą hydrotechniczną I klasy, przepływ miarodajny Q_m i kontrolny Q_k mają prawdopodobieństwo odpowiednio 0,1% i 0,02%. Ich wartości wynoszą $Q_m = 247 \text{ m}^3/\text{s}$ i $Q_k = 349 \text{ m}^3/\text{s}$.

Całkowita pojemność fali hipotetycznej miarodajnej i kontrolnej wynosi odpowiednio 31,6 mln m^3 i 58,9 mln m^3 .



Rys. 2. Koryto rzeki Kaczawy, lokalizacja zapory „Rzymówka”

Fig. 2. Channel of the Kaczawa River, locality of the „Rzymówka” dam

Źródło: Opracowanie własne [Fotografia Bobrowski i Trybuś 2014]

Source: Own study [Photo Bobrowski i Trybuś 2014]

Krzywa pojemności i powierzchni zalewu

Krzywe pojemności (rys. 3) i powierzchni zalewu zbiornika „Rzymówka” określono w oparciu o mapy sytuacyjno-wysokościowe w skali 1:1000 oraz pomiary geodezyjne doliny rzeki Kaczawy. Następnie obliczono powierzchnie F odpowiadające poszczególnym rzędnym zwierciadła wody w zbiorniku h oraz przyrosty objętości pomiędzy tymi rzędnymi według wzoru [Adamski inni 1986]:

$$\Delta W_i = \frac{\Delta h_i}{3} (F_i + F_{i+1} + \sqrt{F_i + F_{i+1}}) \quad (1)$$

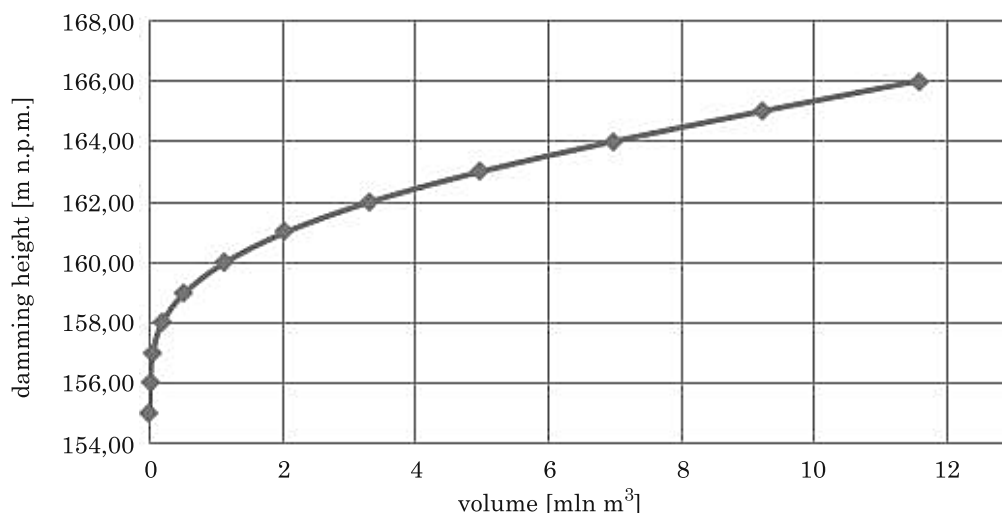
gdzie:

ΔW – przyrost objętości zbiornika między warstwicami i oraz $i + 1$;

Δh_1 – różnica rzędnych warstwicy oraz $i + 1$;

F_i – pole między warstwicą i oraz linią zapory;

F_{i+1} – pole między warstwicą $i + 1$ oraz linią zapory.



Rys. 3. Krzywa pojemności zbiornika „Rzymówka”

Fig. 3. Capacity curve of the „Rzymówka” reservoir

Źródło: Opracowanie własne [Trybuś i in. 2014]

Source: Own study [Trybuś et al. 2014]



Rys. 4. Czasza suchego zbiornika „Rzymówka”

Fig. 4. Bowl of the dry reservoir „Rzymówka”

Źródło: Opracowanie własne [Fotografia Bobrowski i Trybuś 2014]

Source: Own study [Photo Bobrowski i Trybuś 2014]

Uszczelnienie korpusu zapory

Jako element uszczelniający korpus zapory przewidziano pochyły ekran wykonany z bentomatu, chronionego oddzielną folią PE. Od strony zewnętrznej ekran będzie pokryty warstwą pospółki grubości 100 cm i warstwą humusu ułożonego na geowłókninie [Trybuś i in. 2014].

Uszczelnienie podłoża

Pod korpusem zapory projektuje się uszczelnienie podłoża poprzez wykonanie przesłony przeciwfiltracyjnej zagłębionej w warstwę rumoszu. Projektowana przesłona tworzyć będzie ciągłą nieprzepuszczalną warstwę na całej długości zapory (12,0 m).

Umocnienie skarp

Skarpa odpowietrzna oraz odwodna zostaną obsiane mieszanką traw po uprzednim humusowaniu warstwą 15 cm i ułożeniu geowłókniny.

Drenaż

Ewentualne przesiąki przez ekran i przesłonę podłoża będą odbierane przez drenaż i odprowadzane do rowu odwadniającego i niecki wypadowej na stanowisku dolnym. Drenaż zaprojektowany został w postaci materaca żwirowego o grubości 0,8 m, w osłonie z geowłókniny. Odprowadzenie wód z drenażu odbywać się będzie za pomocą sączków drenażowych w odstępach co 10 m.

CHARAKTERYSTYKA URZĄDZEŃ ZRZUTOWYCH

Upust denny

Upust denny stanowią dwie sztolnie żelbetowe, o wymiarach 4,0 × 4,0 m. Są one wyposażone od strony wody górnej w zasuwy, które w normalnych warunkach pracy podniesione są na wysokość 1,49 m ponad dolną krawędź sztolni, znajdującej się na rzędnej 153,00 m n.p.m [Trybuś i in. 2014].

Wydatek upustów dennych (rys. 5) obliczono ze wzoru:

$$Q_s = cF \sqrt{2gH} \quad (2)$$

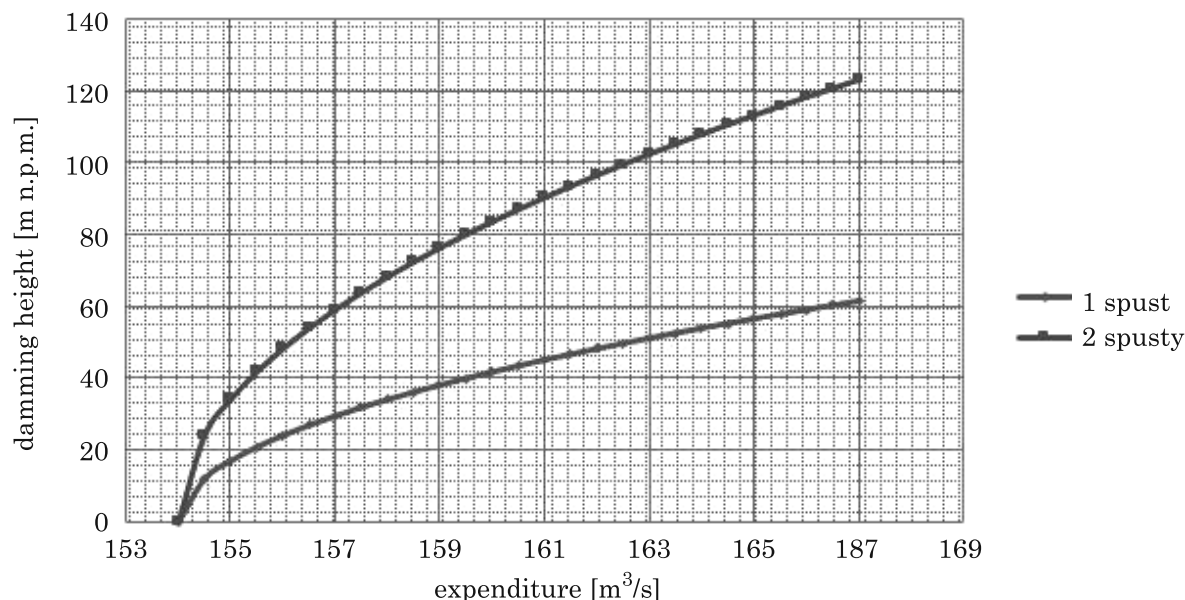
gdzie:

F – pole powierzchni pod zasuwą $F = 4 \times 1,49 = 5,96 \text{ m}^2$;

c – współczynnik wydatku upustu dennego $c = 0,65$;

g – przyspieszenie ziemskie $[\text{m/s}^2]$;

H – spad $[\text{m}]$.



Rys. 5. Krzywe wydatku spustów, zbiornik „Rzymówka”, rzeka Kaczawa

Fig. 5. Discharge curves of bottom outlet, „Rzymówka” reservoir, Kaczawa River

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Przelew awaryjny

Budowlę zrzutową stanowi przelew boczny o rozwiniętej koronie w kształcie półkola o długości 180 m, znajdujący się na rzędnej 165,75 m n.p.m. Woda przepływająca przez przelew, odprowadzana jest korytem zbiorczym do bystrza zlokalizowanego w lewej części skarpy odpowietrznej. Lokalizacja przelewu bocznego na rzędnej 165,75 m n.p.m. poddyktowana była tym, że przy przepływie miarodajnym poziom wody w zbiorniku nie powinien przekraczać krawędzi przelewu [Trybuś i in. 2014].

Wydatek przelewu awaryjnego obliczono ze wzoru:

$$Q_p = m \cdot B \sqrt{2g} \cdot H^{3/2} \quad (3)$$

gdzie:

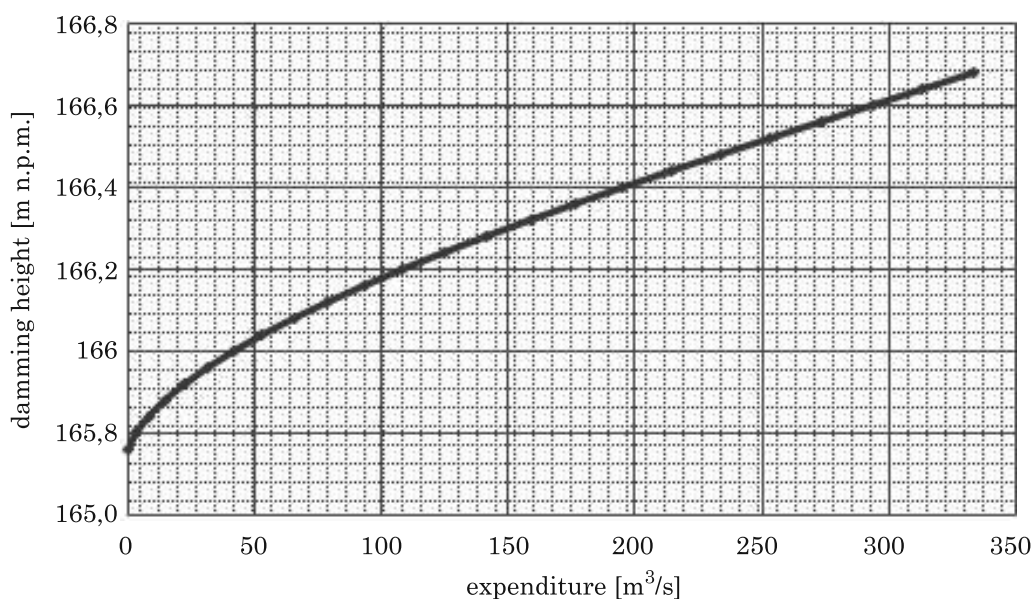
B – długość krawędzi przelewu 180 m;

m – współczynnik wydatku $m = 0,427$;

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2];

H – warstwa przelewowa [m].

Przebieg krzywej wydatku przelewu awaryjnego zilustrowano na rys. 6.



Rys. 6. Krzywa wydatku przelewu, zbiornik „Rzymówka”, rzeka Kaczawa

Fig. 6. Discharge curve of overflow, „Rzymówka” reservoir, Kaczawa River

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

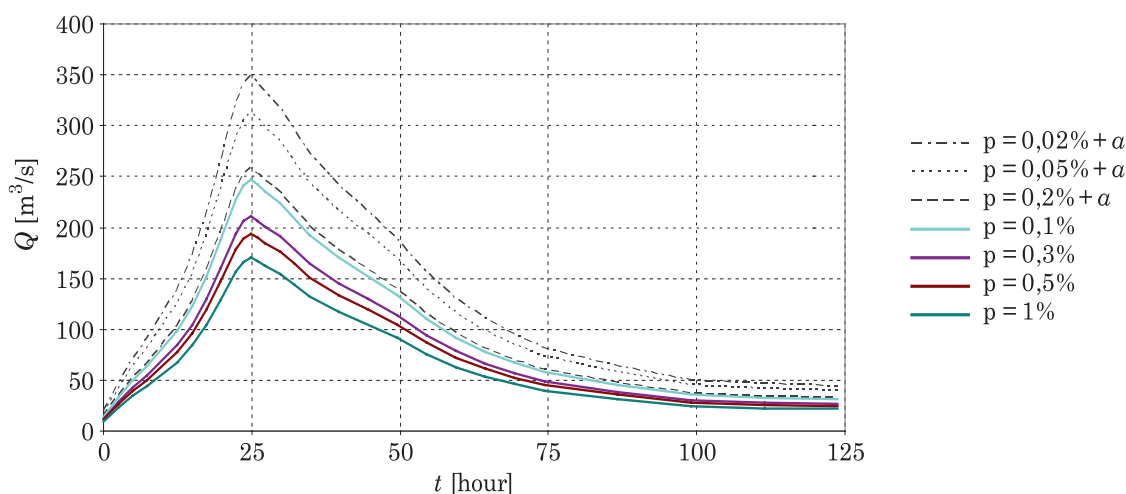
Charakterystyka hydrologiczna rzeki Kaczawy

Rzeka Kaczawa wraz z dopływami należą do typu rzek górsko-nizinnych charakteryzujących się gwałtownymi wezbraniem występującymi głównie w okresach letnich V–VIII [IMGW Wrocław 2014].

Projektowana zapora zamyka zlewnię rzeki Kaczawy w przekroju km 42,394. Bezpośrednio poniżej projektowanej zapory zlokalizowany jest przekrój wodowskazowy „Rzymówka” km 41,690 (powierzchnia zlewni $A=310,67 \text{ km}^2$).

Przepływy maksymalne roczne o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia $Q_{maxp\%}$ obliczono na podstawie ciągu rozdzielczego przepływów maksymalnych rocznych zanotowanych w przekroju wodowskazowym „Rzymówka” w latach 1956–2010. Parametry rozkładu prawdopodobieństwa przepływów maksymalnych rocznych oszacowano metodą największej wiarygodności wg rozkładu Pearsona III typu.

Obliczenia fal hipotetycznych wykonane zostały przez Katedrę Hydrologii i Gospodarki Wodnej Politechniki Warszawskiej. Podstawę opracowania fal hipotetycznych stanowią hydrogramy przepływów z wieloletniego okresu obserwacji oraz obserwacje nadzwyczajne [IMGW Wrocław 2014] (rys. 7).



Rys. 7. Fale hipotetyczne, rzeka Kaczawa, przekrój „Rzymówka”
 Fig. 7. Hypothetical waves, Kaczawa River, cross-section „Rzymówka”
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie [IMGW Wrocław 2014]
 Source: Own study based on [IMGW Wrocław 2014]

OBLICZENIA TRANSFORMACJI FALI

W celu analizy transformacji fali powodziowej przez projektowany zbiornik „Rzymówka” zastosowano metodę Pulsa [Byczkowski 1996]. Podstawowe założenie ww. metody bazuje na tym, że różnica między dopływem a odpływem ze zbiornika w dowolnym czasie odpowiada zmianie retencji. Jeżeli równanie ciągłości wyrazimy w postaci:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \tag{4}$$

i scałkujemy w granicach od x_1 do x_2 to otrzymamy:

$$Q(x_1) - Q(x_2) + \frac{\partial S}{\partial t} = 0 \tag{5}$$

gdzie:

A – pole powierzchni przepływu [m^2];

Q – przepływ [m^3/s].

Podstawiając x_1, x_2 – współrzędne na początku i końcu zbiornika otrzymamy:

$$Q(x_1) - Q(x_2) + \frac{d}{dt} \int_{x_1}^{x_2} A dx = 0$$

lub w postaci różnicowej:

$$Q(x_1) - Q(x_2) + \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (6)$$

gdzie:

$Q(x_2)$ – dopływ do zbiornika [m^3/s];

$Q(x_1)$ – odpływ ze zbiornika [m^3/s];

$\Delta S / \Delta t$ – zmiana retencji (pojemności) zbiornika w czasie [m^3/s].

Po prostych przekształceniach równanie ostatecznie przyjmuje postać:

$$Q_{g1} + Q_{g2} + \left(\frac{2S_1}{\Delta t} + Q_{d1} \right) = \frac{2S_2}{\Delta t} + Q_{d2} \quad (7)$$

gdzie:

$\Delta t = t_2 - t_1$

Q_{g1}, Q_{d1}, S_1 – dopływ, odpływ i retencja na początku okresu Δt ;

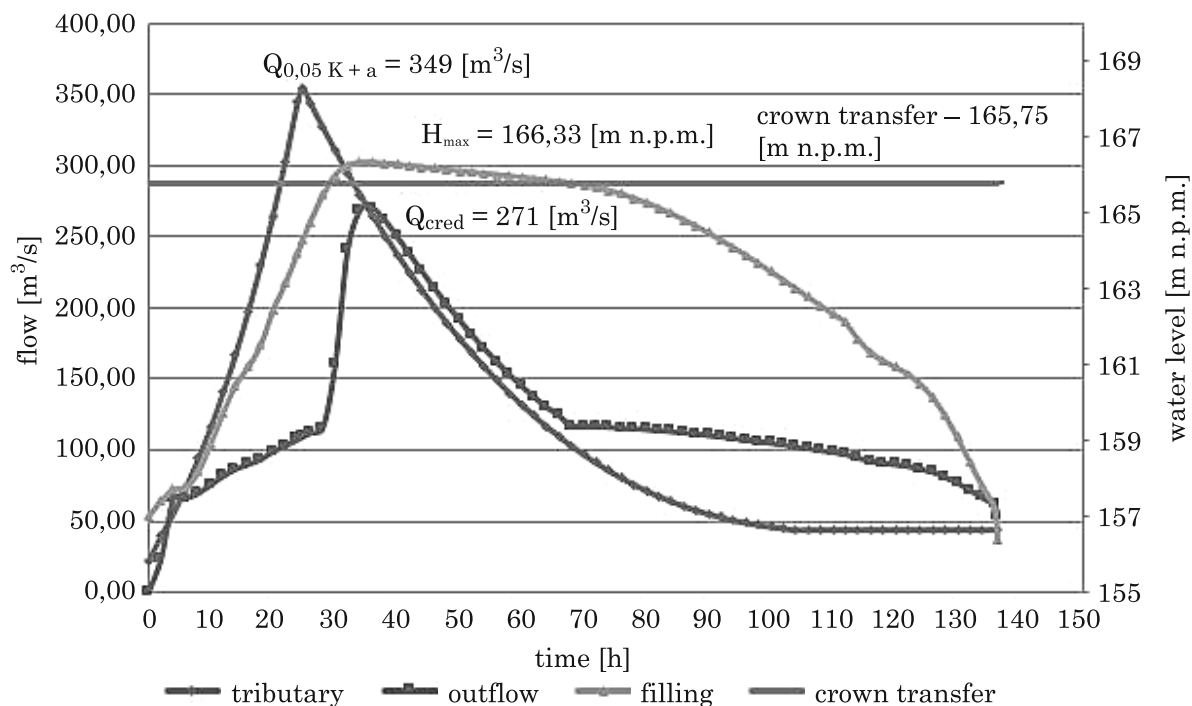
Q_{g2}, Q_{d2}, S_2 – dopływ, odpływ i retencja na końcu okresu Δt .

Znając hydrogramy fal hipotetycznych, krzywą pojemności zbiornika oraz krzywe wydatku urządzeń zrzutowych, można obliczyć transformację fali powodziowej przez zasobnik. W analizowanym przypadku obliczenia wykonano numerycznie.

Obliczenia przejścia fali wykonano dla trzech wariantów, tj. dla przepływu kontrolnego $Q_k = 349 \text{ m}^3/\text{s}$ (wariant WI), dla przepływu miarodajnego $Q_m = 247 \text{ m}^3/\text{s}$ (wariant WII) i dla przepływu o prawdopodobieństwie 1% (wariant WIII).

Wariant I – Przejście fali kontrolnej $Q_{0,02\%+\delta} = 349 \text{ m}^3/\text{s}$ przy czynnych wszystkich urządzeniach zrzutowych.

Przy przejściu fali kontrolnej $Q_{0,02\%+\delta} = 349 \text{ m}^3/\text{s}$ zwierciadło wody w zbiorniku podniesie się maksymalnie do rzędnej 166,33 m n.p.m. Łączny maksymalny wydatek urządzeń zrzutowych wyniesie $Q = 271 \text{ m}^3/\text{s}$, na co składa się wydatek dwóch spustów $Q_s = 2 \times 59,85 \text{ m}^3/\text{s}$ oraz wydatek przelewu czołowego $Q_p = 150,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Przepływ $Q_{0,02\%+\delta} = 349 \text{ m}^3/\text{s}$ zostanie zredukowany o $78 \text{ m}^3/\text{s}$. Zbiornik zmagazynuje 12,51 mln m^3 , osiągając powierzchnię zalewu 35,5 ha, przesuując kulminację fali o 9,2 godziny. Redukcja przepływu fali o prawdopodobieństwie przewyższenia raz na 5000 lat wynosi ok. 22%. Całkowity czas opróżniania zbiornika 140 h (rys. 8).



Rys. 8. Hydrogram transformacji fali Q_k rzeka Kaczawa, przekrój „Rzymówka”

Fig. 8. Transformation hydrograph of wave Q_k Kaczawa River, cross-section „Rzymówka”

Źródło: Opracowanie własne

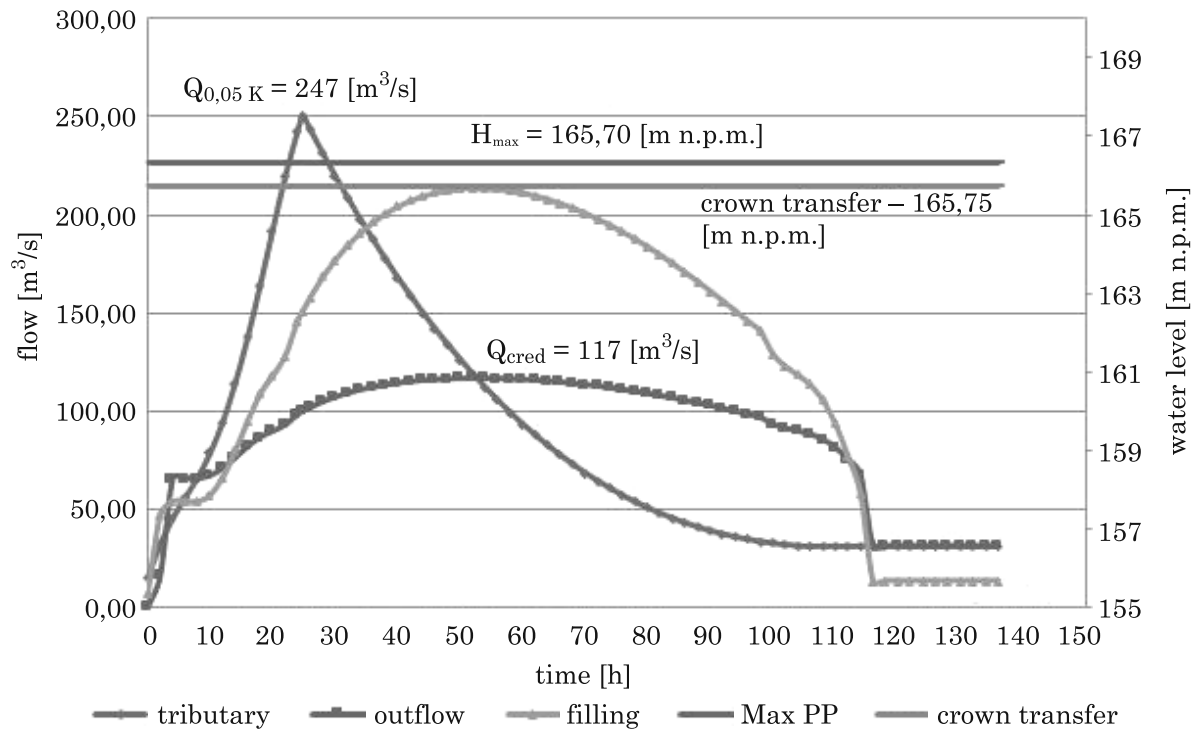
Source: Own study

Wariant II – Przejście fali miarodajnej $Q_{0,1\%} = 247 \text{ m}^3/\text{s}$ przy czynnych wszystkich urządzeniach zrzutowych.

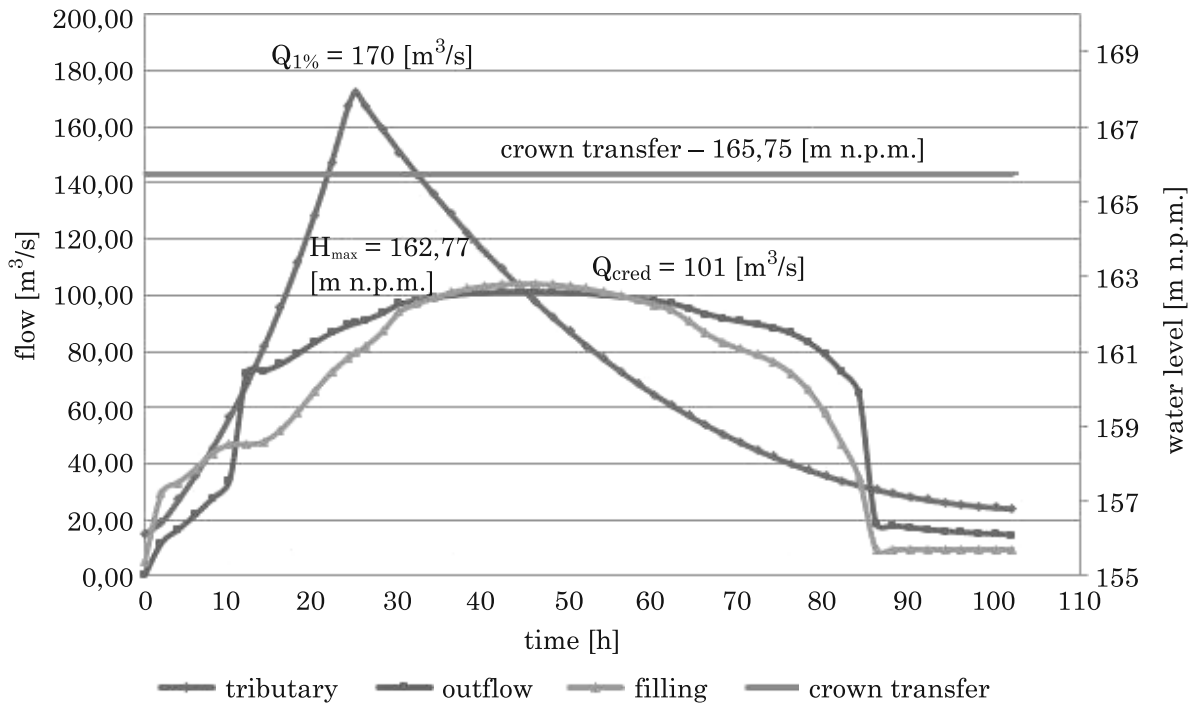
Przy przejściu fali miarodajnej $Q_{0,1\%} = 247 \text{ m}^3/\text{s}$ zwierciadło wody w zbiorniku podniesie się maksymalnie do rzędnej 165,70 m n.p.m. Łączny maksymalny wydatek urządzeń zrzutowych wyniesie $Q = 117 \text{ m}^3/\text{s}$, na co składa się wydatek dwóch spustów $Q_s = 2 \times 58,5 \text{ m}^3/\text{s}$ oraz wydatek przelewu czołowego $Q_p = 0,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Przepływ $Q_{0,1\%} = 247 \text{ m}^3/\text{s}$ zostanie zredukowany o $130 \text{ m}^3/\text{s}$. Zbiornik zmagazynuje $10,8 \text{ mln m}^3$, osiągając powierzchnię zalewu $29,8 \text{ ha}$, przesuwając kulminację fali o $27,2$ godziny. Redukcja przepływu fali o prawdopodobieństwie przewyższenia raz na 1000 lat jest znaczna i wynosi 53% . Całkowity czas opróżniania zbiornika to 119 h (rys. 9).

Wariant III – Przejście fali $Q_{1\%} = 170 \text{ m}^3/\text{s}$.

Przy przejściu fali $Q_{1\%}$ zwierciadło wody w zbiorniku podniesie się maksymalnie do rzędnej $162,77 \text{ m n.p.m.}$ Łączny maksymalny wydatek urządzeń zrzutowych wyniesie $Q = 101 \text{ m}^3/\text{s}$, na co składa się wydatek spustów $Q_s = 2 \times 50,5 \text{ m}^3/\text{s}$ oraz wydatek przelewu czołowego $Q_p = 0,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Przepływ $Q_{1\%} = 170 \text{ m}^3/\text{s}$ zostanie zredukowany o $69 \text{ m}^3/\text{s}$. Zbiornik zmagazynuje $4,71 \text{ mln m}^3$, osiągając powierzchnię zalewu $16,5 \text{ ha}$, a kulminacja fali przesunie się o $19,2$ godziny. Redukcja przepływu fali o prawdopodobieństwie przewyższenia raz na 100 lat jest znaczna – $40,5\%$. Całkowity czas opróżniania zbiornika to 90 h (rys. 10).



Rys. 9. Hydrogram transformacji fali Q_m , rzeka Kaczawa, przekrój „Rzymówka”
 Fig. 9. Transformation hydrograph of wave Q_m , Kaczawa River, cross-section „Rzymówka”
 Źródło: Opracowanie własne
 Source: Own study



Rys. 10. Hydrogram transformacji fali $Q_{1\%}$, rzeka Kaczawa, przekrój „Rzymówka”
 Fig. 10. Transformation hydrograph of wave $Q_{1\%}$, Kaczawa River, cross-section „Rzymówka”
 Źródło: Opracowanie własne
 Source: Own study

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przy przepływie miarodajnym $Q_{0,1\%} = 247 \text{ m}^3/\text{s}$ rzędna zwierciadła wody w zbiorniku osiągnie poziom 165,70 m n.p.m. i będzie o 5 cm niższa od rzędnej korony przelewu 165,75 m n.p.m. Zatem przejście przez zbiornik fali Q_m i jej zrzut nastąpi bez zgórowania przelewu. Wydatek urządzeń zrzutowych wyniesie $117 \text{ m}^3/\text{s}$ i nie przekroczy przepływu dozwolonego $Q_{\text{doz}} = 120 \text{ m}^3/\text{s}$, któremu odpowiada przepływ o prawdopodobieństwie $\sim 5\%$ – redukcja przepływu wyniesie 53%.

Redukcja przepływu przy przejściu fali kontrolnej $Q_{0,02\%} = 349 \text{ m}^3/\text{s}$ jest stosunkowo niska – na poziomie ok. 22%.

Redukcja fali o prawdopodobieństwie 1% jest mniejsza niż redukcja fali miarodajnej, ok. 41%.

Należy zauważyć, że projektowany zbiornik „Rzymówka” posiada stosunkowo małą pojemność w odniesieniu do objętości fal hipotetycznych, co ma decydujący wpływ na skuteczność obniżenia fal powodziowych. Objętość zasobnika przy Max PP równa jest $12,51 \text{ mln m}^3$, i jest ponad 3-krotnie mniejsza w stosunku do objętości fali miarodajnej $V_{Q_m} = 41,7 \text{ mln m}^3$, 5-krotnie mniejsza w porównaniu do objętości fali kontrolnej $V_{Q_k} = 58,9 \text{ mln m}^3$ oraz 2-krotnie mniejsza w stosunku do objętości fali 1%, $V_{Q_{1\%}} = 28,7 \text{ mln m}^3$. Pojemność tego zbiornika, rzędu 70% objętości fali 1%, jest niemożliwa do spełnienia. Pomimo stosunkowo małej pojemności projektowanego zbiornika uzyskany wynik redukcji fali miarodajnej należy uznać za bardzo wysoki.

Istnieje również możliwość optymalizacji pracy zamknięć hydrotechnicznych w oparciu o obserwacje stanów i przepływów na posterunku wodowskazowym Świerzawa (km 66,3). Pozwoliło by to dostosować pracę zamknięć do konkretnych fal powodziowych, z odpowiednim wyprzedzeniem czasowym. Powiązanie pracy zamknięć z sytuacją hydrologiczną w górnym biegu rzeki pozwoliłoby uzyskać lepszą skuteczność redukcji fal powodziowych przez projektowany suchy zbiornik w porównaniu z wariantami zbiornika niesterowalnego.

PIŚMIENNICTWO

- Adamski, W., Gortat, J., Leśniak, E., Żbikowski, A. (1986). Małe budownictwo wodne dla wsi. Arkady, Warszawa.
- Byczkowski, A. (1996). Hydrologia. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dn. 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim.
- Głowski, R., Kasperek, R., Parzonka, W. (2010). Wstępna analiza transportu rumowiska unoszonego w przekroju wodowskazowym Chałupki na granicznym odcinku Górnej Odry. Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus, 9/2, 13–24.
- IMGW Wrocław. (2014). Dane hydrologiczne rzeki Kaczawy do dokumentacji technicznej dla planowanej budowy suchego zbiornika przeciwpowodziowego Rzymówka.
- Kasperek, R., Wiatkowski, M. (2008). Charakterystyka gospodarki wodnej na zbiorniku Włodzienin. W: Modelowanie, procesów hydrologicznych, CMPH Wrocław, B. Namysłowska-Wilczyńska (red.), Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 407–424.

- Kasperek, R., Mokwa, M., Wiatkowski, M. (2013). Modelling of pollution transport with sediment on the example of the Widawa River. *Arch. Environ. Prot.*, 39(1), DOI: 10.2478/aep-2013-0017, 29–43.
- Kosiński, J. (2013). Flood control of the lower Vistula. *Acta Energetica*, 2/15, 169–177.
- Lambor, J. (1962). *Gospodarka wodna na zbiornikach retencyjnych*. Arkady, Warszawa.
- Madzia, M. (2015). Funkcje zbiornika retencyjnego Wisła–Czarne w redukcji fali powodziowej. *Inż. Ekolog.*, 41, DOI: 10.12912/23920629/1847, 173–180.
- Mosiej, K., Ciepeliowski, A. (1992). *Ochrona przed powodzią*. Wydawnictwo IMUZ, Falenty.
- Pietrak, M., Banasik, K. (2009). Redukcja fali wezbraniowej Potoku Służewieckiego za pomocą małych zbiorników. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 4(46), 22–34.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie warunków technicznych, jakimi powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie z dnia 20.04.2007 r. (Dz.U. z 2007 r. Nr 86, poz. 579).
- Trybuś, P., Bobrowski, P., Szymanowski, Z. (2014). Koncepcja suchego zbiornika przeciwpowodziowego „Rzymówka”. *Maszynopis*, Water Service Wrocław.
- Wiatkowski, M. (2011). Influence of Słup dam reservoir on flow and quality of water in the Nysa Szalona river. *Pol. J. Environ. Stud.*, 20(2), 469–478.
- Wiatkowski, M., Rosik-Dulewska, Cz., Kuczewski, K., Kasperek, R. (2013). Ocena jakości wody zbiornika Włodzienin w pierwszym roku funkcjonowania. *Rocz. Ochr. Środ.*, 15(3), 2666–2682.
- Wiatkowski, M., Rosik-Dulewska, Cz., Kasperek, R. (2015). Analysis of the impurity supply to Bukówka reservoir from the transboundary Bóbr river basin. *Rocz. Ochr. Środ.*, 17, 316–336.
- Wujek, M., Antoszewski, R., Urbański, I. (2007). *Studium Ochrony przed powodzią zlewni rzeki Kaczawy*. *Maszynopis*, Hydroprojekt Poznań.

REDUCTION OF FLOOD WAVE ON THE KACZAWA RIVER BY THE DRY RESERVOIR „RZYMÓWKA”

Abstract: This work concerns estimation of the peak flow reduction degree through a designed dry reservoir „Rzymówka” on the Kaczawa River. It was assumed, that water management on this tank will be carried out automatically, and during passage of the reliable flow will be carried out by the bottom outlets. For these conditions parameters of the bottom outlets opening have been estimated. Transformation calculations of the hypothetical waves: reliable Q_m , control Q_k and $Q_{1\%}$ were carried out by means of the method Puls. From calculations it results, that the reduction analysed waves is suitably on level 53%, 22% and 41%.

Key words: dry reservoir, flood reduction, flood protection

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 25.06.2015

For citation – Do cytowania:

Bobrowski, P., Trybuś, P., Kasperek, R. (2015). Redukcja fali wezbraniowej na rzece Kaczawa za pomocą suchego zbiornika „Rzymówka”. *Acta Sci. Pol., Administratio Locorum*, 14(1), 29–43.