

Dział: Melioracje i Inżynieria Środowiska

ISSN 1897-7820

http://www.npt.up-poznan.net/tom1/zeszyt2/art_31.pdf

Copyright ©Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu

BOGUSŁAW PRZEDWOJSKI, MICHAŁ WIERZBICKI, JOANNA WICHER-DYSARZ,
NATALIA WALCZAK

Katedra Budownictwa Wodnego
Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu

STAN ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO POWYŻEJ ZBIORNIKA JEZIORSKO*

Streszczenie. W pracy przedstawiono ocenę przepustowości koryta wód wielkich rzeki Warty powyżej zbiornika Jeziorsko. Na podstawie pomiarów terenowych określono zmiany spowodowane procesem sedymentacji rumowiska i porostem roślinności wysokopiennej (drzewa i krzewy), występujących w latach 1991-2006. Do oceny przepustowości koryta zastosowano równania Saint-Venanta opisujące nieustalony jednowymiarowy przepływ w korytach otwartych. Obliczenia wykonano na odcinku od wodowskazu Sieradz (w km 520+850) do stanowiska dolnego zapory (w km 483+300). W obliczeniach na modelu matematycznym odwzorowano przebieg fali wezbrania, obserwowany w lipcu i sierpniu 1997 roku. Weryfikację współczynników szorstkości aktualnego stanu koryta w 2006 roku określono na podstawie pomiarów układu zwierciadła wód wielkich 5 kwietnia 2006 roku przy przepływie $WWQ = 185 \text{ m}^3/\text{s}$. Obliczenia wykazały znaczne zmniejszenie przepustowości koryta wód wielkich w cofce zbiornika. W odniesieniu do stanu koryta występującego w 1985 roku, poziom wody w 2006 roku, przy przepływach wód wielkich od $250 \text{ m}^3/\text{s}$ do $400 \text{ m}^3/\text{s}$, podniósł się od 0,65 m do 0,93 m.

Słowa kluczowe: powódź, roślinność, akumulacja w zbiorniku, modelowanie ruchu nieustalonego

Wstęp

Zbiorniki wodne są istotnym elementem zabezpieczenia przed negatywnymi skutkami ekstremalnych zjawisk hydrologicznych, tj. dużymi wezbraniem powodziowymi i suszami. Zbiorniki nizinne powodują zmiany reżimu hydrologicznego rzeki oraz sedymentację rumowiska w jego czaszy. Przy zmianach poziomów piętrzenia wody, jak w wypadku zbiornika Jeziorsko, następuje rozwój roślinności krzewiastej w górnej

* Praca jest finansowana w ramach środków przyznanych przez Komitet Badań Naukowych na realizację projektu 2 P06S 034 30.

części czaszy zbiornika. Intensywny rozwój tej roślinności występuje również na terenach zalewowych koryta wód wielkich, szczególnie gdy tereny te nie są wykorzystywane przez rolników jako łąki lub pastwiska.

Celem pracy jest ocena obecnego stanu czaszy zbiornika i terenów zalewowych koryta wód wielkich, mającego wpływ na bezpieczeństwo terenów chronionych w obszarze cofki zbiornika Jeziorsko. Do oceny podłużnego układu zwierciadła wody przy przepływach wód wielkich zastosowano model matematyczny niustalonego ruchu wody HEC-RAS (River Analysis System 2003). Obliczenia wykonano na odcinku o długości $L = 37,52$ km, tj. od wodowskazu Sieradz w km 520+850 do wodowskazu dolnego poniżej zapory czołowej zbiornika (WD II) w km 483+330.

Hydrologia Warty w przekroju wodowskazu Sieradz

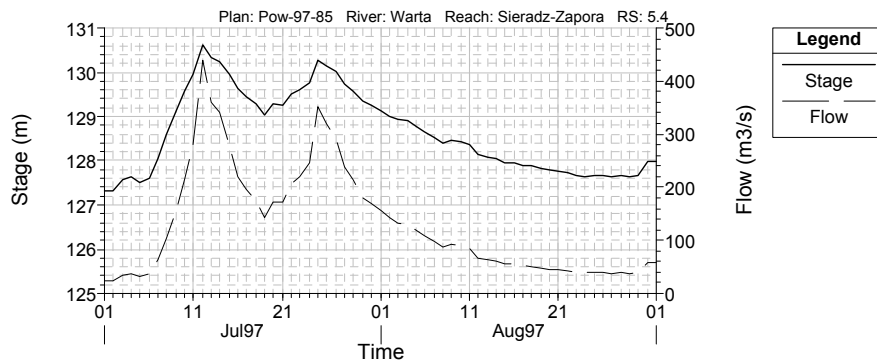
W przekroju wodowskazowym Sieradz powierzchnia zlewni rzeki Warty wynosi $A = 8140$ km². Przepływy charakterystyczne roczne Warty w przekroju wodowskazowym Sieradz z lat 1951-1998 wynoszą (ORŁOWSKI i GAJEWSKI 1999):

- $WWQ = 440$ m³/s – najwyższy z maksymalnych
- $SWQ = 157,6$ m³/s – średni z maksymalnych
- $SSQ = 44,9$ m³/s – średni roczny z wielolecia
- $SNQ = 17,8$ m³/s – średni z minimalnych.

W projekcie regulacji Warty w cofce zbiornika Jeziorsko (MATAN 1975) przyjęto następujące przepływy charakterystyczne:

- $Q_k = 644,0$ m³/s – przepływ kontrolny o prawdopodobieństwie $p = 0,5\%$
- $Q_m = 526,0$ m³/s – przepływ miarodajny o prawdopodobieństwie $p = 2\%$
- $SSQ = 42,0$ m³/s – przepływ średni roczny
- $SNQ = 18,4$ m³/s – przepływ średni z minimalnych.

Zmiany w czasie natężenia przepływów oraz stanów wody w przekroju wodowskazowym Sieradz podczas przejścia letniej fali wezbrania w 1997 roku pokazano na rysunku 1.

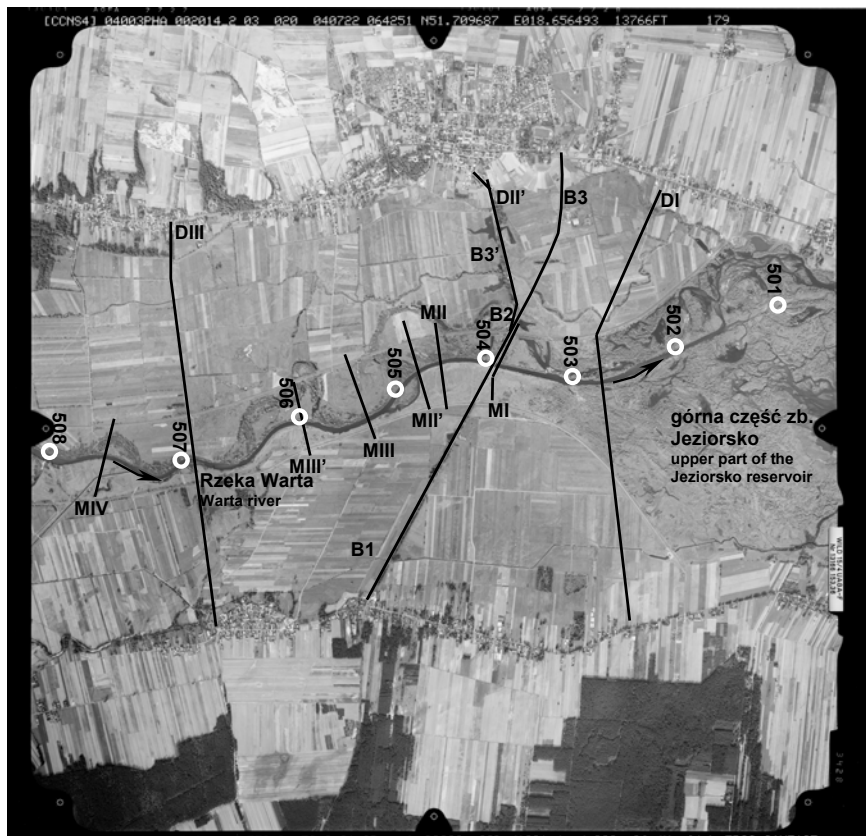


Rys. 1. Hydrogram stanów i przepływów Warty w przekroju wodowskazowym Sieradz
Fig. 1. Flow and stage hydrographs of the Warta River at Sieradz river gauge

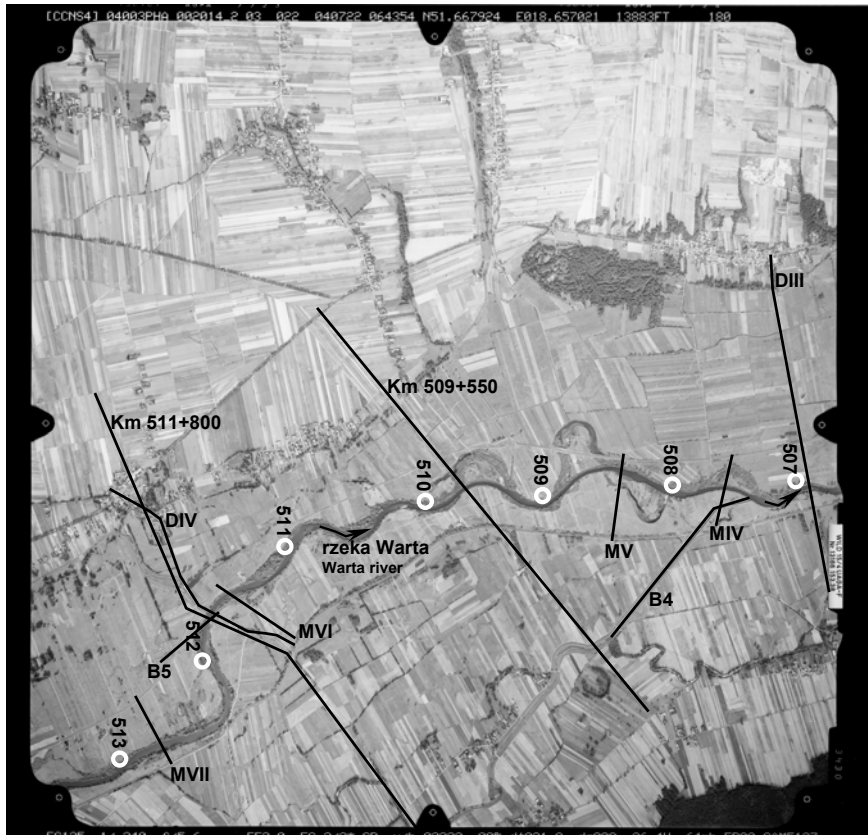
Pomiary terenowe

Geometria koryta wód wielkich

Napełnienie zbiornika do normalnego poziomu piętrzenia, tj. do rzędnej 121,50 m n.p.m., nastąpiło po raz pierwszy w 1991 roku. Od 1994 roku prowadzone są systematyczne pomiary geodezyjne przekrojów poprzecznych koryta i przekrojów dolinowych Warty na odcinku od km 495+000 do km 520+850 (PRZEDWOJSKI i NOWAK 1995, 1996, CICHY i MOJ 1998, PRZEDWOJSKI i IN. 1994, 2004, 2005). Zakres pomiarów obejmował górną część czaszy zbiornika oraz dolinę rzeki od zbiornika do wodowskazu Sieradz. Łącznie wykonano pomiary 50 przekrojów poprzecznych koryta rzeki, 10 przekrojów między wałami i 14 przekrojów dolinowych. Pomiary geodezyjne przekrojów i niwelacje zwierciadła wody wykonywano niwelatorem i taśmą mierniczą, a od 2004 roku pomiary prowadzono za pomocą GPS o dokładności pomiaru współrzędnych 2,5 mm i pomiaru rzędnych 5,0 mm. Lokalizację wybranych przekrojów dolinowych i przekrojów między wałami oraz kilometraż rzeki pokazano na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Zdjęcie lotnicze wlotowej części zbiornika Jeziorsko z 2004 roku
Fig. 2. Aerial photograph of the Jeziorsko reservoir inlet part (2004)



Rys. 3. Zdjęcie lotnicze doliny Warty powyżej zbiornika Jeziorsko z 2004 roku
 Fig. 3. Aerial photograph of the Warta River Valley upstream of the Jeziorsko reservoir (2004)

Podczas pomiarów pobierano próbki rumowiska dennego, a podczas pomiarów natężenia transportu rumowiska próbki rumowiska wlezonego do analiz granulometrycznych (PRZEDWOJSKI 1977). Średnice rumowiska wlezonego i dennego wynosiły: $D_{50} = 0,40$ mm, $D_{90} = 1,00$ mm. Dobowy, miesięczny i roczny transport rumowiska w przekroju wejściowym do zbiornika Jeziorsko oszacowano na podstawie wzorów van Rijna z 1984 roku (PRZEDWOJSKI 1998). Stałe do wzorów van Rijna weryfikowano na podstawie pomiarów natężenia ruchu rumowiska w korycie Warty w latach 1977-1995 oraz pomiarów w korycie rzeki Proсны. W zależności od hydrogramu przepływu wody na wlocie do zbiornika wielkość rocznego dopływu rumowiska do zbiornika jest zmienna i wynosi: w wypadku rumowiska wlezonego od ok. 21 000 m³/rok do ok. 54 000 m³/rok, a w wypadku rumowiska unoszonego od ok. 67 000 m³/rok do ok. 185 000 m³/rok. W okresie 15 lat piętrzenia wody w zbiorniku, od 1991 do 2006 roku sumaryczny dopływ rumowiska wlezonego do zbiornika wyniósł ok. 0,55 mln m³, a łączny dopływ rumowiska wlezonego i unoszonego – ok. 2,25 mln m³. Akumulacja rumowi-

ska w górnej części czaszy zbiornika spowodowała całkowite zasypanie nieuregulowanego odcinka koryta rzeki o długości 2,85 km (od km 497+800 do km 500+650) oraz uregulowanego w latach 1980-1985 koryta rzeki na długości ok. 0,850 km (od km 500+850 do km 501+700; por. rys. 2).

Krzewy i drzewa w czaszy zbiornika i na terenach zalewowych międzywala

Rozwój roślinności krzewiastej (krzewy wikliny) w górnej części czaszy zbiornika i na terenach zalewowych międzywala powyżej zbiornika obserwuje się od chwili zakończenia prac regulacyjnych w 1985 roku. Rozwój tej roślinności występuje w górnej części czaszy zbiornika, na odcinku o długości ok. 4,5 km, tj. od km 499,3 do mostu w miejscowości Warta w km 503+650 (rys. 2) oraz na terenach zalewowych powyżej zbiornika na odcinku o długości ok. 7,8 km, od mostu w miejscowości Warta do mostu w miejscowości Biskupice w km 511+400 (rys. 3).

Przed budową zbiornika tereny doliny Warty były własnością prywatną rolników i były wykorzystywane jako grunty rolne oraz łąki i pastwiska. Krzewy wikliny rosły w otoczeniu starorzeczy i oczek wodnych występujących w dolinie rzeki oraz wzdłuż brzegów koryta głównego. Wykup gruntów w czaszy zbiornika oraz na terenach zalewowych międzywala w obszarze cofki zbiornika przyczynił się do zaniku działalności rolniczej na tych obszarach. Przy jednoczesnym braku robót konserwacyjnych doprowadziło to do intensywnego rozwoju krzewów wikliny. Roślinność krzewiasta nie występuje w miejscach, gdzie tereny międzywala są wykorzystywane jako pastwiska.

Pomiary terenowe roślinności wykonane od 30 sierpnia do 3 września 2004 roku, 11-16 lipca 2005 roku i 5 kwietnia 2006 roku wykazały, że wysokość krzewów wikliny w czaszy zbiornika i na terenach zalewowych międzywala wynosi od 3,0 m do 5,0 m. Przy przepływach wód wielkich jest to roślinność niezatopiona. Średnice gałęzi krzewów wynosiły od 1 cm do 6 cm. Gęstość elementów roślinnych, określana jako liczba gałązek krzewów występująca na powierzchni jednostkowej, wynosiła od $m = 10 \text{ m}^{-2}$ do $m = 167 \text{ m}^{-2}$.

Model matematyczny

Model przepływu niustalonego

Na potrzeby praktyki inżynierskiej pełny opis niustalonego przepływu wolnoziemnego w korytach otwartych zapewnia układ równań różniczkowych de Saint-Venanta (KUBRAK 1998, PRZEDWOJSKI 1998, PRZEDWOJSKI i IN. 1995). Jedną z wersji stosowanych w praktyce jest forma zachowawcza dla koryt jednodzielnych o dowolnym kształcie przekrojów poprzecznych:

a) równanie ciągłości (równanie zachowania masy)

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

b) równanie dynamiki (równanie zachowania pędu)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g A \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) + g AI - g Ai = 0 \quad (2)$$

gdzie: Q – natężenie przepływu wody (m^3/s),
 A – powierzchnia przekroju poprzecznego (m^2),
 x – odległość (m),
 h – rzędna zwierciadła wody w przekroju poprzecznym (m n.p.m.),
 i – podłużny spadek dna,
 I – spadek linii energii,
 g – przyspieszenie ziemskie (m/s^2),
 t – czas.

W pracy wykorzystano wersję równań Saint-Venanta zastosowaną w pakiecie HEC-RAS, której podstawą są równania (1) i (2), dodatkowo zmodyfikowane w celu uwzględnienia terenów zalewowych (HEC-RAS 2003). Model ten odwzorowuje nieustalony przepływ wody we wszystkich możliwych przypadkach zabudowy koryt i dolin rzecznych.

Przy przepływie wody przez tereny porośnięte krzewami opory ruchu zależą od gęstości elementów roślin i ich średnicy oraz od tarcia o powierzchnię terenów zalewowych. Opływanie gałęzi krzewów generuje wiry dominujące nad innymi procesami. Przyjmuje się więc, że liniowa zależność drogi mieszania jest ważna jedynie w cienkiej warstwie przydennej, a powyżej tej warstwy długość drogi mieszania ma stałą wartość (KUBRAK i NACHLIK 2003). Wynika stąd, że powyżej warstwy przydennej prędkości w pionie strumienia mają stałą wartość, a rozkład prędkości na głębokości jest opisany linią pionową. Potwierdzają to pomiary laboratoryjne (KUBRAK i NACHLIK 2003, KUBRAK 2007) oraz pomiary terenowe (PRZEDWOJSKI i IN. 2005). Pomijając ciekłą warstwę przydenną, prędkość średnią w pionie strumienia – przy przepływie przez niezatopioną roślinność wysokopienną – określa zależność (KLOPSTRA i IN. 1997):

$$u = \sqrt{\frac{2gI}{C_d m d}} \quad (3)$$

gdzie: I – spadek linii energii wody,
 d – średnica elementów roślinnych (gałęzi krzewów) (m),
 m – gęstość elementów roślinnych na jednostkę powierzchni (m^{-2}),
 C_d – współczynnik oporów przy opływie gałęzi krzewów.

Na podstawie badań (ARMANINI i IN. 2005) przyjęto $C_d = 1,0$ dla krzewów bez liści (okres zimowy) i $C_d = 1,70$ dla krzewów z liśćmi (okres letni). Przy przepływie wody przez niezatopioną roślinność wysokopienną współczynnik szorstkości do wzoru Manninga n , określony z wzoru (3), przyjmuje postać:

$$n = H^{\frac{2}{3}} \sqrt{\frac{C_d m d}{2g}} \quad (4)$$

gdzie: H – głębokość wody (m).

Dane wejściowe do obliczeń

W obliczeniach wykorzystano zbiór danych wejściowych obejmujący wyniki pomiarów przekrojów poprzecznych koryta i doliny rzeki oraz układu podłużnego zwierciadła wody wykonanych w latach 1994-2006. Ponadto w obliczeniach wykorzystano rzędne dna i zwierciadła wody podane w projekcie regulacji Warty na odcinku cofki zbiornika (MATAN 1975). Obliczenia wykonano na odcinku o długości $L = 37,47$ km, od przekroju wodowskazu w Sieradzu w km 520+850 do przekroju wodowskazu dolnego poniżej zapory WD II w km 483+330. W obliczeniach przyjęto następujące dane wejściowe:

1. Górnym warunkiem brzegowym w przekroju Sieradz był hydrogram natężenia przepływów wody obserwowany podczas wezbrania letniego od 1 lipca do 31 sierpnia 1997 roku.

2. Dolnym warunkiem brzegowym była krzywa natężenia przepływów w przekroju wodowskazu dolnego zbiornika WD II w km 483+300.

3. Kształt przekrojów poprzecznych koryta wód wielkich dla stanu początkowego, po wykonaniu prac regulacyjnych w latach 1980-1985, opracowano na podstawie danych zamieszczonych w projekcie regulacji (MATAN 1975).

4. Kształt przekrojów poprzecznych koryta wód wielkich dla stanu aktualnego, obserwowanego w 2006 roku, opracowano na podstawie pomierzonych przekrojów poprzecznych w latach 2004-2005 oraz map sytuacyjno-wysokościowych czaszy zbiornika i terenów zalewowych koryta wód wielkich Warty, na odcinku od zbiornika do Sieradza, w skali 1:2000.

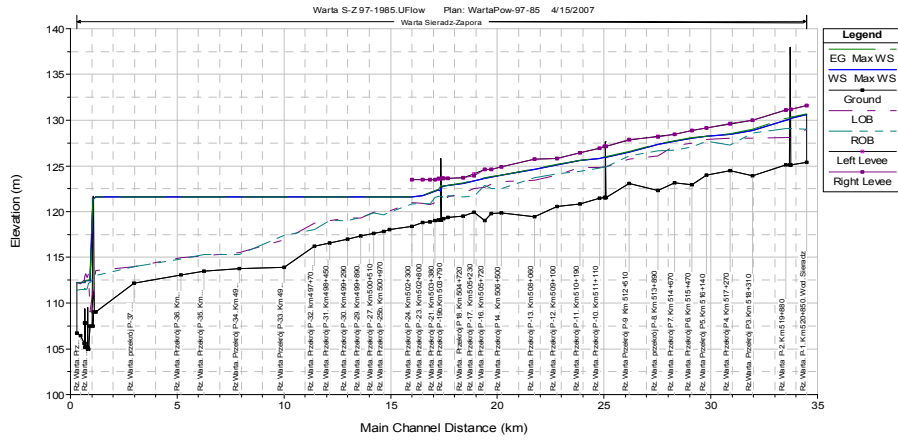
5. Początkowe wartości współczynników szorstkości dla terenów zalewowych międzywala i skarp koryta porośniętych roślinnością wysokopienną określono na podstawie zależności (4). Wartości m i d , występujące we wzorze (4), określono na podstawie pomiarów terenowych (PRZEDWOJSKI i IN. 2004, 2005). Końcowe wartości współczynników szorstkości określono na podstawie weryfikacji obliczonego układu zwierciadła wody z wynikami pomiarów terenowych 5 kwietnia 2006 roku przy przepływie wielkiej wody zimowej o $Q = 185$ m³/s.

Wyniki obliczeń układu zwierciadła wody

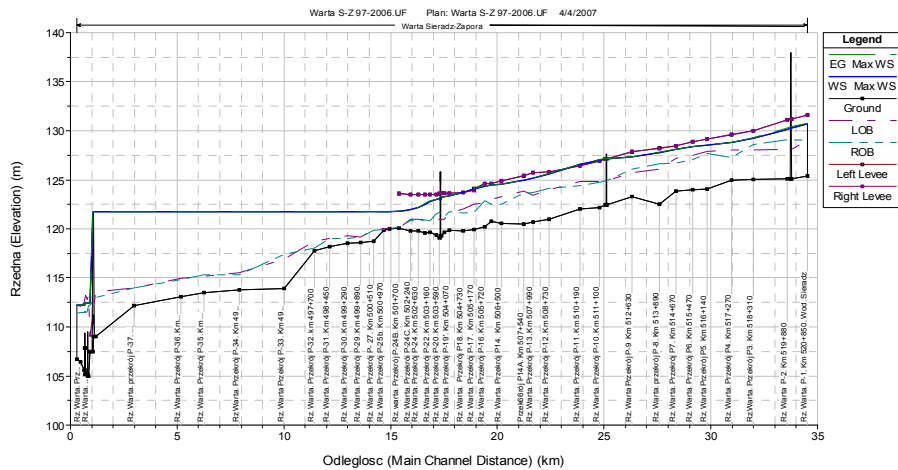
W celu oceny skutków akumulacji rumowiska i zarastania roślinnością krzewiastą górnej części czaszy zbiornika Jeziorsko oraz zarastania terenów zalewowych międzywala powyżej zbiornika wykonano obliczenia układu zwierciadła wody na modelu matematycznym HEC-RAS (2003). W obliczeniach symulowano przepływ letniej fali powodziowej z 1997 roku (rys. 1) w trzech przypadkach stanu czaszy zbiornika oraz koryta i terenów zalewowych:

- 1) stanu początkowego po zakończeniu prac regulacyjnych w latach 1980-1985 roku
- 2) stanu aktualnego w 2006 roku, przy przepływach w warunkach zimowych
- 3) stanu aktualnego w 2006 roku, przy przepływach w warunkach letnich.

Wyniki obliczeń układu zwierciadła wody dla stanu początkowego, po wykonaniu prac regulacyjnych, pokazano na rysunku 4, a dla stanu aktualnego w 2006 roku – na rysunku 5. Na wymienionych rysunkach przedstawiono maksymalny poziom zwierciadła wody, obliczony przy przejściu fali wezbrania w warunkach zimowych, o przepływie maksymalnym $Q = 440$ m³/s równym przepływowi kulminacyjnemu letniej fali powodziowej w 1997 roku. Z obrazu pokazanego na rysunku 4 wynika, że w warunkach hydraulicznych



Rys. 4. Maksymalny poziom zwierciadła wody w czasie przejścia fali wezbrania z 1997 roku w warunkach stanu koryta po wykonaniu prac regulacyjnych w 1985 roku
 Fig. 4. Maximum water surface elevation during 1997 flood at the bed conditions after river regulation works in 1985



Rys. 5. Maksymalny poziom zwierciadła wody w czasie przejścia fali wezbrania z 1997 roku w warunkach stanu koryta w okresie zimowym 2006 roku
 Fig. 5. Maximum water surface elevation during 1997 flood at the winter bed conditions in 2006

koryta po wykonaniu robót regulacyjnych przepustowość koryta jest wystarczająca, a maksymalny poziom zwierciadła wody układa się od 0,51 m do 1,20 m poniżej korony wałów przeciwpowodziowych. Z obrazu pokazanego na rysunku 5 wynika, że w warunkach hydraulicznych koryta, obserwowanych w kwietniu 2006 roku, poziom zwierciadła wody przekracza rzędne korony wałów przeciwpowodziowych powyżej zbiornika, na odcinku od mostu drogowego w miejscowości Warta (km 503+660) do mostu w Biskupicach (km 511+400). Największe zagrożenie występuje bezpośrednio powyżej mostu

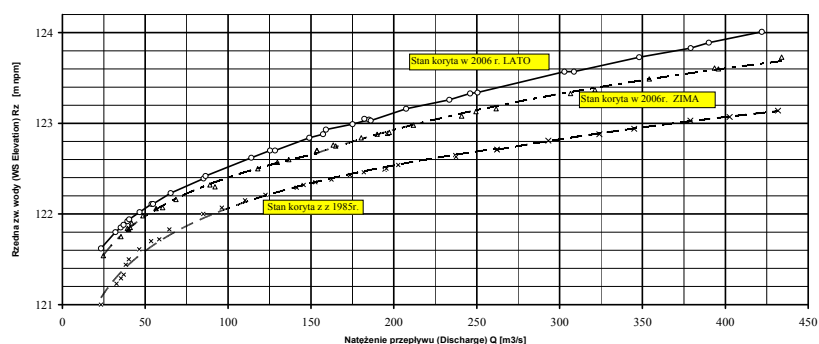
w Warcie, na odcinku od km 503+700 do km 506+500. Maksymalne rzędne zwierciadła wody oraz rzędne korony wałów dla tego odcinka zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Maksymalne poziomy zwierciadła wody oraz rzędne wałów przeciwpowodziowych
Table 1. Maximum water surface elevation and levee elevation

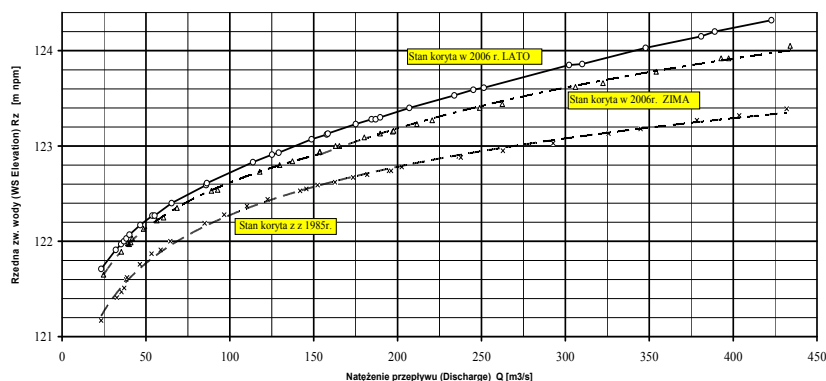
Kilometr	Rzędna wałów	Maksymalny poziom zwierciadła wody		
		1985 r.	zima 2006 r.	lato 2006 r.
503+700	123,60	122,73	123,23	123,50
503+840	123,60	122,77	123,27	123,53
504+070	123,47	122,85	123,33	123,57
504+730	123,60	123,09	123,73	124,01
505+230	123,91	123,35	124,05	124,39
505+720	124,45	123,66	124,32	124,65
506+030	124,50	123,80	124,47	124,79
506+500	124,85	123,98	124,54	124,86

W tabeli 1 podano również maksymalne rzędne zwierciadła wody w warunkach hydraulicznych przepływu w okresie letnim 2006 roku. Pojawienie się liści na krzewach wpływa na dodatkowe podniesienie poziomu zwierciadła wody o ok. 26-28 cm.

W celu określenia bezpiecznych warunków przepuszczania wód wielkich opracowano krzywe natężenia przepływu w przekroju P-18 w km 504+730 (rys. 6) i P-17 w km 505+230 (rys. 7). Warunkiem bezpiecznego przejścia fali wezbrania jest położenie zwierciadła wody min 0,50 m poniżej korony wałów. Z obrazu pokazanego na rysunkach 6 i 7 wynika, że przy stanie zarastania koryta i terenów zalewowych, obserwowanych w 2006 roku, przepustowość koryta w okresie zimowym wynosi $Q = 250 \text{ m}^3/\text{s}$, a w okresie letnim $Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$. Oznacza to zmniejszenie bezpiecznej przepustowości koryta wód wielkich Warty powyżej zbiornika o ok. 50%.



Rys. 6. Krzywe natężenia przepływu Warty w przekroju P-18 w km 504+730
Fig. 6. Rating curve of the Warta River at cross section P-18 (km 504+730)



Rys. 7. Krzywe natężenia przepływu Warty w przekroju P-17 w km 505+230

Fig. 7. Rating curve of the Warta River at cross section P-17 (km 505+230)

Podsumowanie i wnioski

W pracy przedstawiono wyniki badań skutków akumulacji rumowiska i zarastania krzewami wikliny górnej części czaszy zbiornika Jeziorsko oraz zarastania terenów międzywala powyżej zbiornika. Badania dotyczą górnej części zbiornika o długości 9,25 km oraz koryta rzeki Warty o długości 17,25 km, od zbiornika do wodowskazu Sieradz. Analiza wyników badań obejmujących 15-letni okres piętrzenia wody w zbiorniku, w latach 1991-2006, pozwala stwierdzić, że:

1. Poniżej uregulowanego w latach 1980-1985 koryta rzeki Warty nastąpiło całkowite zasypanie nieuregulowanego koryta rzeki. Zjawisko wystąpiło na odcinku o długości ok. 2,85 km.

2. Nastąpiło całkowite zasypanie końcowego odcinka uregulowanego koryta rzeki na długości ok. 850 m. Koryto rzeki zostało zasypane do poziomu przyległego terenu o rzędnej 120,70 m n.p.m.

3. Od momentu zakończenia prac regulacyjnych w 1985 roku obserwuje się intensywny rozwój roślinności krzewiastej (krzewy wikliny) w górnej części czaszy zbiornika Jeziorsko i na terenach zalewowych międzywala powyżej mostu drogowego w miejscowości Warta. Rozwój tej roślinności w czaszy zbiornika występuje na długości ok. 4,5 km, a na terenach zalewowych międzywala na długości ok. 7,8 km, do mostu drogowego w miejscowości Biskupice.

4. W okresie 15 lat, od 1991 do 2006 roku sumaryczny dopływ rumowiska wleczonego do zbiornika wynosi ok. 0,55 mln m³, a łączny dopływ rumowiska wleczonego i unoszonego ok. 2,25 mln m³.

Analiza wyników obliczeń symulacyjnych przepływu fali wezbrania obserwowanej w 1997 r. wykazała, że:

- W warunkach hydraulicznych koryta po wykonaniu robót regulacyjnych w cofce zbiornika przepustowość koryta wód wielkich była wystarczająca do bezpiecznego przejścia fali wezbrania o przepływie kulminacyjnym $Q = 440 \text{ m}^3/\text{s}$. Maksymalne poziomy zwierciadła wody układały się od 0,51 m do 1,20 m poniżej korony wałów przeciwpowodziowych.

- W warunkach hydraulicznych koryta obserwowanych w 2006 roku poziom zwierciadła wody przekracza rządne korony wałów przeciwpowodziowych w cofce zbiornika, na odcinku od mostu w miejscowości Warta do mostu w miejscowości Biskupice. Zjawisko wynika przede wszystkim z intensywnego rozwoju roślinności krzewiastej w górnej części czaszy zbiornika i na terenach zalewowych koryta wód wielkich powyżej zbiornika. W odniesieniu do stanu koryta występującego w 1985 roku, poziom wody w 2006 roku, przy przepływach wód wielkich od 250 m³/s do 440 m³/s, podniósł się od 0,65 m do 0,93 m.

- Przy stanie zarastania koryta i terenów zalewowych, obserwowanych w 2006 roku, przepustowość koryta w okresie zimowym wynosi $Q = 250 \text{ m}^3/\text{s}$, a w okresie letnim $Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$. Oznacza to zmniejszenie bezpiecznej przepustowości koryta wód wielkich Warty powyżej zbiornika o ok. 50%.

Literatura

- ARMANINI A., RIGHETTI M., GRISENTI P., 2005. Direct measurements of vegetation resistance in prototype scale. *J. Hyd. Res.* 43, 5: 481-487.
- CICHY W., MOJ B., 1998. Stabilizacja i pomiar przekrojów poprzecznych na rz. Warcie, na odcinku km 495-521. Zakł. Usług.-Wykon. PONTOS, Poznań.
- HEC-RAS. River Analysis System. User manual. 2003. US Army Corps of Engineers. Inst. Water Res. Hydrol. Eng. Center, Davies, Calif.
- KLOPSTRA D., BARNEVELD H.J., NOORTWIJK J.M. VAN, VELZEN E.H. VAN, 1997. Analytical model for hydraulic roughness of submerged vegetation. W: 27th Congress of the International Association for Hydraulic Research. ASCE, San Francisco: 775-780.
- KUBRAK E., 2007. Rozkłady prędkości wody w korytach otwartych z elementami symulującymi roślinność. *Maszyn. Rozpr. dokt. Wydz. Inż. Kształt. Środ.* SGGW, Warszawa.
- KUBRAK J., 1998. *Hydraulika techniczna*. Wyd. SGGW, Warszawa.
- KUBRAK J., NACHLIK E., 2003. *Hydrauliczne podstawy obliczania przepustowości koryt rzecznych*. Wyd. SGGW, Warszawa.
- MATAN J., 1975. Zbiornik retencyjny Jeziorsko na rz. Warcie. Zad. IV. Obiekty hydrotechniczne i melioracyjne w cofce zbiornika. Regulacja rz. Warty w cofce. ZKZ II, Lp. 14. CBSiPBW Hydroprojekt Oddz. Poznań.
- ORŁOWSKI W., GAJEWSKI B., 1999. Instrukcja gospodarki wodnej zbiornika retencyjnego Jeziorsko na rzece Warcie. (Aktualizacja 1999). Zesp. Rzeczozn. SITWM, Teren. Grupa Rzeczozn., Poznań.
- PRZEDWOJSKI B., 1977. Badania transportu rumowiska w korycie Warty w km 511. *Maszyn. Kat. Bud. Wodn.* AR, Poznań.
- PRZEDWOJSKI B., 1998. *Morfologia rzek i prognozowanie procesów rzecznych*. Wyd. AR, Poznań.
- PRZEDWOJSKI B., NOWAK J., NIEDZIELSKI A., 1994. Badania procesu zamulania zbiornika wodnego Jeziorsko. *Maszyn. Kat. Bud. Wodn.* AR, Poznań.
- PRZEDWOJSKI B., BŁĄZEJEWSKI R., PILARCZYK K.W., 1995. *River training techniques. Fundamentals, design and applications*. Wyd. A.A. Balkema, Rotterdam/Brookfield.
- PRZEDWOJSKI B., NOWAK J., 1995. Badania procesu zamulania zbiornika wodnego Jeziorsko. *Maszyn. Kat. Bud. Wodn.* AR, Poznań.
- PRZEDWOJSKI B., NOWAK J., 1996. Badania procesu zamulania zbiornika wodnego Jeziorsko. *Maszyn. Kat. Bud. Wodn.* AR, Poznań.
- PRZEDWOJSKI B., WICHER-DYSARZ J., WIERZBICKI M., 2004. Ocena skutków akumulacji rumowiska w zbiorniku wodnym Jeziorsko. *Maszyn. BSiPBW Hydroprojekt*, Poznań.

PRZEDWOJSKI B., DYSARZ T., WICHER-DYSARZ J., WIERZBICKI M., 2005. Wpływ zamulania i zarastania na stan zagrożenia powodziowego powyżej zbiornika Jeziorsko. *Badania i pomiary terenowe. Maszyn. Kat. Bud. Wodn. AR, Poznań.*

WICHER-DYSARZ J., PRZEDWOJSKI B., 2005. Modeling of sediment accumulation in the inlet part of Jeziorsko reservoir. *Rocz. AR Pozn. 365, Melior. Inż. Środ. 26: 483-493.*

EMERGENCY OF FLOOD UPSTREAM OF THE JEZIORSKO RESERVOIR

Summary. In the paper the assessment of the Warta river capacity is presented. The Warta river reach above the Jeziorsko Reservoir was under investigation. On the basis of field measurements the changes of capacity caused by sediment accumulation and vegetation growth were determined. The analyses presented were elaborated for the period 1991-2006. The St. Venant equations were used to assess the capacity of the Warta river channel. The model applied describes unsteady one-dimensional flow in open channels, artificial as well as natural. The computations were done for the river reach from river gauge station Sieradz (km 520+850) to the Jeziorsko Dam tailwater (km 483+300). The flood wave observed in July and August 1997 was reconstructed in the computational model. The roughness coefficients were identified and verified for the current stage of the river channel on the basis of measurements done on April 5th, 2006. The river total discharge on the measurements day was $WWQ = 185 \text{ m}^3/\text{s}$. The computations showed significant decrease of the river channel capacity in the reservoir backwater reach. The water levels in 2006 for the flows in the range from 250 to 400 m^3/s increased about 0.65-0.93 m in relation to the hydraulic conditions in 1985.

Key words: flood, vegetation, reservoir sedimentation, unsteady flow modeling

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Bogusław Przedwojski, Katedra Budownictwa Wodnego, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 73A, 60-625 Poznań, Poland, e-mail: bkpi@au.poznan.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 10.05.2007

*Do cytowania – For citation: Przedwojski B., Wierzbicki M., Wicher-Dysarz J., Walczak N., 2007. Stan zagrożenia powodziowego powyżej zbiornika Jeziorsko. *Nauka Przyr. Technol.* 1, 2, #31.*