

WYZNACZENIE STREF ZMNIJSZONEJ PRĘDKOŚCI PRZEPLYWU W MAŁYM ZBIORNIKU WODNYM NA PODSTAWIE MODELOWANIA HYDRAULICZNYCH WARUNKÓW PRZEPLYWU

REVITALIZATION OF THE LITTLE RESERVOIR ON THE BASIS OF HYDRAULIC FLOW PARAMETERS MODELING

Andrzej Strużyński, Maciej Wyrębek

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Małe zbiorniki wodne są ważnym elementem programu małej retencji. Ze względu na niewielkie głębokości ulegają one zwykle szybkiemu załadowaniu. Przyczyną tego procesu są zbyt małe prędkości przepływu wody, w ich następstwie w różnych częściach zbiorników dochodzi do przyspieszenia sedimentacji zawiesiny organicznej i nieorganicznej. W pracy określono przepływ wody przez zbiornik pińczowski podczas różnych stanów wody w Nidzie dla warunków istniejących i po wykonaniu dodatkowego kanału ulgi do rzeki. Prędkości występujące w zbiornikach wodnych są w wielu obszarach zbyt małe, aby można je było zmierzyć w sposób tradycyjny. Z tego powodu do określenia stref występowania obszarów zastoiskowych użyty został model dwuwymiarowy CCHE2D. Zaproponowano scenariusz pozwalający na poprawę warunków tlenowych w zbiorniku, a także na zmniejszenie intensywności osadzania materiału transportowanego do zbiornika poprzez wykonanie kanału ulgi.

Abstract. Small reservoirs are an important part of small retention. Due to their small depth, they are generally rapidly shallowing. The reason for this process are very low flow velocities in the separate parts of the reservoir, which contribute to accelerate the sedimentation of suspended organic or inorganic load. In this study the water surface elevation during different discharges in the artificial lake in Pińczów under the present conditions, and after an additional outlet channel to the river are calculated. Speeds of water present in the reservoir in a number of areas are too small to measure them. Therefore, to determine the occurrence of no flow areas the CCHE2D, two dimensional model has

* Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Andrzej Strużyński, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: rmstruzy@cyf-kr.edu.pl.

been used. Revitalization scenario proposed for improving the oxygen capacity, and also to reduce the intensity of the deposition of the transported material into the reservoir is presented.

Słowa kluczowe: modelowanie numeryczne, mały zbiornik wodny, załadowanie zbiornika, rewitalizacja

Keywords: numerical modeling, small reservoir, reservoir shallowing, revitalization

WSTĘP

Przepływowe zbiorniki wodne w górnych odcinkach rzek albo na dopływach większych rzek stanowią istotny element tzw. małej retencji. Litoral bywa często jedyną strefą występującą w tego typu zbiornikach. Są one zwykle dobrze nasłonecznione i natlenione, przez co mogą stanowić ważny element zróżnicowanych ekosystemów. Niestety, zdarza się, że eksploatacja tego typu zbiorników odbiega od wymagań stawianych przez Ramową Dyrektywę Wodną (RDW). Przepływ wody okazuje się niewystarczający lub dochodzi do zbyt wysokiej koncentracji przepływu w niewielkiej części zbiornika pomiędzy urządzeniami doprowadzającymi i odprowadzającymi wodę. Dodatkowo małe prędkości wody w zbiornikach w powiązaniu z przemianami bio- i fizykochemicznymi powodują nadmierne wytrącanie doprowadzanych unosin i biogenów. Postępujące wypływanie zbiorników sprzyja nadmiernej sukcesji roślinności przybrzeżnej. Powstałe w ten sposób siedliska są często niewłaściwe i prowadzą do powstania nietypowych dla danego regionu ekosystemów. W pracy rozpatrzono zmianę warunków przepływu wody w celu skrócenia czasu wymiany wody w małym zbiorniku wodnym w miejscowości Pińczów (woj. świętokrzyskie) poprzez wykonanie dodatkowego kanału ulgi do rzeki Nidy.

CEL I METODY BADAWCZO-OBLICZENIOWE

Celem pracy jest określenie rozkładu strug wody przepływającej wody przez zbiornik w Pińczowie w warunkach istniejących i po proponowanym wykonaniu dodatkowego kanału ulgi do rzeki Nidy. Potrzeba takiego rozwiązania jest skutkiem błędów konstrukcyjnych i wykonawczych zaistniałych podczas wykonywania przepustu pod drogą wojewódzką. Jego obecna przepustowość jest niewystarczająca i powoduje okresowe pojawianie się niedostatecznego natlenienia wody i nadmierną sedimentację materiału unoszonego [Bartnik i in. 2007]. Propozycję modyfikacji systemu zrzutu wody ze zbiornika poprzez wykonanie dodatkowego odprowadzalnika zaprezentował Strużyński [2007], określając warunki takiego rozwiązania. W niniejszym artykule autorzy przedstawiają wyniki modelowania numerycznego mającego na celu określenie stref aktywnej wymiany wody w zbiorniku przy istniejących i prognozowanych warunkach hydraulicznych. Sprawdzenie poprawności działania tej modyfikacji jest istotne ze względu na lokalizację w górnej części zbiornika kąpieliska zagrożonego zakwitami glonów oraz występowaniem populacji 5 gatunków cennych małży w jego dolnej części [Bartnik i inni 2007].

Modelowanie warunków istniejących przeprowadzono dla zmierzonego przepływu Q_1 wynoszącego $173 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$, reprezentującego przepustowość systemu obecnie odprowa-

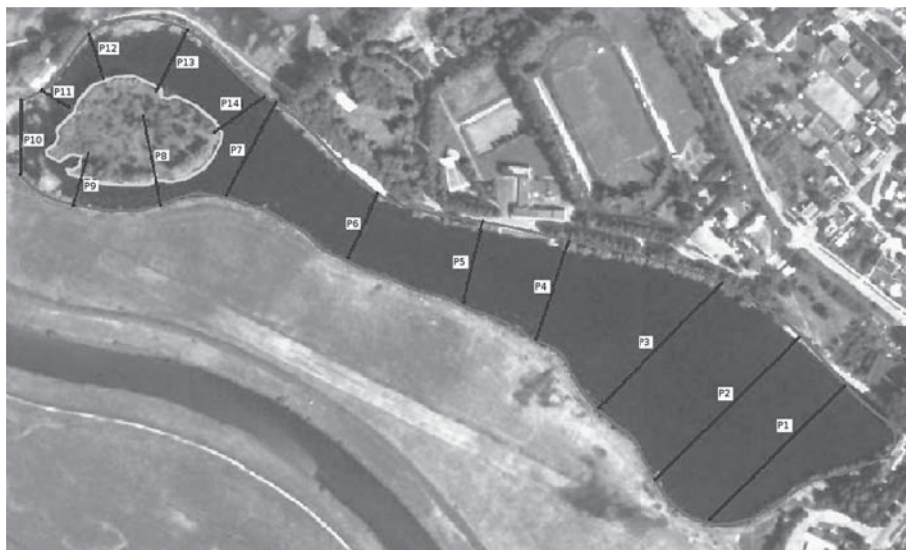
dzającego wodę ze zbiornika w normalnych warunkach eksploatacji. Następnie w warunkach dla pracy jednego odprowadzalnika wykonano model przepływu $Q_2 = 300 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ występującego podczas maksymalnego napełnienia zbiornika. Kolejnym krokiem było wykonanie symulacji dla prognozowanych warunków pracy zbiornika:

- $Q_3 = 320 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ – maksymalnej wydajności istniejącego odprowadzalnika podczas pracy dwóch odprowadzalników ($170 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ przez istniejący system O1 oraz $150 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ przez dodatkowy odprowadzalnik O2); jest to przepływ nieco większy od zagwarantowanego w pozwoleniu wodno-prawnym dla okresu jesienno-zimowego ($272 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$);
- $Q_4 = 630 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ – przepływu optymalnego dla wymiany wody w zbiorniku ($270 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ przez O1, $360 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ przez O2);
- $Q_5 = 1000 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ – przepływu określonego w pozwoleniu wodno-prawnym dla okresu od 1 VI do 31 VIII ($300 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ przez O1, $700 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ przez O2);
- $Q_6 = 1400 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ – przepływu będącego sumą maksymalnych wydatków obu odprowadzalników, zbliżonego do maksymalnego przepływu katastrofalnego, opisującego przepustowość doprowadzalnika i retencję zlewni cząstkowej zbiornika ($O1 = 300 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$, $O2 = 1100 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$).

Wpływ pracy dodatkowego systemu odprowadzenia wody ze zbiornika na rozmywanie dna koryta Nidy określili Strużyński i Wyrębek [2008 i 2009].

By osiągnąć założony cel, wykonano następujące jednorazowe pomiary w terenie:

- obrysu układu poziomego zbiornika oraz kanałów doprowadzającego i odprowadzającego za pomocą urządzenia GPS,
- głębokości zbiornika za pomocą sondowania,
- przekrojów poprzecznych w doprowadzalniku i terenie przyległym do zbiornika (rys. 1),
- prędkości przepływu wody.



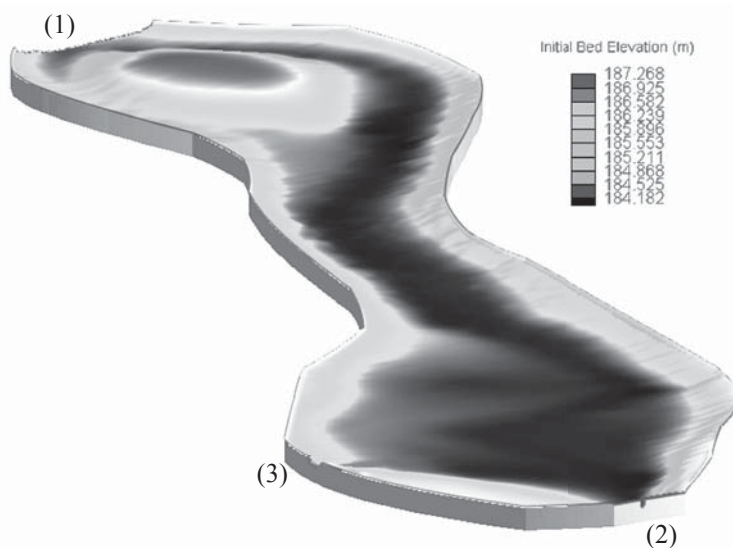
Rys. 1. Zbiornik pińczowski z naniesionymi przekrojami poprzecznymi

Fig. 1. Pińczowski reservoir with indication of the measured cross-sections

Ortofotomapa użyta do prac kameralnych charakteryzuje się wielkością piksela 0,25 m, co odpowiada mapie zasadniczej o skali 1 : 250. Pomiary geodezyjne wykonane zostały za pomocą tachimetru Topcon GTS 226 o dokładności optycznej 6". Przy średniej długości celowej wynoszącej 100 m błąd odczytu położenia zwierciadła wynosił $\pm 1,5$ cm.

Konfiguracja dna zbiornika zmierzona została za pomocą echosondy Humminbird Legend 1000 o dokładności pomiaru w wodzie słodkiej wynoszącej 3 cm. Urządzenie to ma funkcję „blokowania dna” i „podwójnego dna”. Funkcje te umożliwiły określenie miąższości warstwy nieskonsolidowanego materiału dennego zawierającego duże ilości materii organicznej. W ten sposób określono parametry zbiornika po jego uruchomieniu i w roku 2007, w którym dokonano pomiarów. Pomiary prędkości przeprowadzono za pomocą czujnika hydrodynamicznego Nautilus Sensa Z300. Dokładność pomiarowa tego urządzenia wynosi 1% zmierzonej prędkości. Przepływy obliczone na podstawie pomiarów w doprowadzalniku obarczone są błędem nieprzekraczającym $\pm 2,03 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Błąd odliczeń przepływów wody w doprowadzalniku wynoszących 160 i $173 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ ustalono na podstawie maksymalnych błędów występujących podczas pomiarów geometrii koryta i prędkości przepływu wody.

Zgromadzone dane pozwoliły na przygotowanie modelu numerycznego w programie CCHE2D. Modelowanie okazało się konieczne ze względu na występowanie w zbiorniku zbyt małych prędkości, aby można je było zmierzyć w sposób tradycyjny. Na rys. 2 przedstawiono model zbiornika. W lewym górnym rogu znajduje się starorzecze doprowadzające wodę do zbiornika (1), a w dolnej części zlokalizowane są odprowadzalniki: istniejący (2) i dodatkowy (3). Siatka modelu składa się z 36 000 węzłów. Model obejmuje 60 linii obrazujących przekroje poprzeczne, a w profilu podłużnym znajduje się 600 linii siatki.



Weryfikacja poprawności zadanych warunków brzegowych i początkowych w procesie modelowania przeprowadzona została dla warunków istniejących, czyli dla jednego odpływu zlokalizowanego w najdalej wysuniętej, wschodniej części zbiornika. W tym wariancie zmierzony i modelowany przepływ wynosił $173 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Weryfikacja wyników modelowania polegała na sprawdzeniu ułożenia zwierciadła wody w zbiorniku z rzędnymi zmierzonymi w trakcie pomiarów. W drugim etapie modelowania do istniejącego modelu dodano dodatkowy wylot i następnie wykonano obliczenia dla pozostałych przepływów.

MODEL HYDRAULICZNY

Program CCHE2D służy do tworzenia dwuwymiarowych modeli hydraulicznych umożliwiających obliczanie przepływów w korytach otwartych. Program pozwala na wykonywanie modeli ruchu zmiennego i ustalonego, a także turbulentnego i spokojnego wody w rzekach i zbiornikach. Możliwe jest również wykonanie obliczeń transportu rumowiska unoszonego i wlezonego [Duan i in. 2001, Jia i Wang 2001, Wu 2001, Zhang 2006]. W program wbudowane są równania elementów skończonych. Równanie ciągłości przyjmuje postać [Strużyński i Wyrębek 2008, 2009]:

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

równanie momentów:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{Cor}v \quad (2a)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{by}}{\rho h} - f_{Cor}u \quad (2b)$$

gdzie:

- u, v – prędkości zintegrowane na głębokości w kierunkach odpowiednio x i y ,
- g – przyspieszenie ziemskie,
- Z – położenie zwierciadła wody,
- ρ – ciężar objętościowy wody,
- h – napętnienie lokalne,
- f_{Cor} – parametr Coriolisa,
- $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{yy}$ – uśrednione na głębokości naprężenia Reynoldsa,
- τ_{bx}, τ_{by} – naprężenia styczne przy dnie.

W przedstawionych powyżej równaniach naprężenia Reynoldsa są obliczone przy zastosowaniu aproksymacji zaproponowanej przez Boussinesqa:

$$\begin{aligned}
 \tau_{xx} &= 2\nu_t \frac{\partial u}{\partial x} \\
 \tau_{xy} = \tau_{yx} &= \nu_t \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\
 \tau_{yy} &= 2\nu_t \frac{\partial v}{\partial y}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Dla ruchu burzliwego CCHE2D stosuje dwa równania lepkości burzliwej. Pierwsze jest parabolicznym równaniem wykorzystującym uśrednianie głębokości, w którym lepkość burzliwa jest obliczona za pomocą równania:

$$\nu_t = \frac{A_{xy}}{6} \kappa U^* h \tag{4}$$

gdzie:

- A_{xy} – edytowalny współczynnik lepkości burzliwej,
- κ – stała von Karmana,
- U^* – prędkość dynamiczna.

Drugie jest uśrednianym na głębokości modelem opartym na długości mieszania strugi:

$$\begin{aligned}
 \nu_t &= \bar{l}^2 \sqrt{2 \left(\frac{\delta u}{\delta x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\delta v}{\delta x} \right)^2 + \left(\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta x} \right)^2 + \left(\frac{\delta \bar{U}}{\delta z} \right)^2} \\
 \bar{l} &= \frac{1}{h} \int \kappa z \sqrt{\left(1 - \frac{z}{h} \right)} dz = \kappa h \int_0^1 \lambda \sqrt{1 - \lambda} d\lambda \approx \sim 0.267 \kappa h \\
 \frac{\partial \bar{U}}{\partial z} &= C_m \frac{U^*}{\kappa h}
 \end{aligned} \tag{5}$$

gdzie:

- C_m – współczynnik o wartości 2,34375, co powoduje, że paraboliczne równanie modelu uśrednionego na głębokości pokrywy dna jest zbieżne z uśrednianym na głębokości modelem opartym na długości mieszania strugi w przypadku występowania przepływu ustalonego o jednorodnym polu prędkości poziomych.

WYNIKI POMIARÓW

Powierzchnia zbiornika od ujścia doprowadzalnika (bez wyspy) wynosi w chwili obecnej 9,86 ha. Wyspa przy rzędnej zwierciadła wody 185,73 m n.p.m. zajmuje powierzchnię 1,15 ha. Wg opracowania z lutego 1973 [Opracowanie... 1973] pojemność projektowa zbiornika wynosiła 139 tys. m³. Na podstawie pomiarów przeprowadzonych w maju 2007 pojemność ta wynosi 113 tys. m³.

Dno w zbiorniku przeciętnie jest określone rzędą 184,29 m n.p.m., natomiast maksymalną głębokość zmierzono na poziomie 184,19 (napęlenie – 1,54 m). Napęlenie jest mniejsze od projektowanego (1973 – 1,94 m), co oznacza, że pokryło się ono około 40-centymetrową warstwą osadów [Bartnik i in. 2007].

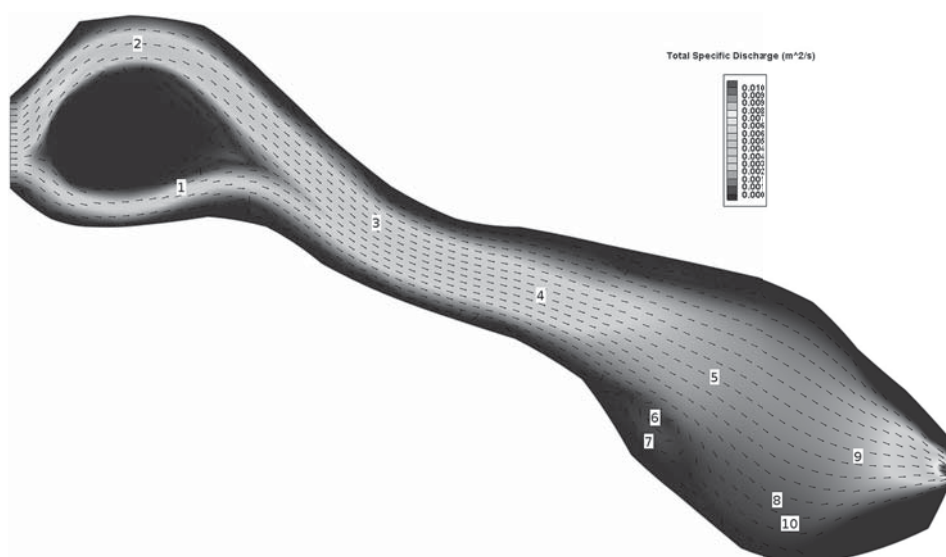
Przy obecnym przepływie występującym w zbiorniku nie ma możliwości wykonania pomiarów rozkładu strug wody. Woda może być uznana za stojącą, a na jej ruch i procesy mieszania decydujący wpływ mają: podłużny kształt zbiornika, wiatry i ekspozycja na promienie słoneczne. Zmierzone zamulenie zbiornika jest niewielkie, co oznacza, że proces postępuje dość wolno. Prędkość dopływającej wody jest niewielka i osady wytrącają się w doprowadzalniku i w górnej części zbiornika (głównie w jego prawej odnodze). Nieco więcej osadów można znaleźć również w ujściowej, lewej części zalewu, w pobliżu wybetonowanej skarpy. W okolicach prawej, poszerzonej części zbiornika osadów jest najwięcej. Powoduje to, że w dolnej prawej części zalewu wciąż mogą się rozwijać wartościowe gatunki małży – co zastanawiające, również tych, które preferują wody płynące.

WYNIKI MODELOWANIA

Podczas pomiarów terenowych zaobserwowano zmniejszenie przepływu przez prawą odnogę opływającą wyspę znajdującą się w górnej części zbiornika. Podział przepływu został odtworzony w symulacji przeprowadzonej w programie CCHE2D – miejsca próbkowania wyników symulacji przedstawiono na rys. 3. Ze względu na dużą liczbę przeprowadzonych symulacji wyniki zostały zestawione w formie wykresu (rys. 4)

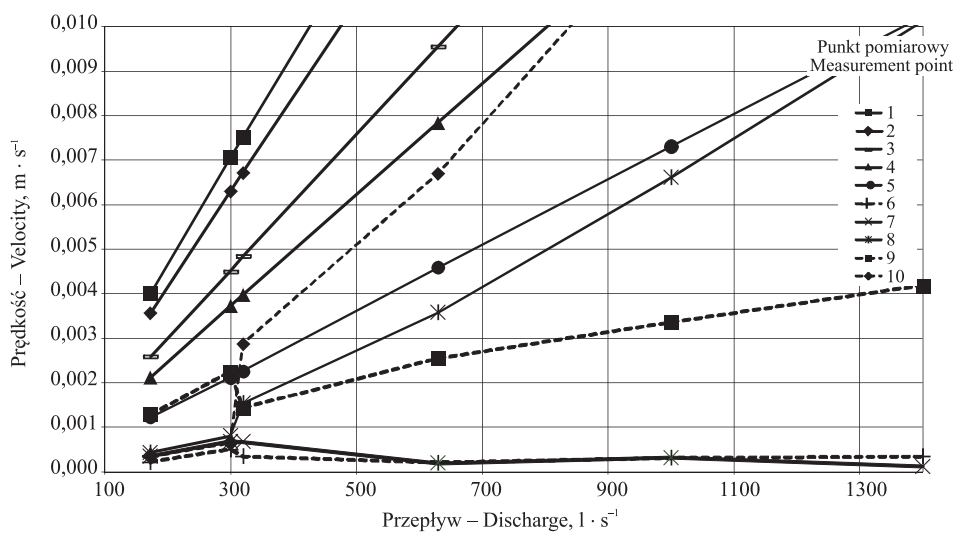
Na wykresie (rys. 4) uwzględnione zostały wyniki wszystkich sześciu modelowanych przepływów. Dwa najmniejsze (Q_1 i Q_2) obrazują wariant obliczeniowy z jednym, istniejącym urządzeniem spustowym. Pozostałe (Q_3 – Q_6) obrazują pracę zbiornika z dwoma odprowadzalnikami. Wykresy przedstawiające zależność prędkości od przepływu określone w punktach od 1 do 5 nie zależą od istnienia dodatkowego systemu odprowadzania wody. Zmiany przepływu powodują liniowe odzwierciedlenie zmian prędkości w tych punktach. Wyniki odczytane w punktach od 1 do 4 wskazują, że w górnej części oraz w węższym, środkowym obszarze zbiornika prędkość przepływu zależy od poboru wody.

Ten trend utrzymuje się również w środkowym obszarze poszerzonej, dolnej części zbiornika (punkt 5). Na obszarze przybrzeżnym (punkty 6 i 7) zaobserwowano występowanie zawirowania wody w przypadku wszystkich modelowanych przepływów. W tym miejscu dodanie drugiego odpływu powoduje zmniejszenie (i zapewne również stabilizację) prędkości. Wraz ze zmianą przepływu, zmienia się również kształt wiru. Zwiększony



Rys. 3. Wizualizacja rozdziału strug wody (przeływy jednostkowy) przepływającej przez zbiornik; miejsca próbkowania prędkości przepływu zaznaczono kolejnymi numerami

Fig. 3. Visualization of the water stream distribution in the reservoir; the flow velocity sampling places are indicated by number



Rys. 4. Wykres przedstawiający zależność prognozowanych prędkości w zbiorniku w Pińczowie od przepływu wody w jego czaszy

Fig. 4. On graph the prognosis of velocity-flow dependency in Pińczów reservoir is presented

przepływ w zbiorniku powoduje przygaszenie prędkości wody w strefie przybrzeżnej (punkt 7). Punkty znajdujące się najbliżej drugiego wylotu (punkty 8 i 10) reagują silnie na jego pracę, natomiast w obszarze leżącym blisko istniejącego odprowadzalnika (punkt 9), prędkości ulegają zmniejszeniu, a potem rosną prawie liniowo. W chwili obecnej, ze względu na małą przepustowość zbiornika prędkości sięgają $0,4 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Aby uwidocznić zmiany w dolnej części zbiornika, zmieniono skalę ujętych na wykresie prędkości. Z tego powodu wartości maksymalne prędkości zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Prędkości maksymalne w odczytane wybranych punktach modelu dla przepływu $Q_6 = 1400 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$

Table 1. Maximum velocities probed in chosen modeling points for discharge $Q_6 = 1400 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$

| Prędkość przepływu – Flow velocity $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0,033 | 0,029 | 0,021 | 0,017 | 0,010 | 0,0003 | 0,0001 | 0,010 | 0,004 | 0,019 |

W całym zbiorniku nawet podczas występowania przepływów katastrofalnych w czasie zbiornika prędkości nie przekraczają $10 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Podczas proponowanego ciągłego przepływu przez zbiornik w okresie letnim $630 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ prędkości średnie w czasie zbiornika zwiększą się do wartości nieprzekraczającej $1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Po zastosowaniu dwóch wylotów ze zbiornika możliwe będzie jego „przełukiwanie” co pewien czas w celu poprawy warunków tlenowych [Biedka i Dzieńis 2009, Strużyński i Wyrębek 2009]. Istniejące prędkości w warunkach ustalonych przepływu są zbyt małe, aby utrzymać zawiesinę i zbiornik spełnia funkcję osadnika. Ponieważ prędkości występujące w doprowadzalniku przy obecnie występujących przepływach bliskie są wartościom dopuszczalnym dla frakcji pylastych ($0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), przed zwiększeniem przepływu przez zbiornik zalecane jest oczyszczenie kanału doprowadzającego.

PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonych pomiarów terenowych i modelowania numerycznego uzyskano układ strugi wody rozprzestrzeniającej się w całym układzie hydraulicznym zbiornika i rzeki. Podczas modelowania uwzględniony został wpływ konfiguracji dna na układy strug.

Modelowanie przepływu przez stawy i sztuczne zbiorniki z przeprowadzeniem analizy wariantowej pozwoliło na określenie wytycznych do ich optymalnej eksploatacji w celu poprawy stanu wód i oddziaływania na środowisko. W rezultacie przeprowadzonych badań możliwe stało się wskazanie zakresu poprawnej eksploatacji i rewitalizacji zbiornika z uwzględnieniem jego pracy w warunkach normalnych i ekstremalnych.

Istniejące pozwolenie wodno-prawne zezwala w miesiącach letnich na pobór z rzeki $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Przepustowość obecnie funkcjonującego systemu odprowadzającego wodę ze zbiornika sięga $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ponieważ taki przepływ powoduje 7-dniowe zatrzymanie wody w zbiorniku, co jest przyczyną obecnego zamulania zbiornika, przy istniejącym dopływie biogenów zaleca się skrócenie czasu zatrzymania do 2–4 dni i przeprowadzenie

okresowego przepłukiwania zbiornika. Będzie to możliwe poprzez wykonanie dodatkowego kanału ulgi i wprowadzenie go najkrótszą trasą do koryta rzeki Nidy. Modelowanie za pomocą programu CCHE2D pozwoliło stwierdzić, że zwiększenie przepływu przez zbiornik spowoduje poprawę jakości wody w zbiorniku, a jednocześnie nie zmieni w znaczący sposób istniejących warunków siedliskowych, co jest bardzo ważne z punktu widzenia ochrony cennych siedlisk ginących małży bytujących w dolnej części zbiornika.

PIŚMIENNICTWO

- Bartnik W., Deńko S., Strużyński A., Zając T., 2004. Renaturyzacja obszaru zlewni Nidy. Koncepcja opracowana dla potrzeb ochrony zasobów przyrodniczych w związku z planami realizacji programu „NATURA 2000”. Wydawnictwo Drukrol s.c. Kraków.
- Bartnik W., Jelonek M., Strużyński A., Zając T., 2007. Koncepcja poprawy warunków użytkowania zalewu pińczowskiego. Wydział Ochrony Środowiska i Gospodarki Mieniem UM w Pińczowie, maszynopis.
- Biedka P., Dzieńis L., 2009. Modelowanie zmian stężenia tlenu rozpuszczonego w wodach jezior. *Rocz. Ochr. Środ.* 11, 849–861.
- Duan J.G., Wang S.S.Y., Jia Y., 2001. The applications of the enhanced CCHE2D model to study the alluvial channel migration processes. *J. Hydr. Res.* 39, 469–491.
- Jia Y., Wang S.S.Y., 2001. CCHE2D Two-dimensional hydrodynamic and sediment transport model for unsteady open channel flows over loose bed. The University of Mississippi, Rep. No. NCCHE-TR-2001-1.
- Pińczów-Zalew. Instrukcja utrzymania i eksploatacji budowli piętrzącej oraz zbiornika wodnego w Pińczowie. 1973. Biuro Projektów Budownictwa Komunalnego w Kielcach, inż. W Ziębiński, Miejski Ośrodek Sportu i Turystyki w Pińczowie, maszynopis.
- Strużyński A., 2007. Optymalizacja eksploatacji zalewu pińczowskiego w celu zmniejszenia jego zamulenia. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiejs.* 4(2), 179–188.
- Strużyński A., Wyrębek M., 2008. Evaluation of the Nida River main current below the perpendicular flood channel outlet. *Hydraulic Methods for Catastrophes: Floods, Droughts, Environmental Disasters*. The Institute of Geophysics, Monographic Volume, Polish Academy of Sciences, Ser. Hydrology, E-10 (406).
- Strużyński A., Wyrębek M., 2009. Modelowanie wpływu kanału ulgi ze zbiornika pińczowskiego na procesy hydromorfologiczne w uregulowanym odcinku rzeki Nidy. *Nauka Przyr. Technol.* 3(3), #102.
- Wu W., 2001. CCHE2D Sediment transport model (v.2.1). The University of Mississippi, Rep. No. NCCHE-TR-2001-3.
- Zhang Y., 2006. CCHE-GUI – Graphical Users Interface for NCCHE Model User’s Manual – Version 3.0. National Center for Computational Hydroscience and Engineering, School of Engineering, The University of Mississippi, MS 38677, <http://ncche.olemiss.edu>, pp. 1586.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 22.05.2013