

*Marian Mokwa, Beata Malczewska*

## **WYNIKI BADAŃ MODELOWYCH URZĄDZEŃ ZRZUTOWYCH ZBIORNIKA CHWALIMIERZ**

---

### **MODEL STUDIES OF FLOW INTENSITY THROUGH CHWALIMIERZ RESERVOIR OVERFLOW STRUCTURES**

#### **Streszczenie**

Przeprowadzone badania modelowe miały na celu ocenę prawidłowości przyjętych rozwiązań projektowych urządzeń zrzutowych zbiornika retencyjnego „Chwalimierz” na Średzkiej Wodzie, opracowanych przez Pracownię Projektową „Water Service” Sp. z o.o. we Wrocławiu. Do podstawowych zadań projektowanego zbiornika należy ochrona od powodzi doliny rzeki i zagwarantowanie wody do nawodnień upraw rolnych. Uzyskana dzięki budowie zbiornika retencja powodziowa umożliwi wydatne zmniejszenie fal powodziowych poniżej zbiornika, a tym samym zostanie zwiększona ochrona przeciwpowodziowa miejscowości Środa Śląska i terenów przyległych.

Badania obejmowały ocenę hydrauliczną działania urządzeń zrzutowych, a w szczególności weryfikację krzywych natężenia przepływu urządzeń przelewowych i upustowych oraz wydatku sztolni. Budowla zrzutowa składa się z komory wlotowej z zabudowanymi dwoma rurociągami o średnicy 1000 mm wyposażonymi w zasuwę oraz części przelewowej o świetle 3x1,70 m umieszczonej na koronie pionowego szybu. Woda z urządzeń zrzutowych odprowadzana jest do dolnego stanowiska kanałem zrzutowym (sztolnią) o długości 30 m, zakończonym niecką wypadową.

Badania przeprowadzono na modelu w skali 1:10, wykonanym w laboratorium wodnym Instytutu Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. W artykule przedstawiona jest metodyka przeprowadzonych badań oraz analiza porównawcza wyników pomiarów i obliczeń wzorami empirycznymi. Badania modelowe potwierdziły poprawność przyjętych rozwiązań projektowych. Różnice pomiędzy wynikami obliczeń i wynikami uzyskanymi z pomiarów pozwolą na skorygowanie wielkości przepływu przez urządzenia zrutowe oraz wniesienie poprawek do instrukcji gospodarowania wodą na zbiorniku Chwalimierz.

**Słowa kluczowe:** badania modelowe, zbiornik retencyjny, urządzenia zrutowe

### **Summary**

*The verification of the project of designed spillway of Chwalimierz reservoir was the main purpose of conducted research. The Chwalimierz reservoir was designed by Water Service Ltd. in order to protect the valley from flood as well to ensures, water for rural cultivation irrigation. This reservoir is going to be built on Sredzka Woda, and will decrease flood wave in order to protect the city Sroda Slaska.*

*This research was conducted on Water Laboratory at Environmental Engineering Department of Wroclaw University of Environmental and Life Science. The research was executed using 1:10 scale.*

*The investigation included the hydraulic analyses of spillway especially the verification of the flow rate curve. The water delivery is assembled by inlet chamber with two pipelines (diameter 1000mm) with valves and spillway (3\*1,70m) which is located on overfall crest of vertical well. The water from service spillway is carried of to low station channel. The length of it is about 30 m and it is ended with trough.*

*In this paper Authors presents methodology of model research and comparison of theoretical calculation with model research results.*

*The research has confirmed the correctness of assumed design. The small differences between model research and theoretical calculations allow to admit designed flow discharge and to enclose corrections to the water management instruction.*

### **WSTĘP**

Jedną z metod powiększania retencji i ochrony od powodzi jest budowa zbiorników retencyjnych. Prowadzenie ochrony przeciwpowodziowej wg Programu dla Odry 2006 polega na zwiększeniu retencji powodziowej i zbiornikowej w dorzeczu Odry, jak również na odtworzeniu małej retencji na Dolnym Śląsku. Przewiduje się budowę zbiorników retencyjnych, takich jak: Maleszów na Ślęzie Małej gm. Kondratowice, Długomost na Widawie gm. Dziadowa Kłoda, Rudna na rz. Rudnej, Bartoszowa, Jamnik, Świętoszyn, Miłosławice na Baryczy i Strzelin na Oławie oraz Chwalimierz na Średzkiej Wodzie w gminie Środa Śląska.

W ramach Programu Operacyjnego „Infrastruktura i Środowisko”, Priorytet III – Bezpieczeństwo Ekologiczne w zakres działań Dolnośląskiego Zarządu Melioracji i Urządzeń Wodnych wpisana jest budowa zbiornika retencyjnego na terenie gminy Środa Śląska. Zaplanowany zbiornik retencyjny „Chwalimierz” ma powstać na rzece Średzka Woda w km 16+ 670. Projektowana powierzchnia zalewu zbiornika wynosi 64,1 ha, a pojemność 0,961mln m<sup>3</sup> (rys. 1). Do podstawowych zadań projektowanego zbiornika należą ochrona od powodzi i zagwarantowanie wody do nawodnień upraw rolnych. Uzyskana dzięki budowie zbiornika retencja powodziowa umożliwi istotne zmniejszenie fal powodziowych poniżej zbiornika, a tym samym zwiększenie ochrony przeciwpowodzio-

wej terenów położonych poniżej zbiornika, w tym miejscowości Środa Śląska. Oprócz tych funkcji zbiornik umożliwi hodowlę ryb, produkcję energii elektrycznej. Nie do pominięcia jest również funkcja rekreacyjna zbiornika.

### CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Celem pracy było wykonanie badań modelowych potwierdzających prawidłowość przyjętych rozwiązań projektowych, zawartych w dokumentacji technicznej dotyczącej budowy zbiornika retencyjnego „Chwalimierz” na rzece Średzka Woda, opracowanej przez firmę „Water Sernice” we Wrocławiu. Zakres opracowania obejmował ocenę hydrauliczną działania urządzeń zrzutowych zbiornika, a w szczególności weryfikację krzywych natężenia przepływu urządzeń przelewowych i spustowych oraz wydatku sztolni. Dodatkowo ustalono również położenie zwierciadła wody w sztolni oraz w wieży przelewowej.

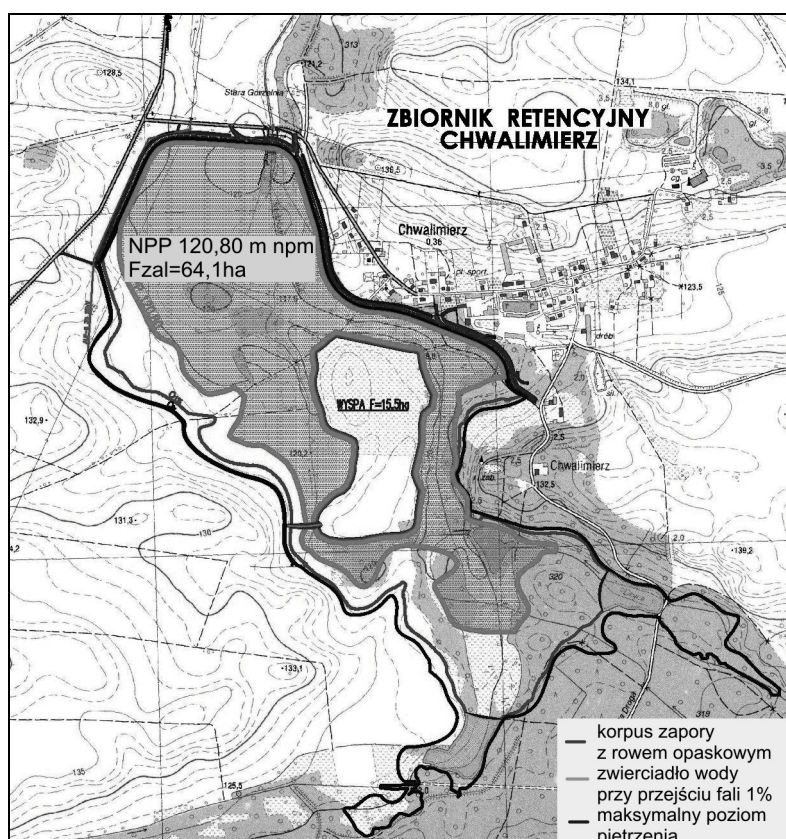
### PODSTAWOWE DANE CHARAKTERYZUJĄCE PROJEKTOWANY ZBIORNIK

W skład projektowanego zbiornika retencyjnego wchodzi następujące elementy składowe:

1. zaporą ziemną o długości 1925,0 m, o rzędnej korony 124,15 m npm,
2. budowla zrzutowa składająca się z:
  - komory wlotowej z zasuwami kanałowymi,
  - komory zasuw z zasuwami klinowymi płaskimi kołnierzowymi,
  - 2. rurociągów spustów dennych o średnicy 1,00 m,
  - rurociągu roboczego o średnicy 0,25 m,
  - pomieszczenia pod zabudowę małej elektrowni wodnej (MEW) wraz z niezbędną armaturą,
  - przelewu czołowego 3 x 1,70 m,
  - sztolni L = 30,0 m,
  - niecki wypadowej L = 8,50 m
3. czasza zbiornika wraz z regulacją w obrębie rzeki Średzkiej Wody i potoku Dojca jak i ukształtowaniem wyspy o powierzchni 15,5 ha,
4. zbiorniki wstępne z budowlami piętrzącymi:
  - na potoku Dojca o normalnym poziomie piętrzenia NPP = 121,80 m npm, powierzchni zalewu F = 1,27 ha,
  - na Średzkiej Wodzie o NPP = 121,80 m npm, F = 1,86 ha.

Pobór wody w celu napełnienia zbiornika w ilościach gwarantujących zrzut sanitarny poniżej przekroju zapory ustalono na  $Q_s = 0,094$  l/s. Piętrzenie wody w zbiorniku zaplanowano na poziomie NPP = 120,80 m npm. Przewidziano również zrzut wody w wysokości 1,0 m<sup>3</sup>/s w czasie okresowego opróżniania

zbiornika oraz zrzut dozwolony w wysokości  $20,60 \text{ m}^3/\text{s}$ , przy piętrzeniu wody w zbiorniku do rzędnej  $122,40 \text{ m npm}$ , w okresie przechodzenia przez zbiornik fali stuletniej  $Q_{1\%} = 44,70 \text{ m}^3$ . Ustalono maksymalny zrzut awaryjny w wysokości  $46,08 \text{ m}^3/\text{s}$ , przy maksymalnym poziomie piętrzenia w zbiorniku  $\text{Max.}_{pp}$  wynoszącym  $122,95 \text{ m npm}$  w czasie przechodzenia fali kontrolnej  $Q_{K 0,02} = 76,0 \text{ m}^3/\text{s}$  przez zbiornik [Budowa... 2006; Zbiornik... 2006].



Rysunek 1. Plan sytuacyjny zbiornika Chwalimierz

Figure 1. The plan of Chwalimierz reservoir

Zaprojektowane urządzenia zrzutowe zbiornika Chwalimierz przedstawiono poniżej:

**Przelew** o świetle  $3 \times 1,70 \text{ m}$  z koroną przelewu na rzędnej  $120,80 \text{ m npm}$ . Obliczenia teoretyczne przeprowadzono, dla przelewu czołowego o kształcie praktycznym, niezatopionym o półkolistym profilu. Wydatek przelewu określano za pomocą poniższego wzoru:

$$Q = m \cdot \varepsilon \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{\frac{2}{3}}$$

gdzie:

$m$  – współczynnik wydatku przelewu, gdy przestrzeń pod swobodnie przelewającym się strumieniem jest napowietrzana

$$m = \frac{2}{3} \cdot 0,54525 + 0,20494 \cdot \frac{H}{r} - 0,062301 \cdot \frac{H}{r}^2 + 0,0059519 \cdot \frac{H}{r}^3$$

$r$  – promień półkola profilu

$\varepsilon$  – współczynnik dławienia bocznego

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \cdot \frac{\varepsilon_p + (n+1)\varepsilon_f}{n} \cdot \frac{H}{b}$$

gdzie:

$\varepsilon_p$  – współczynnik od przyczółków,

$\varepsilon_f$  – współczynnik od filarów

$b$  – szerokość przelewu

$H$  – grubość warstwy przelewającej się wody

**Upusty denne** – są to dwa rurociągi wyposażone na wlocie w zasuwę płytowe kanałowe oraz w zasuwę klinowe płaskie, zabudowane w komorze zasuw.

**Sztolnia** - składa się z trzech odcinków o długości 10,0 m, woda sływa do niej bezpośrednio z wieży przelewowej. Pierwszy odcinek o świetle 4,60 m i wysokości 3,65 m z wlotem na rzędnej 115,25 m npm zakończony jest progiem o wysokości 1,05 m nachylonym pod kątem 45°. Drugi odcinek o świetle 4,60 m i wysokości 2,60 m z wlotem na rzędnej 116,30 m npm stanowi początek właściwej sztolni, o spadku dna równym 1%. Dla zachowania warunku o przepływie bezciśnieniowym w sztolni, maksymalne napełnienie wody sięgnie 75% wysokości sztolni tj. do rzędnej 118,25 m npm. Wypływająca woda ze sztolni wpada do niecki wypadowej o głębokości 0,60 m i długości 8,50 m.

Założono, że upust roboczy i rurociągi energetyczne nie biorą udziału w przepuszczaniu wód wezbraniowych. Zaprojektowano upust roboczy o średnicy 250 mm, który służy do przepuszczenia przepływu gwarantowanego  $Q = 0,094 \text{ m}^3/\text{s}$ . Wlot do rurociągu umieszczony jest na rzędnej 119,85 m npm, natomiast wylot w komorze przelewowej na rzędnej 116,25. Rurociągi energetyczne są przewidziane do zainstalowania w przyszłości zespołu MEW. Pierwszy o średnicy 500mm i długości 1,0m umieszczony jest w ścianie komory zasuw na rzędnej 116,50, łączący komorę wlotową z częścią przeznaczoną dla turbiny. Drugi o zmiennej średnicy od 500 mm do 800 mm i długości 2,65 m

umieszczony jest pod kątem  $50^\circ$  w stropie pomiędzy częścią wieży zasuw przeznaczoną dla turbiny a komorą w wieży przelewowej [Budowa... 2006; Zbiornik... 2006].

### **BADANIA MODELOWE PRZEPLYWU WODY PRZEZ URZĄDZENIA ZRZUTOWE**

**Stanowisko badawcze.** Model doświadczalny stopnia wodnego został wybudowany w Laboratorium Wodnym Instytutu Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Laboratorium to ma podest przeznaczony do instalowania modeli doświadczalnych oraz z układ zbiornikowo-pompowy dla zapewnienia przepływu wody i pomiaru wydatku.

Wymodelowano urządzenia zrzutowe, tj. przelew, upusty denne, sztolnie z nieką wypadową oraz odcinek rzeki Średzka Woda o długości ok. 100 m w naturze. Model urządzeń zrzutowych umieszczono w korycie betonowym, którego część stanowiła odzwierciedlenie części zbiornika Chwalimierz (rys. 2).

Wielkości natężenia przepływu określono za pomocą wycechowanych przelewów kołowych oraz zbiornika pomiarowego.

Pomiary wysokościowe na modelu wykonano za pomocą katetometru i wodowskazów szpilkowych z dokładnością 0,1 mm, natomiast pomiary prędkości przepływu wody wykonano za pomocą elektronicznego młynka hydrometrycznego typu FLO MATE 2000.



**Rysunek 2.** Stanowisko badawcze  
**Figure 2.** Laboratory flume

**Skala modelu.** Wielkość obiektu oraz warunki laboratoryjne umożliwiły realizację modelu w skali 1:10. Dobór skali modelu uwarunkowany był także możliwością uzyskania maksymalnego przepływu odpowiadającego wodzie miarodajnej.

Z uwagi na przeważający wpływ sił ciężkości do przeliczeń odpowiednich wartości z modelu na naturę i odwrotnie zastosowano prawo podobieństwa Froude'a [Depczyński, Szamowski 1997; Sobota 2003]. Wpływ innych czynników jest w tym przypadku minimalny i można je pominąć. Oznaczając skalę wymiarów liniowych przez:

$$\lambda = \frac{L_N}{L_M} = 10$$

otrzymuje się dla podstawowych wielkości następujące skale:

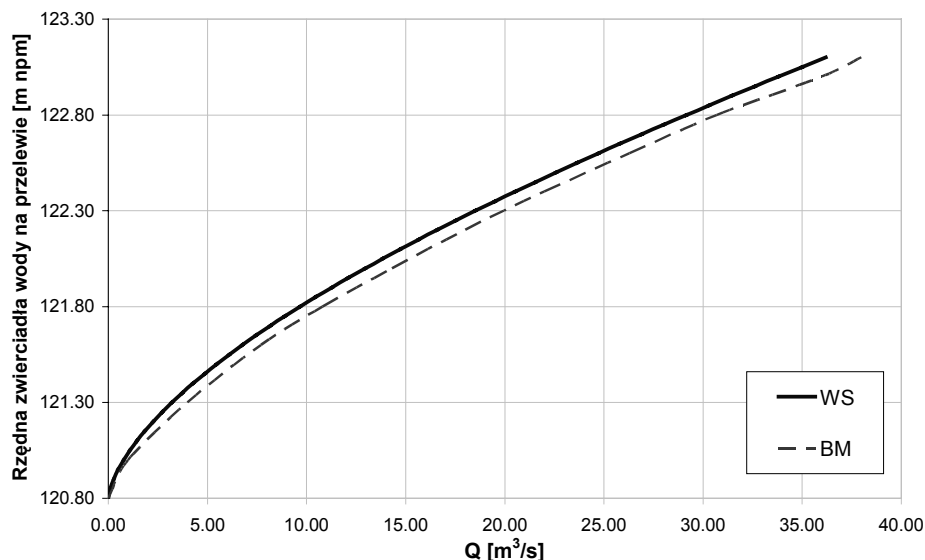
- czas i prędkość:  $1:\lambda^{1/2} = 1:3.16$
- objętość i siły:  $1:\lambda^3 = 1:1000$
- natężenia przepływu:  $1:\lambda^{5/2} = 1:316$

Indeksem „N” oznaczono wielkości występujące w naturze, natomiast indeksem „M” określano wielkości modelowe.

## WYNIKI BADAŃ MODELOWYCH

**Badania natężenia przepływu wody przez przelew.** W celu przeprowadzenia weryfikacji krzywej natężenia przepływu wody przez przelew, otrzymanej w wyniku obliczeń teoretycznych przeprowadzonych przez Pracownię Projektową „Water-Service”, wykonano serię doświadczeń modelowych. Zmieniało rzędne położenia zwierciadła wody w zbiorniku w przedziale od 120,80 m npm do 123,10 m npm. Wykonano 12 doświadczeń, zmieniając grubość warstwy przelewowej średnio co 20 cm w naturze (2 cm na modelu). Przykładowe wyniki doświadczeń przedstawiono na rysunku 3, gdzie skrótem WS określono krzywą otrzymaną na podstawie obliczeń teoretycznych wykonanych przez Water Service, natomiast skrót BM oznacza krzywą otrzymaną na podstawie przeprowadzonych badań modelowych.

Porównując otrzymane wyniki badań modelowych z krzywą teoretyczną wydatku przelewu, należy stwierdzić, że przepływy z pomiarów w całym przedziale piętrzenia wody w zbiorniku uzyskane są większe niż obliczeniowe. Przykładowo, dla rzędnej zwierciadła wody w zbiorniku 122,40 m npm, przepływ teoretyczny wynosi  $Q = 20,51 \text{ m}^3/\text{s}$ , a pomierzony na modelu i przeliczony na naturę  $Q = 22,00 \text{ m}^3/\text{s}$ . Przepływ zmierzony był około 7% większy od obliczonego wzorami teoretycznymi.

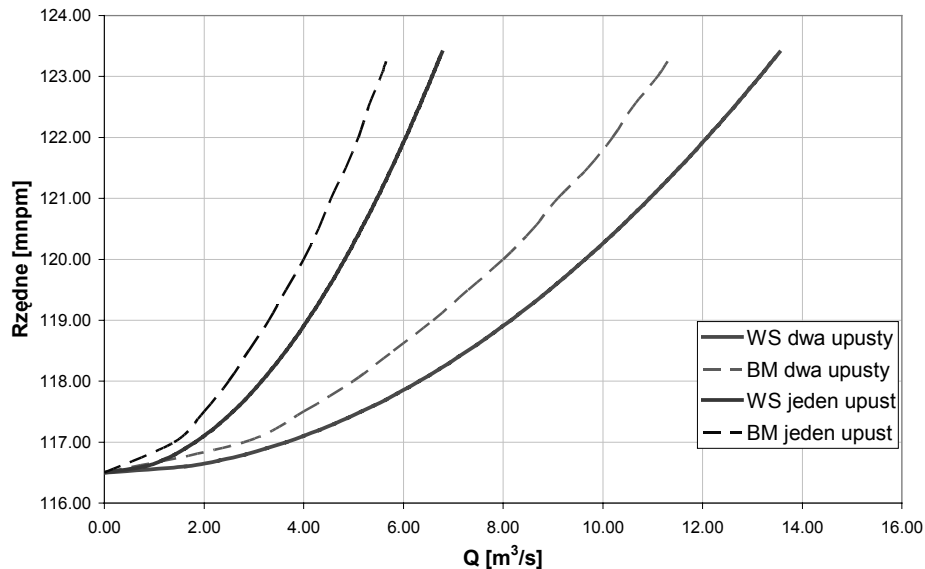


**Rysunek 3.** Krzywe natężenia przepływu wody przez przelew  
**Figure 3.** The spillway flow discharge curve

**Badania natężenia przepływu wody przez upusty denne.** Badania przeprowadzono przy dwóch całkowicie otwartych upustach. Rozpoczęto je od rzędnej zwierciadła wody w zbiorniku na poziomie 117,00 m npm, tj. rzędnej odpowiadającej położeniu osi upustów. Kolejne doświadczenia przeprowadzono, podnosząc położenie zwierciadła wody w zbiorniku co 0,5 m w naturze (5 cm na modelu). Do rzędnej 120,50 m npm przepływ odbywał się tylko przez upusty denne. W tym zakresie piętrzenia wody w zbiorniku przeprowadzono 8 doświadczeń. Zwiększając piętrzenie wody w zbiorniku powyżej rzędnej 120,80, przepływ odbywał się przez 2 upusty denne oraz przelew. Otrzymano więc sumaryczny wydatek 2 upustów i przelewu. Taki układ pracy urządzeń zrzutowych będzie występował w praktyce. Wydatek przepustów, przy rzędnej piętrzenia wody większej od 120,80 m npm, otrzymywano poprzez odejmowanie od uzyskanego całkowitego wydatku wcześniej wyznaczonego wydatku przelewów

Wydatki upustów dennych pomierzone doświadczalnie były w całym zakresie zmian piętrzenia w zbiorniku mniejsze niż uzyskane na podstawie wzorów teoretycznych (rys. 4). Przykładowo, przepływ teoretyczny przy piętrzeniu 120,00 m npm wynosiło 9,65 m<sup>3</sup>/s a doświadczalny 8,60 m<sup>3</sup>/s i był większy o ok. 12%.





**Rysunek 4.** Krzywe natężenia przepływu upustów dennych  
**Figure 4.** The outlet flow discharge curve

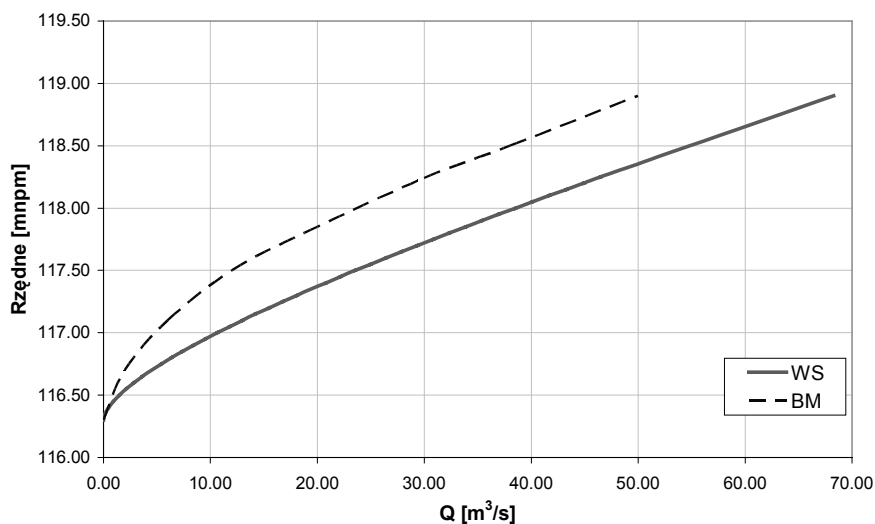
Wykonano także pomiary weryfikacyjne przepływu wody przez 1 przepust. Uzyskano przepływy o około połowę mniejsze niż w przypadku pracujących dwóch przepustów.

**Badania przepływu wody przez sztolnie.** Podczas prowadzenia badań natężenia przepływu przez przelew i upusty, wykonano pomiary parametrów hydraulicznych sztolni. Przy określonym przepływie mierzono położenie zwierciadła wody w sztolni oraz prędkość strumienia.

Przy zadanych przepływach zmierzono większe napętnienia sztolni niż obliczeniowe, np. przy przepływie  $Q = 12,0 \text{ m}^3/\text{s}$  napętnienie sztolni wyliczone teoretycznie wynosiło 0,75 m, a zmierzone 1,20 m. Odwrotnie, prędkości przepływu były mniejsze z pomiarów (rys. 5). Dla tego samego przepływu wynosiły odpowiednio: na modelu 2,17 m/s, a dla obliczeń teoretycznych 3,4 m/s.

W całym zakresie przepływów sztolnia pracuje bezciśnieniowo. Przy maksymalnych przepływach rzędna zwierciadła wody, mocno sfalowanego, dochodzi do 118,60 m npm, ale nie odnotowano przyssania strumienia do stropu.

Na rysunku 6 zaprezentowano ustalone położenie zwierciadła wody w sztolni oraz w wieży przelewowej dla przepływu  $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Rysunek 5.** Krzywe wydatków sztolni  
**Figure 5.** The tunnel flow discharge curve

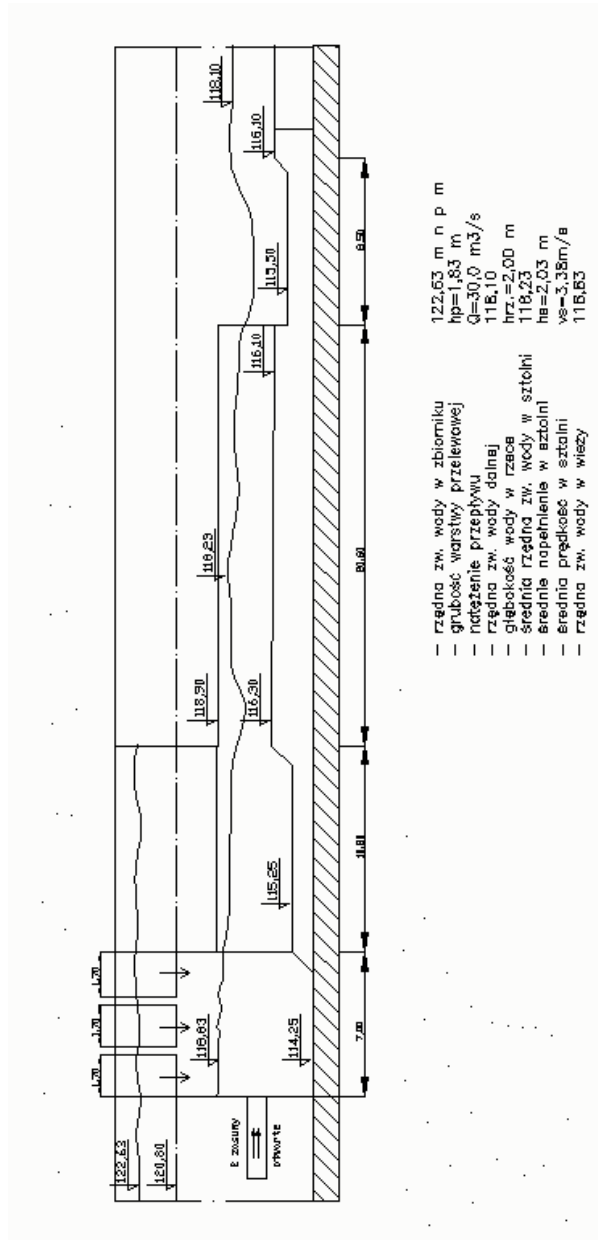
#### WNIOSKI

Przeprowadzone badania modelowe pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- pomierzone wydatki przelewu są większe od obliczonych wzorami teoretycznymi,
- pomierzone wydatki upustów są mniejsze niż określone we wzorach teoretycznych,
- zmierzone napelnienie sztolni, przy tym samym przepływie, jest większe niż wynikało to z obliczeń. Dla przepływów maksymalnych nie odnotowano przyssania strumienia do stropu sztolni,
- pomierzone prędkości wody w sztolni były mniejsze niż obliczeniowe.

Wyniki badań modelowych potwierdzają na ogół prawidłowość przyjętych rozwiązań projektowych dotyczące urządzeń zrzutowych. Różnice pomiędzy wynikami obliczeń teoretycznych i pomiarów pozwalają na skorygowanie wielkości natężenia przepływu przez przelew, upusty, sztolnie.

Według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie dla budowli hydrotechnicznych klasy I i II zdolność przepustową i kształty budowli hydrotechnicznych upustowych oraz urządzeń do rozpraszania energii wodnej należy sprawdzać za pomocą badań modelowych.



Rysunek 6. Położenie zwierciadła wody  
Figure 6. The water table

Autorzy, przedstawiając niniejszy artykuł pragną zwrócić uwagę na celowość prowadzenia badań na modelach fizycznych. Uzyskane w trakcie badań modelowych informacje zwiększają bezpieczeństwo budowli hydrotechnicznych i pozwalają na optymalizację rozwiązań projektowych, co wiąże się z kosztami realizacji inwestycji oraz z poprawnością eksploatacji budowli.

## BIBLIOGRAFIA

- Budowa zbiornika retencyjnego „Chwalimierz”*. Instrukcja gospodarowania wodą. Pracownia Projektowa „Water Service” Sp. z o. o. Wrocław 2006, maszynopis.
- Zbiornik „Chwalimierz”*. Notatki i obliczenia prowadzone przy opracowywaniu projektu budowlanego. Pracownia Projektowa Water Service Sp. z o. o. Wrocław 2006, rękopis.
- Depczyński W., Szamowski A. *Budowle i zbiorniki wodne*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa. 1997.
- Sobota J. *Hydraulika I mechanika płynów*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, 2003.

Prof. nadzw. Marian Mokwa  
Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji  
Instytut Inżynierii Środowiska  
Plac Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław  
tel. 320-55-83  
e-mail: marian.mokwa@up.wroc.pl

Beata Malczyńska  
Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji  
Instytut Inżynierii Środowiska  
Plac Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław  
e-mail: bmail@iis.ar.wroc.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. Włodzimierz Parzonka*