

MODELOWANIE TRANSPORTU RUMOWISKA W ZBIORNIKU JEZIORO KOWALSKIE NA RZECE GŁÓWNEJ

Joanna Jaskuła¹, Joanna Wicher-Dysarz², Tomasz Dysarz², Mariusz Sojka¹

¹ Instytut Melioracji, Kształtowania Środowiska i Geodezji, Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań, e-mai: jaskula@up.poznan.pl; masojka@up.poznan.pl

² Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań, e-mail: jwicher@up.poznan.pl; dysarz@up.poznan.pl

STRESZCZENIE

Celem pracy była analiza zmian geometrii czaszy zbiornika wywołanych akumulacją rumowiska. Zbiornik Jezioro Kowalskie jest zbiornikiem dwustopniowym, górna część jest oddzielona od głównego zbiornika zaporą w Jerzykowie. Podjęto próbę określenia wpływu dwustopniowej budowy zbiornika na kształtowanie się układu dna przy różnych warunkach przepływu. Symulacje przeprowadzono za pomocą programu HEC-RAS 5.0.0 Beta. Natężenie transportu rumowiska obliczono dwoma formułami: England-Hansena oraz Meyer Peter i Mullera. Wyniki obliczeń wykazały, że zmiany położenia dna wywołane procesami erozji i akumulacji występują w wydzielonej części wstępnej. Przyjęte wartości przepływów nie mają istotnego wpływu na geometrię zbiornika głównego, jego układ jest podobny zarówno w zakresie przepływów od NNQ do WWQ. Wyniki wykazały, iż budowa zbiorników z wydzieloną częścią wstępną jest skutecznym rozwiązaniem zapobiegającym zamulaniu zbiorników retencyjnych.

Słowa kluczowe: zbiornik nizinny, rumowisko, zamulanie, HEC-RAS.

SIMULATION OF SEDIMENT TRANSPORT IN THE JEZIORO KOWALSKIE RESERVOIR LOCATED IN THE GLOWNA RIVER

ABSTRACT

The purpose of the presented research is the analysis of bed elevation changes caused by sediment accumulation in the Jezioro Kowalskie reservoir. The Jezioro Kowalskie reservoir is a two stage reservoir constructed in such a way that the upper preliminary zone is separated from the main part of the reservoir. The split of the reservoir parts is done with a small pre-dam, located in Jerzykowo town. The analysis of such a construction impact on changes of bed elevations in the reservoir in different flow conditions is presented. The HEC-RAS 5.0 Beta model is used for simulations. The sediment transport intensity is calculated from England-Hansen and Meyer-Peter and Muller formulae. The results showed the processes of sediment accumulation and slight erosion occurring in the preliminary zone of the reservoir. The choice of the flow intensity does not have a huge importance. Similar results are obtained for low as well as high flows. The results confirm, that two stage construction with separated preliminary zone is effective method preventing from the sedimentation of the reservoir.

Keywords: lowland reservoir, sedimentation, silting, HEC-RAS.

WSTĘP

Proces sedymentacji stanowi istotny problem szczególnie dla funkcjonowania sztucznych zbiorników retencyjnych. Problem ten był analizowany przez m.in. Dysarza i in. [2006], Michalca i in. [2006], Bashara i Khalifa [2009].

Akumulacja rumowiska w zbiornikach powoduje zmniejszenie ich pojemności, co prowadzi do tego, że zbiorniki tracą określone funkcje, dla których były projektowane m.in. zmniejsza się ich zdolność do ochrony przeciwpowodziowej [Brandt 2000, Revel i in. 2013]. Materiał zdeponowany w poszczególnych strefach zbiornika

podlega wyraźnej segregacji, w części wlotowej akumulowane jest rumowisko o grubszym uziarnieniu, materiał drobniejszy odkładany jest przy zaporze [Magilligan i Nislow 2005, Dysarz i in. 2006, Dysarz i Wicher-Dysarz 2011].

Intensywność procesu zamulania zbiorników oraz rodzaj materiału deponowanego w zbiornikach zależy od wielu czynników naturalnych i antropogenicznych [Banasik i Hejduk 2005, Dysarz i in. 2006, Michalec i in. 2006]. Do najważniejszych należy budowa litologiczna zlewni, rodzaj pokrywy glebowej i ukształtowanie terenu, warunki hydrometeorologiczne a także gospodarka wodna prowadzona na zbiorniku. Szybkość zamulania zbiornika związana jest z kształtem i wielkością czaszy [Salas i Shin 1999, Fleming i in. 2002]. Intensywność i przebieg procesów sedymentacyjnych jest większa w przypadku małych zbiorników wodnych [Michalec i in. 2006, Bąk i Dąbkowski 2013], dlatego poznanie i opis tego procesu ma szczególne znaczenie dla inżynierii hydrotechnicznej [Imanshoar i in. 2014]. Z kolei Siyam [2005] zwrócił uwagę na znaczenie właściwego rozpoznania procesów sedymentacji przy projektowaniu, eksploatacji i konserwacji zbiorników.

Jednym z rozwiązań konstrukcyjnych służących ograniczeniu procesu zamulania zbiorników retencyjnych jest ich dwustopniowa budowa [Paul i Pütz 2008, Dysarz i Wicher-Dysarz 2011, Wicher-Dysarz i Kanclerz 2012]. Górna część jest zazwyczaj stosunkowo mniejsza i pełni funkcję osadnika, część dolna natomiast to zbiornik główny, zawierający podstawowe pojemności użytkowe [Kasperek i in. 2007, Wicher-Dysarz i Kanclerz 2012]. Zbiornik wstępny projektowany jest przed zbiornikiem głównym, w części bocznej lub w cofce. Jego zadaniem jest przechwytywanie znacznej ilości rumowiska, dopływającego ze zlewni [Pikul i Mokwa, 2008]. Przykładem tego typu konstrukcji są zbiorniki: Stare Miasto na Powie, Radziny na Samie oraz Poraj na Warcie.

Celem niniejszej pracy była analiza transportu rumowiska w obrębie zbiornika retencyjnego Jezioro Kowalskie położonego na rzece Główniej. Głównym zamierzeniem była ocena wpływu zbiornika wstępnego na funkcjonowanie części głównej w aspekcie ochrony jego pojemności użytkowej. Przeprowadzone obliczenia pozwoliły na wyznaczenie strefy w których zachodzące procesy hydromorfologiczne istotnie wpływają na kształtowanie się dna zbiornika.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU I WYKORZYSTANE MATERIAŁY

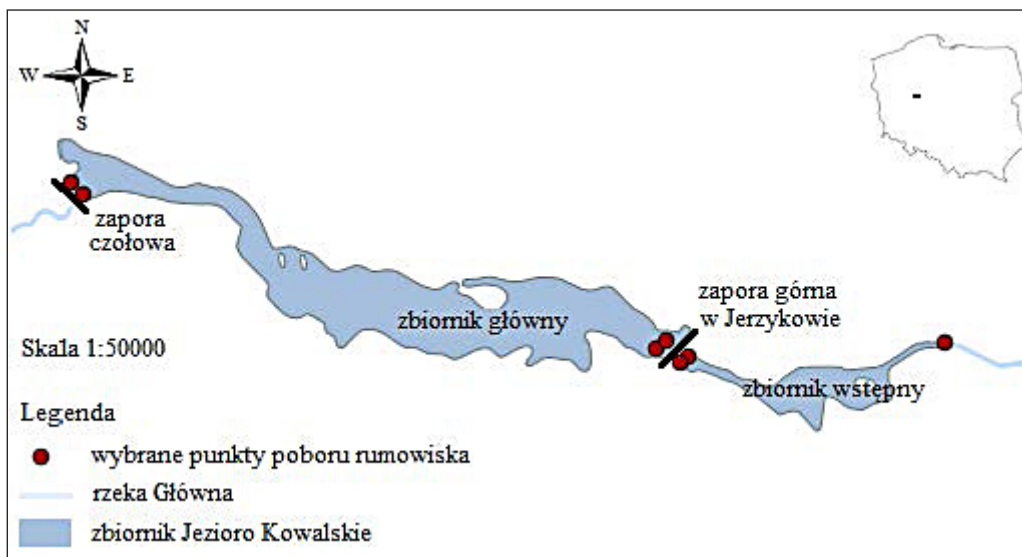
Jezioro Kowalskie jest zbiornikiem zaporowym położonym na rzece Główniej. Rzeka Główna jest prawym dopływem rzeki Warty uchodzącym do niej na terenie miasta Poznań. Powierzchnia zlewni rzeki Główniej do profilu, w którym zlokalizowana jest zaporę czołowa wynosi 189,35 km². Całkowita powierzchnia zlewni wynosi 235, 81 km², a długość rzeki 43 km. Analizowana zlewnia położona jest w makroregionie Pojezierze Wielkopolskie, w mezoregionach Pojezierze Gnieźnieńskie i Równina Wrzesińska [Kondracki 2002].

Zbiornik Jezioro Kowalskie został wybudowany w 1984 roku, jego administratorem jest Wielkopolski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Poznaniu. Jezioro Kowalskie charakteryzuje się urozmaiconym kształtem w rzucie poziomym oraz rozwiniętą, dobrze wkomponowaną w teren linią brzegową, której długość wynosi 19,1 km. Długość zbiornika wynosi 7,10 km, średnia szerokość 0,27 km, głębokość natomiast waha się od 1,5 m do 6,5 m przy zaporze [Hydroprojekt, 2004].

Charakterystyczną cechą obiektu jest jego dwustopniowa budowa. Zbiornik wstępny pełni funkcję osadnika, zamyka go zaporę w Jerzykowie położona w km 19+888 biegu rzeki. Powierzchnia zbiornika wstępnego wynosi 40,4 ha a pojemność 0,59 mln m³. Natomiast zbiornik dolny zamyka zaporę czołową usytuowaną w km 15+423 biegu rzeki. Pole powierzchni zbiornika głównego wynosi 162,8 ha a pojemność 5,99 mln m³.

Jezioro Kowalskie to zbiornik wielozadaniowy. Do jego najważniejszych zadań należy: wyrównanie przepływów rzeki Główniej, retencjonowanie wody na potrzeby rolnictwa oraz zmniejszenie zagrożenia powodziowego. Rezerwa powodziowa zbiornika Jezioro Kowalskie wynosi 0,613 mln m³. Zbiornik pracuje w cyklu wyrównawczym rocznym. Napełniany jest w okresie od marca do NPP (87,00 m n.p.m.) a w październiku jest opróżniany do poziomu MinPP (85,00 m n.p.m.).

Rzeka Główna jest rzeką kontrolowaną, posterunek wodowskazowy zlokalizowany jest w miejscowości Wierzenica. Powierzchnia zlewni do profilu wodowskazowego wynosi 222 km². Przepływy charakterystyczne, stanowiące podstawę oceny warunków panujących na rzece zostały określone na podstawie danych hydrologicznych udostępnionych przez IMGW [Jaskuła, 2014].



Rys. 1. Zbiornik Jezioro Kowalskie na rzece Główniej
 Fig. 1. Jezioro Kowalskie reservoir located in the Główna river

Średnie natężenie przepływu rzeki Główna w profilu Wierzenica w latach 1984–2012 wynosiło $0,63 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. W analizowanym wieloleciu przepływy wahały się od $\text{NNQ} = 0,01 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $\text{WWQ} = 6,08 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Średni roczny przepływ w półroczu zimowym wynosił $0,89 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ i był o ok. 59% wyższy w porównaniu z półroczem letnim. Średni roczny odpływ rzeki Główny w latach 1984–2009 był równy 20 mln m^3 , wskaźnik odpływu wyniósł natomiast był 90 mm. Biorąc pod uwagę wielkość zlewni, średni roczny spływ jednostkowy był równy $2,84 \text{ dm}^3 \cdot \text{km}^{-2}$.

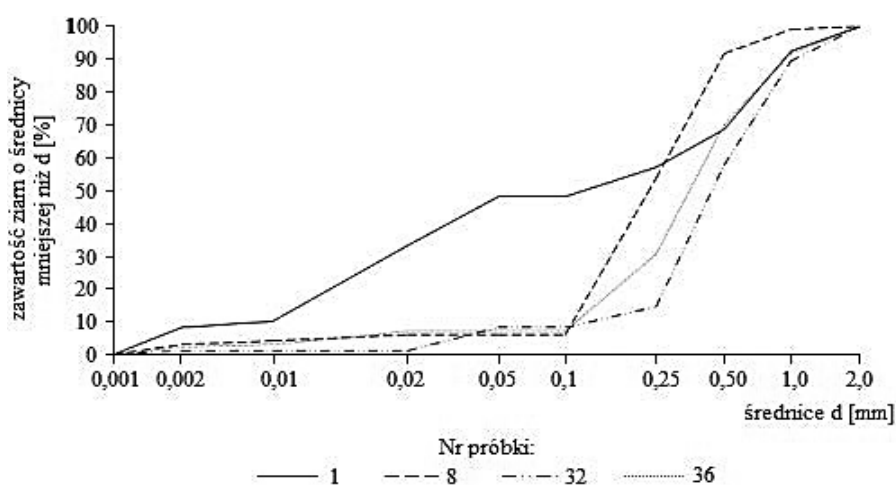
Do obliczeń transportu rumowiska w zbiorniku Jezioro Kowalskie pobrano próby osadów dennych ze zbiornika w 2011 i 2012 roku. Na podstawie pobranych 30 prób została przeprowadzona analiza składu granulometrycznego osadów den-

nych zgodnie z normą PN-R-04032:1998. Rodzaj zdeponowanego w zbiorniku rumowiska określono na podstawie analizy sitowej (rys. 2).

Analiza składu granulometrycznego osadów wykazała, że są to przede wszystkim piaski lub żwiry. Rumowisko o grubszym uziarnieniu osadza się we wlocie do zbiornika (próbka 8, 32, 36, rys. 2), materiał drobniejszy zdeponowany jest w pobliżu zapory oddzielającej zbiornik wstępny od głównego (próbka 1, rys. 2).

METODYKA

Geometrię zbiornika określono na podstawie 37 historycznych przekrojów poprzecznych oraz mapy sytuacyjno-wysokościowej w skali 1:500.



Rys. 2. Przykładowe krzywe uziarnienia próbek osadów ze zbiornika Jezioro Kowalskie
 Fig. 2. Grain-size distribution for sediment samples from Jezioro Kowalskie reservoir

Przekroje poprzeczne zostały pozyskane z operatu wodnoprawnego wykonanego w 1975 roku przez Hydroprojekt Poznań.

Na podstawie tablic Van Te Chowa, dla każdego z przekrojów oszacowano wartości współczynników szorstkości. Przyjęto $0,03 \text{ s m}^{-1/3}$ dla koryta głównego oraz $0,04 \text{ s m}^{-1/3}$ dla terenów zalewowych. Na podstawie instrukcji eksploatacji zbiornika wodnego Jezioro Kowalskie (Hydroprojekt, 2004) do geometrii wprowadzono również przelew wieżowy znajdujący się w zaporze czołowej zlokalizowanej w km 15+423 oraz zastawki znajdujące się na zaporze górnej w Jerzykowie (km 20+000). Analizy transportu rumowiska zostały wykonane za pomocą programu HEC-RAS 5.0 Beta. W tym celu należało przygotować dane opisujące geometrię Jeziora Kowalskiego oraz wykorzystano przepływy charakterystyczne opisane powyżej.

Konfiguracja symulacji transportu rumowiska obejmuje trzy podstawowe elementy: (1) charakterystykę składu granulometrycznego materiału transportowanego, (2) warunek określający natężenie transportu rumowiska w przekroju dopływowym, (3) wybór formuły wiążącej parametry przepływu i natężenie transportu rumowiska. Pierwszy z elementów określono na podstawie poboru próbek osadów dennych z Jeziora Kowalskiego. Dane te mają formę krzywych uziarnienia przygotowanych jako wynik analizy sitowej zgodnie z normą PN-R-04032:1998 (rys. 2). Drugi element, natężenie rumowiska na dopływie, określono za pomocą warunku typu „equilibrium load” dostępnego w HEC-RASie 5.0 Beta. Oznacza to pełne nasycenie strumienia rumowiskiem. Uwzględniając skład analizowanych próbek osadów dennych, który został sklasyfikowany jako piaski i żwiry, do symulacji transportu rumowiska wybrano dwie formuły, tzn. Engelunda-Hansena oraz Meyera-Petera i Mullera

Symulacja transportu rumowiska w Jeziorze Kowalskim została wykonana dla czteroletniego okresu czasu 2009–2012 r. przy założeniu 6 godzinowego kroku czasowego. Modelowanie parametrów przepływu wykonano za pomocą koncepcji ruchu quasi-nieustalonego. Analizowano dwa przypadki, tzn. (1) transport rumowiska z funkcjonującym zbiornikiem, (2) transport rumowiska na rzece bez zbiornika. W obu przypadkach na brzegu dopływowym wymuszano przygotowane wcześniej pseudo-hydrogramy przepływu o stałych wartościach. Przyjęte wartości przepływów były równe wyznaczonym przepływom charakte-

rystycznym. Dzięki tak przyjętej metodyce badań można było określić intensywność zamulania w zależności od zakresu zmienności przepływów, np. niskich, średnich, wysokich. Symulacje różniły się warunkami na brzegu odpływowym. Przyjęto, że warunkom opisującym standardowe funkcjonowanie zbiornika odpowiada stosowne piętrzenie zadane w dolnym przekroju. Zadawano wartość odpowiadającą NPP, tzn. 87 m n.p.m.. Z kolei warunkom sprzed wybudowania zbiornika odpowiadał swobodny przepływ modelowany poprzez zadanie głębokości normalnej.

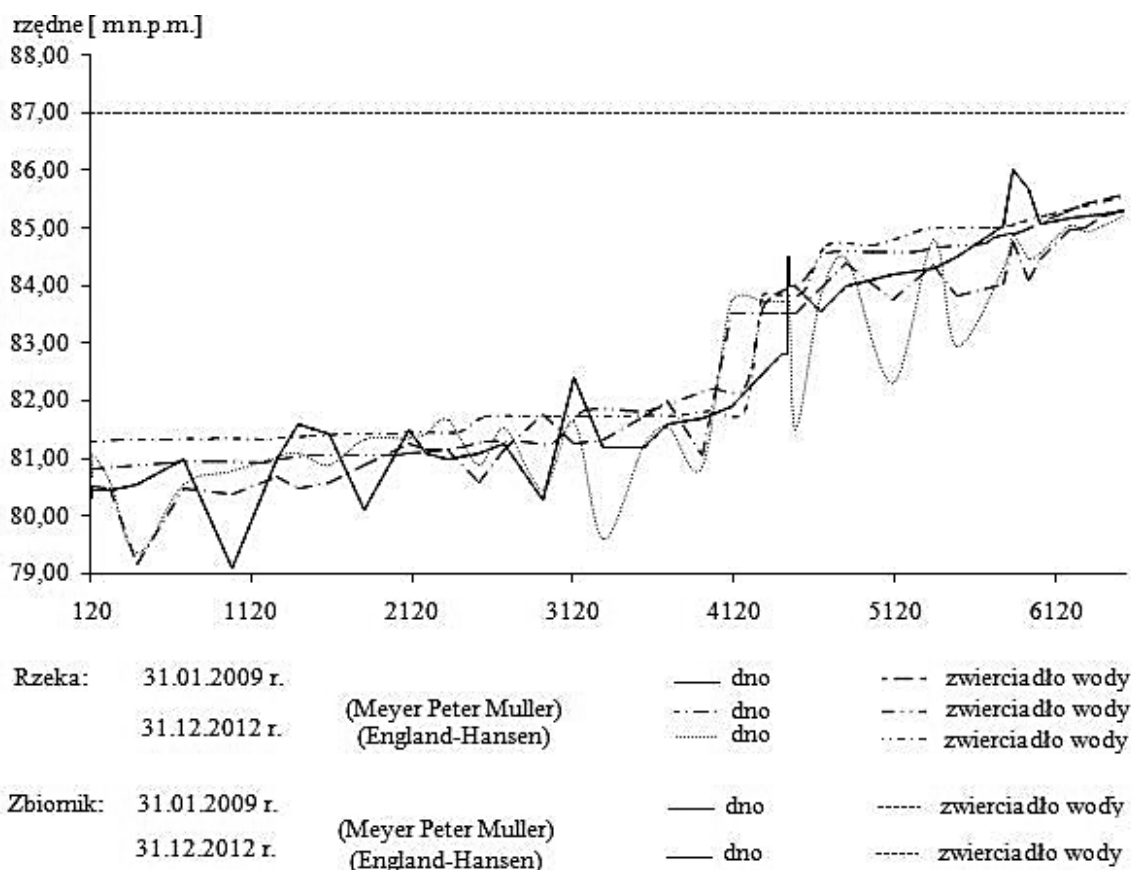
WYNIKI

W pierwszym etapie pracy sprawdzono wpływ zbiornika na kształtowanie się dna. W tym celu przeprowadzono symulacje zmian układu dna dla scenariusza bez piętrzenia (dla rzeki) oraz z piętrzeniem (dla zbiornika). Analiza została przeprowadzona w warunkach przepływu niskiego NNQ, średniego SSQ (rys. 3.) oraz maksymalnego WWQ.

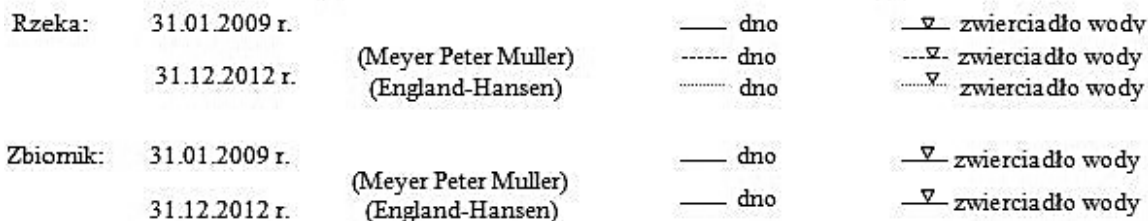
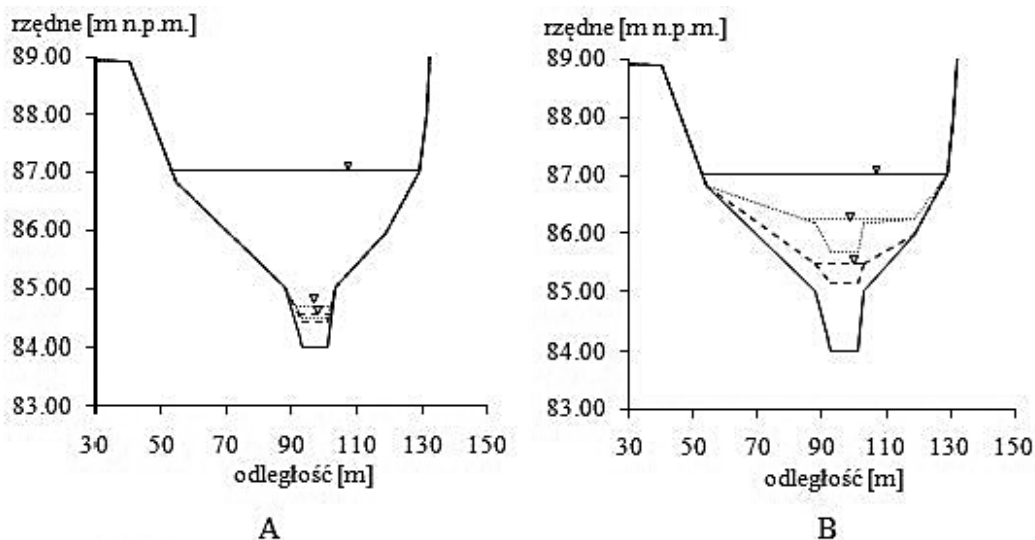
Analizując profile podłużne (rys. 3) można zauważyć, iż w warunkach funkcjonowania zbiornika przy założeniu przepływów średnich, zmiany układu dna są niezauważalne w przypadku obu wykorzystanych formuł. W przypadku scenariusza bez piętrzenia (rzeki) niezależnie od wybranej formuły zmiany układu dna są widoczne. Na podstawie uzyskanych wyników formułą Englanda-Hansena, pogłębienie dna dochodzi nawet do 2 m, maksymalne podniesienie dna natomiast ok. 1 m. W przypadku formuły Meyer Peter Mullera maksymalne obniżenie dna wywołane erozją wynosi 1,58m, podniesienie dna w wyniku akumulacji rumowiska natomiast 0,73 m.

Na rysunku 4. przedstawiono zmiany układu dna w przekroju poprzecznym nr 4,810 w warunkach przepływu średniego i maksymalnego.

Przeprowadzona analiza wykazuje, iż w przekroju 4.810 (rys. 4) przy scenariuszu z rzeką zachodzi znaczne podniesienie poziomu dna koryta w przypadku obu zastosowanych formuł. W 2009 roku dno ciekła znajdowało się na poziomie 84.00 m n.p.m. Uwzględniając wyniki analizy wykonanej przy wykorzystaniu formuły Englanda-Hansena, w warunkach przepływu maksymalnego WWQ w 2012 roku dno podniosło się o 2%, na poziom 85.66 m n.p.m. (rys. 4b). Przy przepływie średnim dno podniosło się o 0,49 cm (rys. 4a). Funkcjonowanie zbiornika nie powodowało w



Rys. 3. Profile podłużne dna rzeki i zbiornika dla przepływu średniego SSQ = 0,63 m³·s⁻¹ dla lat 2009–2012
 Fig. 3. Longitudinal profiles of bottom in river and reservoir for flow 0,63 m³·s⁻¹ in period 2009–2012



Rys. 4. Przekrój poprzeczny 4,810 w warunkach przepływu średniego SSQ = 0,63 m³·s⁻¹ (A) i przepływu maksymalnego WWQ = 6,08 m³·s⁻¹ (B) dla lat 2009–2012
 Fig. 4. Cross-section 4,810 for flow 0,63 m³·s⁻¹ (A) and for flow 6,08 m³·s⁻¹ (B) in period 2009–2012

tym przekroju procesów wywołujących zmianę układu dna.

Kolejnym etapem pracy było określenie wielkości zachodzących procesów sedymentacyjnych w zbiorniku uwzględniając jego dwustopniową konstrukcję. Analizę przeprowadzono w warunkach przepływu niskiego NNQ, średniego SSQ oraz maksymalnego WWQ. Na rysunku 5 przedstawiono zmianę układu dna w warunkach przepływu, maksymalnego WWQ. Zmiany układu dna w warunkach przepływu minimalnego NNQ i średniego SSQ są nieznaczne.

Na podstawie profilu podłużnego (rys. 5) można zauważyć, że przy przepływie maksymalnym WWQ układ dna w zbiorniku wstępnym wyraźnie się zmienia. Zmiany te są szczególnie widoczne przy jazie w Jerzykowie, który oddziela zbiornik wstępny od głównego oraz w części wlotowej rzeki Głównej do zbiornika.

W warunkach przepływu maksymalnego w zbiorniku wstępnym zachodzi proces erozji, który powoduje obniżenie dna. W ciągu czterech lat, na podstawie, których przeprowadzono symulacje można zaobserwować, że dno obniżyło się o ponad 2% (1,86 m). Pogłębienie dna występuje również w miejscu wpływu rzeki Głównej do zbiornika i wynosi ono 0,34 m, (z rzędnej 85,20 m n.p.m. do 84,86 m n.p.m.).

W części wstępnej zaobserwowano również zjawisko niewielkiego podnoszenia się dna (z rzędnej 85,08 m n.p.m. do 85,16 m n.p.m.) wy-

wołanego procesem akumulacji materiału ziarnowego. W środkowej części zbiornika wstępnego zmiany układu dna wywołane procesami erozji i akumulacji nie są widoczne.

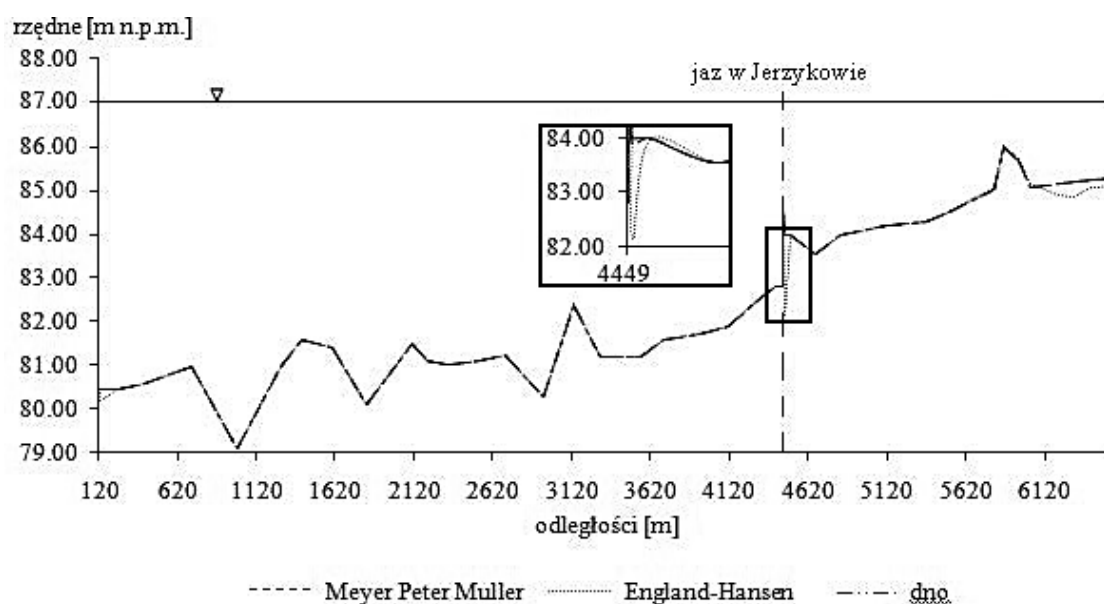
W części górnej zbiornika zmiany zachodzą jedynie przy zaporze czołowej zlokalizowanej w 15+423 km. Dno w tym miejscu w 2012 r. obniżyło się o 0,26 m w porównaniu z 2009 r., z rzędnej 80,44 m n.p.m. na 80,18 m n.p.m. (rys. 6a). W pozostałej części zbiornika głównego dno w ciągu trzech lat objętych symulacją pozostaje stabilne (rys. 6b).

Należy również zwrócić uwagę, że procesy erozyjne w większości z analizowanych przekrojów poprzecznych zachodziły w miejscu dawnego koryta rzeki Głównej.

PODSUMOWANIE

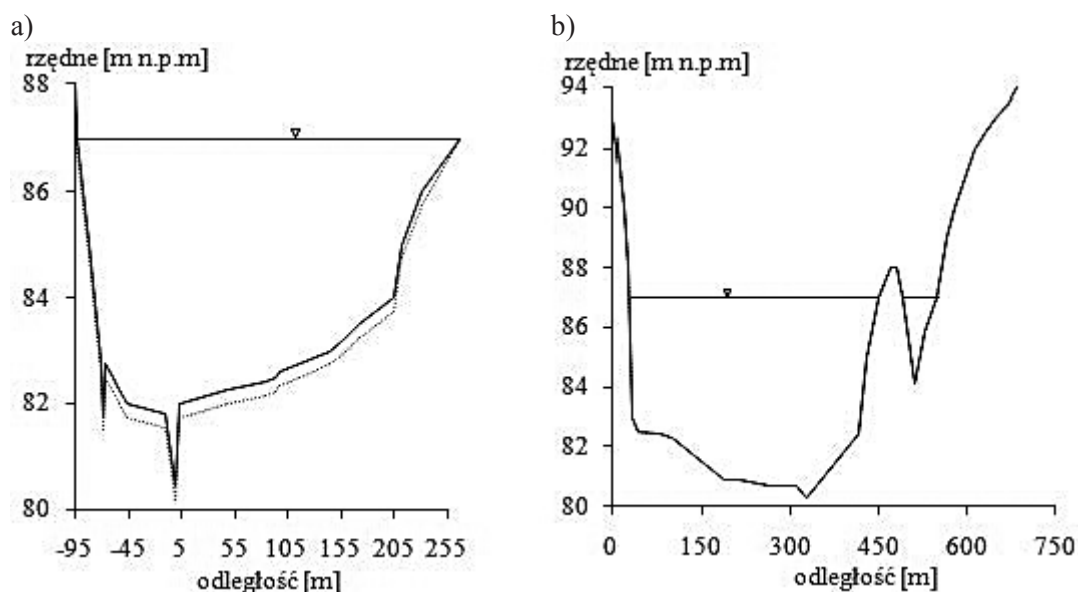
Przeprowadzone badania dotyczyły zmian układu dna wywołanych procesami erozji i akumulacji materiału ziarnowego. W pierwszym etapie porównano układy dna w warunkach z piętrzeniem (zbiornik) i bez piętrzenia (rzeka). Na podstawie wyników można stwierdzić, że funkcjonowanie zbiornika w sposób znaczący wpływa na przebieg procesów hydrodynamicznych.

Przeprowadzone badania potwierdzają także skuteczność stosowania zbiorników wstępnych jako formy zabezpieczenia podstawowych po-



Rys. 5. Profil podłużny zbiornika Jezioro Kowalskie w warunkach przepływu wielkiego WWQ = $6,08 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (NPP = 87,00 m n.p.m.) dla lat 2009–2012

Fig. 5. Longitudinal profile of bottom in reservoir Jezioro Kowalskie for flow $6,08 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (normal water level equal to 87,00 m a.s.l.) in period 2009–2012



Rys. 6. Przekroje poprzeczne 0,130 (a) i 2,930 (b) zbiornika głównego dla przepływu maksymalnego $WWQ = 6,08 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (NPP = 87,00 m n.p.m.) dla lat 2009–2012

Fig. 4. Cross-sections 0,130 (a) and 2,930 (b) for flow $6,08 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (normal water level equal to 87,00 m a.s.l.) in period 2009–2012

jemności zbiornika głównego. Tego typu rozwiązanie pozwala na skupienie procesów rumowiskowych w części wstępnej co pozwala także na bardziej precyzyjną ich kontrolę. Zaobserwowane na podstawie symulacji znaczne pogłębienia dna w pobliżu zapory w Jerzykowie i zapory czołowej, znajdują swoje potwierdzenie w przeprowadzonych badaniach terenowych.

LITERATURA

- Banasik K., Hejduk L. 2005. Badania granulometrii rumowiska unoszonego w małej rzece nizinnej. *Acta Agrophysica*, 5(2), 253–262
- Bąk Ł., Dąbkowski S.L. 2013. Spatial distribution of sediments in Suchedniów reservoir. *Journal of Water and Land Development*, 19(1), 13–22.
- Bashar K.E., Khalifa E.A. 2009. Sediment accumulation in roseires reservoir. improved water and land management in the Ethiopian Highlands: Its impact on downstream stakeholders dependent on the Blue Nile. 89–99.
- Brandt S.A. 2000. Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena*, 40(4), 375–401.
- Dysarz T., Wicher-Dysarz J., Przedwojski B. 2006. Man-induced morphological processes in Warta river and their impact on the evolution of hydrological conditions. [in:] Ferreira R.M.L., Alves E.C.T.L., Leal J.G.A.B., Cardoso A.H. (eds.): *River Flow 2006*, Taylor & Francis Group, 1301–1310.
- Dysarz T., Wicher-Dysarz J. 2011. Application of hydrodynamic simulation and frequency analysis for assessment of sediment deposition and vegetation impacts on floodplain inundation. *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(6), 1441–1451.
- Fleming S., Marsh Lavenue A., Aly A., Adams A. (2002). Practical applications of spectral analysis of hydrologic time series. *Hydrological Processes*, 16(2), 565–574.
- Hydroprojekt 2004. Aktualizacja instrukcji eksploatacji zbiornika wodnego Jezioro Kowalskie, Poznań
- Imanshoar F., Jahangirzadeh A., Basser H., Akib S., Kamali B., Tabatabaei M., Kakouei M. 2014. Reservoir sedimentation based on uncertainty analysis, abstract and applied analysis. Hindawi Publishing Corporation.
- Jaskuła J. 2014. Modelowanie transportu rumowiska w zbiorniku Jezioro Kowalskie na rzece Głównej. Praca magisterska.
- Kasperek R., Wiatkowski M., Czamara W. 2007. Ocena transportu rumowiska dopływającego do zbiornika Mściwojów. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 4/2.
- Kondracki J. 2002. *Geografia regionalna Polski*. PWN, Warszawa
- Magilligan F.J., Nislow K.H. 2005. Changes in hydrologic regime by dams. *Geomorphology*, 71, 61–78.
- Michalec B., Tarnawski M., Kupiec A. 2006. Prognoza zamulania małego zbiornika wodnego. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2/1.

15. Paul L., Pütz K. 2008. Suspended matter elimination in a pre-dam with discharge dependent storage level regulation. *Limnologica*, 38, 388–399
16. Pikul K., Mokwa M. 2008. Wpływ osadnika wstępnego na proces zamulania zbiornika głównego. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 40, 185–193.
17. Revel N.M.T.K., Ranasiri L.P.G.R., Rathnayake R.M.C.R.K., Pathirana K.P.P. 2013. Estimation of sediment trap efficiency in reservoirs – an experimental study. *European International Journal of Science and Technology*, 134–146.
18. Salas J., Shin H. 1999. Uncertainty analysis of reservoir sedimentation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(4), 339–350.
19. Siyam A. 2005. Assessment of the current state of the Nile Basin reservoir sedimentation problems, Nile Basin Capacity Building Network (NBCBN), River morphology Research Cluster, Group 1.
20. Wicher-Dysarz J., Kanclerz J. 2012. Funkcjonowanie małych zbiorników nizinnych z wydzieloną częścią wstępną na przykładzie zbiorników Jezioro Kowalskie i Stare Miasto. *Rocznik Ochrony Środowiska*, 14, 885–897.