

PAWEŁ ZAWADZKI¹, TOMASZ KAŁUŻA¹, IRENEUSZ LAKS²

¹Katedra Budownictwa Wodnego
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

²Katedra Mechaniki Budowli i Budownictwa Rolniczego
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

HYDRAULICZNE UWARUNKOWANIA ODTWORZENIA ZAKOŁA CHWALISZEWSKIEGO W OBRĘBIE POZNAŃSKIEGO WĘZŁA WODNEGO

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki obliczeń przepływów rzeki Warty na odcinku Poznańskiego Węzła Wodnego wykonane za pomocą programu SPRUNER. Wykorzystano wcześniej opracowany model matematyczny rzeki Warty o długości 136,3 km, który rozpoczynał się od przekroju Nowa Wieś Podgórna (km 342+600) i kończył w przekroju Oborniki (km 206+300). Dołączono do niego nowy odcinek – Zakole Chwaliszewskie. Zaproponowano pięć wariantów odtworzenia koryta na odcinku Zakola Chwaliszewskiego. We wszystkich wariantach rozdziła przepływu wody na koryto główne Warty i Zakole Chwaliszewskie zaproponowano w przekroju 243+010, a ponowne połączenie – w km 242+290, w rejonie portu rzecznej. Długość odtwarzanego odcinka wynosiła 800 m, a przyjęty spadek podłużny dna wynosił 0,13% i był identyczny jak dla koryta głównego Warty na tym odcinku. Obliczenia były prowadzone dla warunków przepływu ustalonego. Obliczenia wykonano dla pięciu przepływów charakterystycznych i o określonym prawdopodobieństwie.

Słowa kluczowe: rzeka Warta, model matematyczny, Poznański Węzeł Wodny

Wstęp

W latach 1968-1972 zrealizowano projekt pod nazwą „Przebudowa węzła wodnego w Poznaniu”. Inwestycja ta miała trzy główne cele: przepuszczenie wód przez miasto w sposób całkowicie nieszkodliwy dla Starego Miasta oraz zabytkowych obiektów na Ostrowie Tumskim, poprawienie warunków żeglugowych poprzez likwidację ostrego Zakola Chwaliszewskiego, poprawienie ogólnej estetyki miasta, posiadającego w centrum szereg koryt rzecznych i kanałów ulgi o fatalnym stanie technicznym i sanitarnym (rys. 1).



Rys. 1. Schemat Poznańskiego Węzła Wodnego (PWW)
Fig. 1. Poznań Waterways System

Na przełomie XX i XXI wieku wielokrotnie dyskutowano nad zagospodarowaniem terenów leżących nad Wartą. W większości prac zgłaszanych na konkursy urbanistyczne i architektoniczne organizowane przez władze miasta projektowano częściowe lub całkowite odtworzenie zasypanego Zakola Chwaliszewskiego.

Model przepływów rzeki Warty na odcinku Poznańskiego Węzła Wodnego

Do analizy warunków przepływu rzeki Warty na odcinku Poznańskiego Węzła Wodnego (PWW) wykorzystano jednowymiarowy system analizy i prognozowania przepływów nieustalonych SPRUNER (WOSIEWICZ i IN. 1996). Powstał on w ramach projektu badawczego realizowanego na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska Akademii Rolniczej w Poznaniu od połowy 1993 do 1995 roku. Program jest oparty na układzie równań Saint-Venanta.

Systemem tym wykonano szereg symulacji przepływu przez Poznański Węzeł Wodny fal historycznych o różnym prawdopodobieństwie wystąpienia. Obliczenia przepustowości Poznańskiego Węzła Wodnego wykonano dla pięciu wariantów odtworzenia przekrojów Zakola Chwaliszewskiego oraz aktualnego stanu koryt w Poznaniu (PRZEDWOJSKI i IN. 2007).

Dane wyjściowe do modelowania

Matematyczne modelowanie przepływu przeprowadzono na odcinku od mostu w Obornikach (km 206+300) do przekroju wodowskazowego w Nowej Wsi Podgórnej (km 342+600), wykorzystując zawarte w bazie danych informacje dotyczące zabudowy i geometrii poszczególnych przekrojów. Do budowy modelu wykorzystano 119 przekroi. Tak długi modelowany odcinek pozwala wykluczyć wpływ warunków brzegowych na wyniki otrzymane w przekrojach Poznańskiego Węzła Wodnego. Dla wariantów projektowanego Zakola Chwaliszewskiego dołożono jeszcze trzy przekroje.

Od przekroju startowego w Obornikach do przekroju 239+870, który przyjęto za początek Poznańskiego Węzła Wodnego, koryto główne Warty jest podzielone na 24 odcinki.

Warunki brzegowe

Program SPRUNER służy do analizowania i prognozowania ruchu nieustalonego w sieci rzecznej, jednak z zastosowaniem pewnych zabiegów formalnych (start z poziomego zwierciadła wody) może być wykorzystany do obliczeń przepływu ustalonego. Określenie górnego warunku brzegowego, w postaci hydrogramu przepływów, sprowadzało się do założenia w pewnym przedziale czasu stałej wartości przepływu równej analizowanym symulacjom przepływów (tab. 1). Dolny warunek brzegowy, ze względu na oddalenie przekroju Oborniki, przyjęto jako hydrogram stanów wody o ustalonej rzędnej zwierciadła wody 47,00 m n.p.m.

Tabela 1. Zestawienie przepływów wykorzystanych do obliczeń (OPERAT... 2007)
Table 1. Statement of water flows used in computation (OPERAT... 2007)

Oznaczenie przepływu	Opis	Natężenie przepływu (m ³ /s)
SNQ	Średni niski przepływ	39,6
SQ	Przepływ średni	102,0
SWQ	Średni wielki przepływ	305,0
Q _{1%}	„Woda stuletnia”	835,0
Q _{0,1%}	„Woda tysiącletnia”	1 120,0

Współczynniki szorstkości

Współczynniki szorstkości przyjęto na podstawie tarowania modelu, w którym odtwarzano historyczne fale powodziowe (LEWANDOWSKI i IN. 1994). Wartości współczynników szorstkości w większości przypadków, zmieniały się w zakresie od 0,020 do 0,035, sporadycznie przekraczając ten przedział i osiągając wartość 0,047. W przekrojach poprzecznych obszary o odmiennej szorstkości były charakteryzowane różnymi współczynnikami.

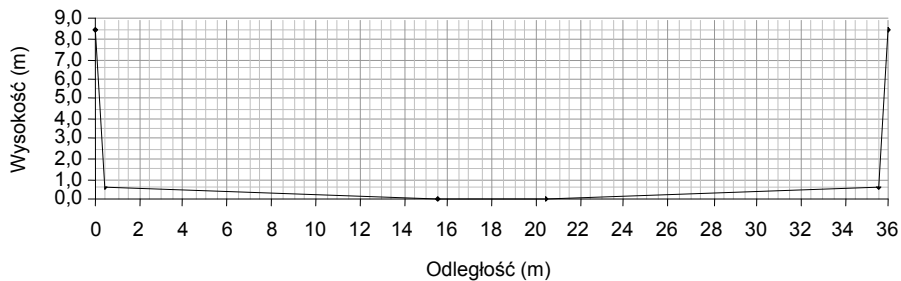
Projektowane przekroje poprzeczne Zakola Chwaliszewskiego

Dno nowo projektowanego odcinka – Zakola Chwaliszewskiego – w przekroju początkowym i końcowym musi być na tym samym poziomie co dno rzeki Warty w korycie głównym. Początek zakola zaprojektowano w przekroju 243+010 rzeki Warty, tj. około 200 m poniżej rozdziału przepływu na koryto główne i koryto Cybiny, zakończenie – w rejonie basenu portowego w przekroju 242+290. Rzędne dna w tych przekrojach wynoszą odpowiednio 49,99 m n.p.m. i 49,90 m n.p.m. Jeśli się przyjmie, że długość koryta głównego Warty między tymi przekrojami jest równa 720 m, to można obliczyć spadek podłużny dna, który wynosi 0,13%. Długość projektowanego odcinka (800 m) pozwolił przyjąć taki sam spadek odcinka Zakola Chwaliszewskiego.

Ze względu na ochronę przeciwpowodziową miasta Poznania rzędne wałów przeciwpowodziowych nie powinny mieć mniejszych wartości niż istniejące obecnie, dlatego korona wałów powinna być wyniesiona 8,50 m ponad dno cieku. Przyjęto, że z uwagi na dość znaczne różnice rzędnych korony wału i dna (8,50 m) szerokość koryta wielkiej wody na odcinku zakola nie powinna być mniejsza niż 36 m (równa czterokrotnej głębokości).

Wariant I

W wariantcie I projektowanego przekroju poprzecznego na odcinku Zakola Chwaliszewskiego przyjęto utworzenie szerokiego na 36,0 m koryta zbliżonego kształtem do prostokąta. W części środkowej zaproponowano dno poziome o szerokości 5,0 m, w kierunku brzegów unosi się symetrycznie ze spadkiem 1:10 (rys. 2). Spadek powinien zapewniać spływ wód deszczowych. Brzegi zaprojektowano jako mury oporowe nachylone ze spadkiem 10:1.

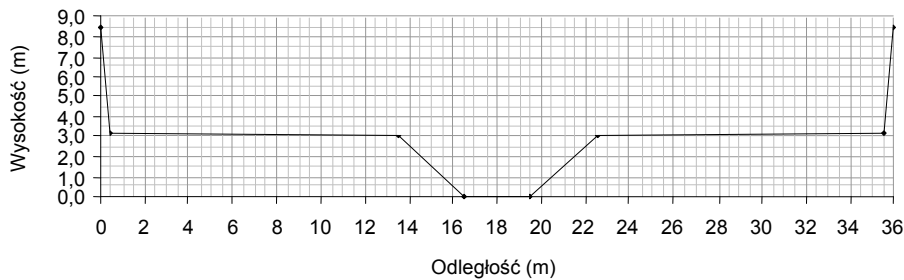


Rys. 2. Przekrój koryta – wariant I

Fig. 2. Channel cross-section – variant I

Wariant II

W wariantcie II przyjęto dwudzielny przekrój poprzeczny: koryto główne o szerokości 3,0 m w dnie i nachyleniu skarp 1:1 oraz tereny zalewowe ze spadkiem 1:10. Rzędne terenów zalewowych wyniesiono 3,0 m ponad poziom dna (rys. 3).

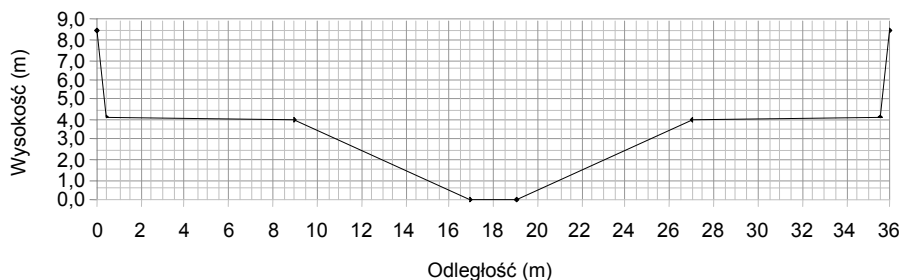


Rys. 3. Przekrój koryta – wariant II

Fig. 3. Channel cross-section – variant II

Wariant III

Tak jak w wariacie II przyjęto przekrój dwudzielny, z tym że nachylenie skarp koryta głównego przyjęto 1:2. Tereny zalewowe wyniesiono 4,0 m ponad poziom dna (rys. 4).

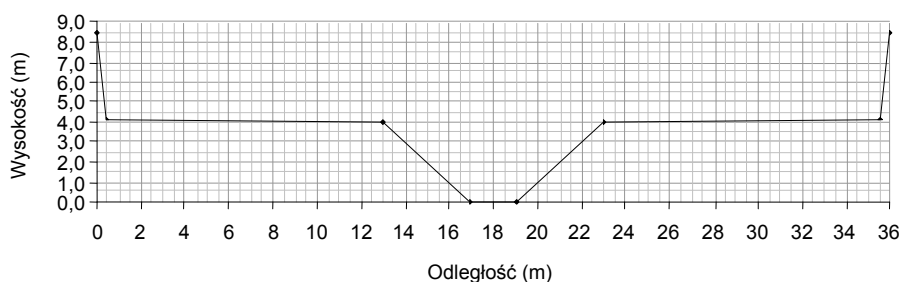


Rys. 4. Przekrój koryta – wariant III

Fig. 4. Channel cross-section – variant III

Wariant IV

W wariacie IV tereny zalewowe również wyniesiono 4,0 m ponad poziom dna, co powinno zapewnić mniejszą częstotliwość „wychodzenia” wody z koryta głównego. Nachylenie skarp koryta głównego przyjęto 1:1 (rys. 5). W ten sposób uzyskuje się więcej miejsca do zagospodarowania na terenach zalewowych.



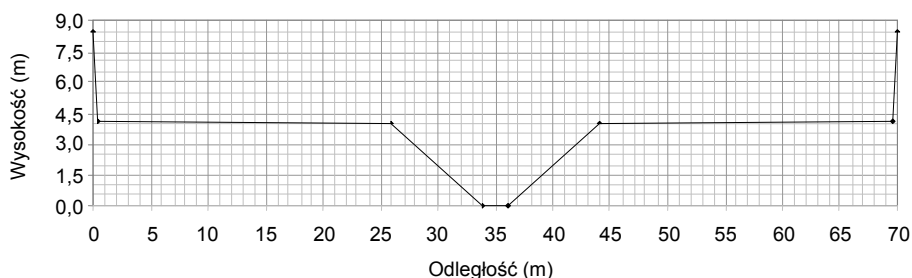
Rys. 5. Przekrój koryta – wariant IV

Fig. 5. Channel cross-section – variant IV

Wariant V

Warunki terenowe w rejonie zasypanego zakola Warty pozwalają na zaprojektowanie koryta szerszego niż 36,0 m. W największym miejscu, w przekroju starego mostu łączącego ul. Wielką i Chwaliszewo, szerokość terenu niezagospodarowanego wynosi około 75 m (rys. 6), dlatego zaproponowano koryto o całkowitej szerokości 70,0 m z zachowaniem dwudzielnego przekroju poprzecznego jak w wariacie III.

Aby móc ocenić zmiany warunków przepływu wody, obliczenia hydrauliczne Poznańskiego Węzła Wodnego wykonano również dla obecnego koryta rzeki Warty i kanałów ulgi (**Wariant 0**).



Rys. 6. Przekrój koryta – wariant V

Fig. 6. Channel cross-section – variant V

Wyniki i ich analiza

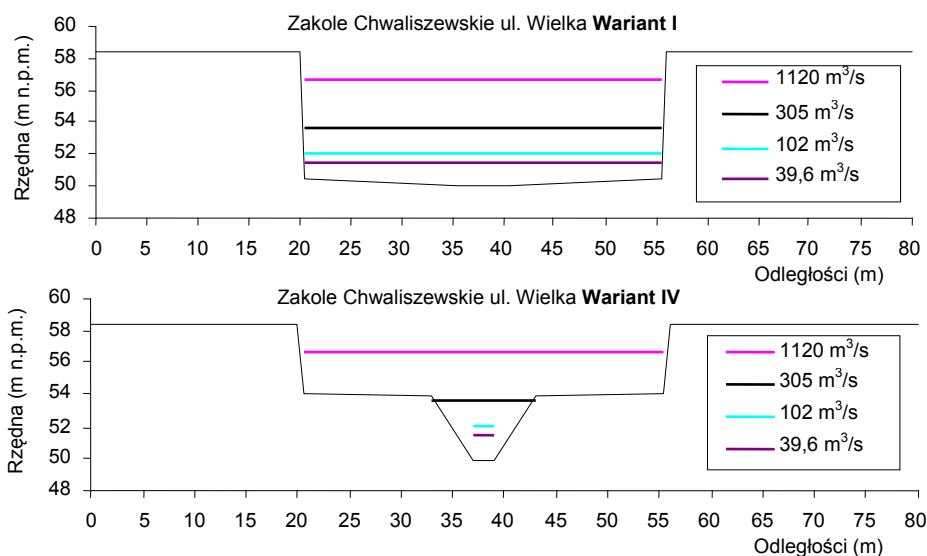
Analizując wyniki symulacji komputerowych przepływu wody przez Poznański Węzeł Wodny, brano pod uwagę: rzędne zwierciadła wody, średnie prędkości przepływu, rozdział przepływu na poszczególne koryta. Wyniki otrzymane dla projektowanych wariantów przekroju poprzecznego koryta porównywano ze stanem obecnym (**Wariant 0**).

Dla najmniejszych przepływów, $39,6 \text{ m}^3/\text{s}$ i $102 \text{ m}^3/\text{s}$, woda mieści się w korycie głównym, natomiast przy przepływach większych, od $305 \text{ m}^3/\text{s}$, woda zaczyna się rozlewać na tereny zalewowe. Czynnikiem wpływającym na zwierciadło wody, szczególnie przy najniższych przepływach, jest układ dna w profilu podłużnym. Przy budowie modelu matematycznego wykorzystano przekroje sporządzone na podstawie pomiarów geodezyjnych koryta rzeki. Jedynie na odcinku od km 243+480 do km 241+940 wykorzystano przekroje projektowe przygotowane na potrzeby prac regulacyjnych w latach 1968-1972. Różnice zwierciadeł wody dla poszczególnych wariantów i stanu obecnego nie przekraczały $\pm 2 \text{ cm}$. Takie wyniki można wytłumaczyć jedynie dużym wpływem przekroju w km 239+180 (most Lecha, ul. Lechicka) na stany wody w całym Poznańskim Węźle Wodnym. Odtworzenie Zakola Chwaliszewskiego w jakimkolwiek wariantcie nie wpłynie zatem na układ zwierciadła wody w Poznaniu.

Wybierając optymalną geometrię koryta na odcinku Zakola Chwaliszewskiego, trzeba rozpatrzyć stany wody dla różnych symulacji przepływów w poszczególnych przekrojach poprzecznych. Do analizy wybrano przekrój położony w 400. metrze projektowanego odcinka (+400 m), w przedłużeniu ul. Wielkiej. W przekroju tym szerokość starego koryta Warty była najmniejsza i nie przekraczała 80 m.

W **Wariantcie I** (koryto jednodzielne), niezależnie od wielkości przepływu, dno koryta na całej szerokości jest pokryte wodą, co uniemożliwia jakiegokolwiek jego wykorzystanie (rys. 7).

Przyjęcie w **Wariantcie II** koryta dwudzielnego i wyniesienie tarasów zalewowych o 3,0 m ponad dno (rzędna 52,94 m n.p.m.) pozwoliło na utrzymanie przepływów $39,6 \text{ m}^3/\text{s}$ i $102 \text{ m}^3/\text{s}$ w głębszej części przekroju, natomiast przepływ $305 \text{ m}^3/\text{s}$ będzie już powodować zalewanie tarasów. Z tego względu w kolejnych wariantach tarasy zalewowe wyniesiono 4,0 m ponad dno koryta (rzędne 53,92 lub 53,94 m n.p.m.). Na podstawie obliczeń można stwierdzić, że byłyby one zalewane tylko przy przepływach wód



Rys. 7. Napełnienie koryta przy różnych przepływach; warianty I i IV
 Fig. 7. Water level of different flow; variants I and IV

wielkich większych niż $319 \text{ m}^3/\text{s}$, co odpowiada natężeniu przepływów o prawdopodobieństwie wystąpienia 40% (obrazowo można to sprowadzić do zalewania tarasów zalewowych Zakola Chwaliszewskiego średnio co 2,5 roku). Pozwoliłoby to na wykorzystanie tarasów zalewowych, jednak z pewnymi ograniczeniami.

Innym kryterium oceny zaproponowanych wariantów geometrii przekroju koryta na odcinku Zakola Chwaliszewskiego jest procentowy rozdział wody na poszczególne koryta, natężenie przepływu i średnie prędkości przepływu wody. Przy przepływach wód o natężeniu $39,6 \text{ m}^3/\text{s}$ i $102,0 \text{ m}^3/\text{s}$ zwraca uwagę w **Wariancie I** duży udział (ponad 25%) Zakola Chwaliszewskiego w przeprowadzeniu wód przez PWW. Przepływ odbywać się będzie jednak przy bardzo małych prędkościach średnich w przekroju ($< 0,40 \text{ m/s}$). Tak małym prędkościom towarzyszyć będą niekorzystne zjawiska – osiadanie oraz konsolidacja rumowiska wlezonego i unoszonego na dnie koryta. Znaczny wzrost natężeń przepływu można również zaobserwować przy przepływach $835 \text{ m}^3/\text{s}$ i $1120 \text{ m}^3/\text{s}$ w **Wariancie V**, w którym zaproponowano największą szerokość tarasów zalewowych: 70 m (tab. 2).

Analizując wyniki obliczeń, należy wskazać jako optymalne warianty z korytem dwudzielnym, w których tereny zalewowe zostały podniesione o 4,0 m ponad dno, a więc: **Wariant III**, **Wariant IV** i **Wariant V**. Przekroje poprzeczne zaproponowane w tych wariantach zapewniają bezpieczne przepuszczenie wszystkich przepływów: od najmniejszych ($39,6 \text{ m}^3/\text{s}$) do największych ($1120 \text{ m}^3/\text{s}$). Dostateczna przepustowość głębszej części przekroju gwarantuje, że dopiero przy przepływach większych od $305 \text{ m}^3/\text{s}$ napełnienie koryta będzie większe niż 4,0 m. Pozwala to na ograniczone zagospodarowanie tarasów zalewowych. Najwięcej miejsca do zagospodarowania na tym poziomie zapewnia **Wariant V**, w którym symetrycznie, po obu stronach koryta głównego, mamy do dyspozycji około 25 m szerokości przekroju. Powierzchnie te mogą być utwardzone np.

Tabela 2. Parametry hydrauliczne Zakola Chwaliszewskiego
Table 2. Hydraulic parameters of the Chwaliszewo Meander

Wariant	Parametr	Natężenie przepływu (m ³ /s)				
		39,6	102,0	305,0	835,0	1120,0
I	Przepływ (m ³ /s)	9,95	25,99	60,59	125,64	164,25
	Udział (%)	25,1	25,5	19,9	15,0	14,7
	Prędkość (m/s)	0,23	0,39	0,48	0,61	0,71
II	Przepływ (m ³ /s)	3,71	9,40	27,39	86,99	119,99
	Udział (%)	9,4	9,2	9,0	10,4	10,7
	Prędkość (m/s)	0,56	0,89	0,65	0,72	0,81
III	Przepływ (m ³ /s)	3,44	9,27	25,21	77,17	107,46
	Udział (%)	8,7	9,1	8,3	9,2	9,6
	Prędkość (m/s)	0,47	0,73	0,71	0,71	0,79
IV	Przepływ (m ³ /s)	2,93	7,32	16,78	62,76	90,29
	Udział (%)	7,4	7,2	5,5	7,5	8,1
	Prędkość (m/s)	0,57	0,87	0,79	0,70	0,76
V	Przepływ (m ³ /s)	3,44	9,27	25,21	105,81	149,22
	Udział (%)	8,7	9,1	8,3	12,7	13,3
	Prędkość (m/s)	0,47	0,73	0,71	0,61	0,66

kostką brukową i powinny być lekko nachylone (np. 1:10), aby zapewnić spływ wód opadowych do głębszej części koryta. Równocześnie w wariantcie tym znacznie jest ograniczona powierzchnia na poziomie około 8,5 m ponad dnem koryta (aktualny poziom terenu), a więc powyżej najwyższego poziomu wody w korycie Zakola Chwaliszewskiego.

Różnice między **Wariantem III** a **Wariantem IV** polegają na zmianie nachylenia skarp koryta głównego zakola z 1:2 na 1:1. Szerokości terenów zalewowych w tych wariantach wynoszą odpowiednio $2 \times 8,5$ m i $2 \times 12,5$ m. Trzeba zaznaczyć jednak, że nachylenie skarp 1:1 nie jest zazwyczaj stosowane w budownictwie wodnym. W tym przypadku należałoby ewentualnie zaproponować schody na całej długości skarpy koryta.

Podsumowanie i wnioski

1. Odtworzenie Zakola Chwaliszewskiego, bez względu na rozpatrywany wariant, nie wpłynie na układ zwierciadła wody w Poznaniu.

2. Ze względu na warunki przepływu oraz możliwości zagospodarowania terenów leżących przy rzece za najkorzystniejsze należy uznać warianty przekroju poprzecznego z głęboką częścią środkową i okresowo zalewanymi, wyżej położonymi tarasami (koryta dwudzielne). Projektowane koryto nie musiałoby być symetryczne.

3. Uwzględniając wielkości przepływów o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia (szczególnie $Q_{40\%} = 319$ m³/s), wskazane byłoby wyniesienie tarasów zalewowych około 4,0 m ponad dno koryta głównego (**Warianty: III, IV i V**).

4. Przyjęcie nachylenia skarp koryta głównego 1:1 lub 1:2 powinno być uzależnione od szczegółowego projektu umocnienia dna i brzegów na odcinku Zakola Chwaliszewskiego, a także planowanego zagospodarowania tarasów zalewowych.

Literatura

- LEWANDOWSKI J.B., REMBEZA L., ZAWADZKI P., WOSIEWICZ B., SROKA Z., LAKS I., 1994. Model matematyczny rzeki Warty dla ruchu nieustalonego na odcinku od zbiornika Jeziorsko do Poznania. ODGW, Poznań.
- OPERAT hydrologiczny wykonany na zlecenie Urzędu Miasta Poznania. 2007. IMGW, Poznań.
- PRZEDWOJSKI B., KAŁUŻA T., ZAWADZKI P., 2007. Analiza układu zwierciadła wody rzeki Warty na odcinku Poznańskiego Węzła Wodnego. Maszynopis 22/2007/U. Katedra Budownictwa Wodnego, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu.
- WOSIEWICZ B., LAKS I., SROKA Z., 1996. Computer system of flow simulation for the Warta river. Pr. Nauk. Inst. Geotech. Hydromech. P. Wroc. Ser. Konf. 38.

HYDRAULIC FACTORS CONDITIONING THE RECONSTRUCTION OF THE CHWALISZEWO MEANDER IN THE POZNAŃ WATERWAYS SYSTEM

Summary. The paper presents results of flow calculations for the Warta River on a reach of the Poznań Waterways System (PWS), conducted using the SPRUNER computer system of unsteady flow routing. The mathematical model of the 136.3 km reach of the Warta River started at the gauging section in Nowa Wieś Podgórna (km 342+600) and ended at the gauging section in Oborniki (km 206+300). Calculations have been conducted for steady flow conditions for five typical flows with given probabilities. Five variants of reconstruction of the Chwaliszewo Meander have been proposed. In each variant the split between the main Warta channel and the Chwaliszewo Meander channel was proposed at section 243+010, and both channels were to meet again at km 242+290, in the area of the river port. The section being reconstructed was 800 m long. The slope has been assumed to be 0.13‰ and was identical to that of the main channel of the Warta on this channel reach.

Key words: the Warta River, mathematical model, Poznań Waterways System

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Paweł Zawadzki, Katedra Budownictwa Wodnego, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94 A, 60-649 Poznań, Poland, e-mail: pzaw@up.poznan.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

10.07.2009

Do cytowania – For citation:

*Zawadzki P., Kałuża T., Laks I., 2009. Hydrauliczne uwarunkowania odtworzenia Zakola Chwaliszewskiego w obrębie Poznańskiego Węzła Wodnego. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 3, #108.*

