

WPLYW RAFY ŻOLIBORSKIEJ NA WARUNKI PRZEPLYWU NA ŚRÓDMIEJSKIM ODCINKU WISŁY W WARSZAWIE (KM 508–518)

Anna Sosnowska

Politechnika Warszawska

Streszczenie. W artykule omówiono wyniki obliczeń położenia zwierciadła wody na warszawskim odcinku Wisły w oparciu o pomiary geodezyjne. Pozwoliły one na utworzenie modelu rozpatrywanego odcinka Wisły dla przepływu ustalonego w programie HEC-RAS (wersja 4.1.0), za pomocą którego przeprowadzono symulacje różnych warunków przepływu. Na podstawie otrzymanych wyników symulacji podjęto próbę określenia znaczenia Rawy Żoliborskiej dla śródmiejskiego odcinka Wisły w Warszawie. Analiza wykazała, że jest ona ważnym elementem w profilu podłużnym rzeki i ma wpływ na poziom zwierciadła wody w warszawskiej Wiśle.

Słowa kluczowe: morfologia rzek, Wisła Środkowa, rafa żoliborska

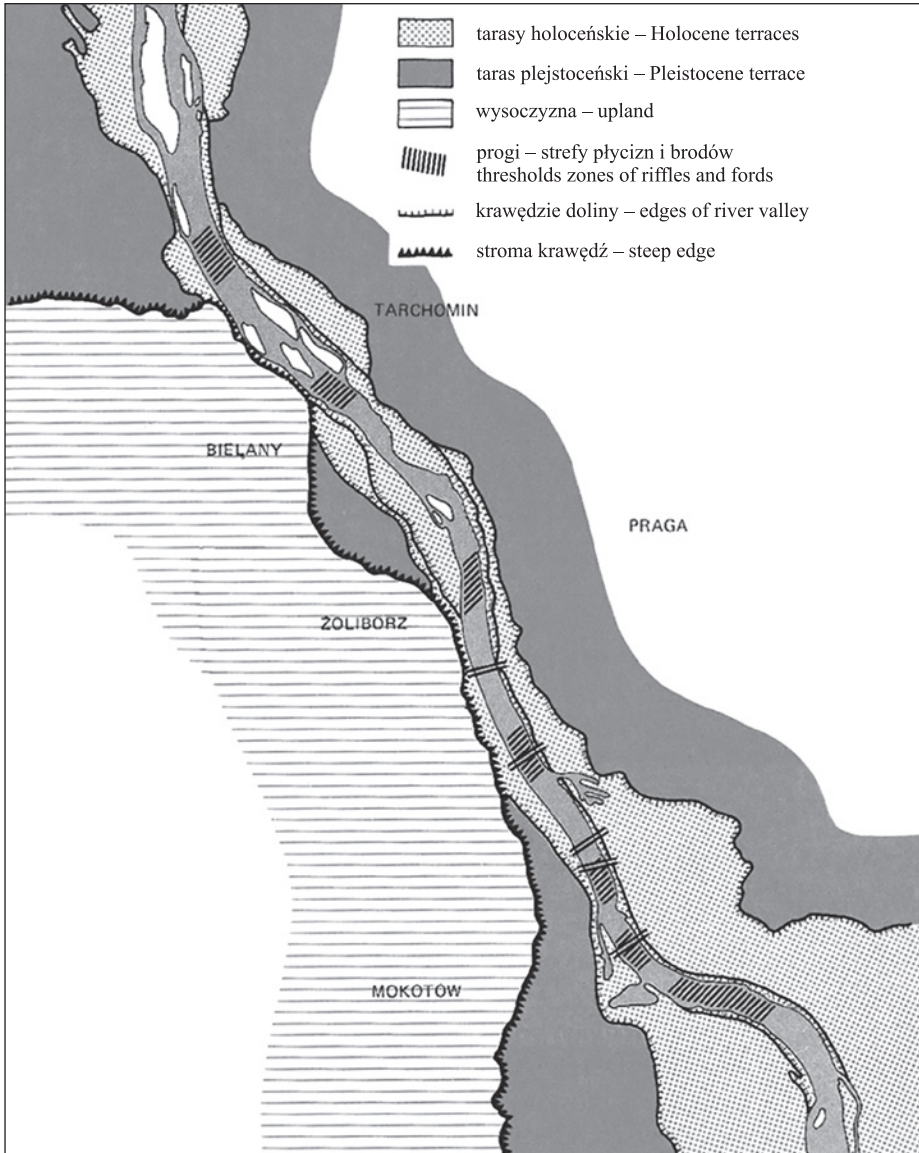
BUDOWA GEOMORFOLOGICZNA DOLINY WISŁY W WARSZAWIE

Najbardziej charakterystyczną cechą doliny Wisły w rejonie Warszawy jest znaczne zwężenie koryta wielkich wód. W rejonie Kozienic szerokość koryta głównego Wisły dochodzi do około 900 m, szerokość zaś doliny wyznaczona krawędziami wysokich tarasów nadzalewowych wynosi w najszerszym miejscu nawet 9000 m. Na południowym krańcu Warszawy dolina Wisły zmienia swój charakter. Krawędzie tarasów zalewowych zbliżają się do siebie, a lewobrzeżny wysoki taras wyraźnie podchodzi do brzegu koryta głównego. Wysoczyzna lewego brzegu doliny tworzy charakterystyczną stromą skarpę, zwaną Skarpą Warszawską. Po drugiej stronie rzeki brzeg doliny stanowi nadzalewowy Taras Praski. Krawędź lewego tarasu wysokiego zaczyna oddalać się od koryta głównego Wisły dopiero w okolicach miejscowości Jabłonna, czyli w km 531 [Falkowski 1982].

Dolina Wisły w obrębie Warszawy określana jest potocznie jako „gorset warszawski”. Nazwa ta wzięła się ze znacznego zwężenia naturalnie wąskiej doliny rzeki, dodatkowo

Adres do korespondencji – Corresponding author: mgr inż. Anna Sosnowska, Zakład Budownictwa Wodnego i Hydrauliki, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, e-mail: anna.sosnowska@is.pw.edu.pl

zmniejszanej stopniowo przez kilkaset lat poprzez zabudowę hydrotechniczną: wały przeciwpowodziowe, tamy regulacyjne oraz przyczółki mostów. Zwężenie rzeki, zwłaszcza koryta wód średnich, doprowadziło do znacznego przyspieszenia procesów erozyjnych, co z kolei wpłynęło na obniżenie się dna rzeki na tym odcinku [Kuźniar 1998].



Ryc. 1. Lokalizacja naturalnych progów z gruntów trudno rozmywalnych w Warszawie [Falkowski i Ostrowski 2008]

Fig. 1. Localization of natural thresholds made of non-erodible soils in Warsaw [Falkowski and Ostrowski 2008]

Kolejnym aspektem decydującym o unikalnym charakterze tego fragmentu rzeki jest jej budowa geologiczna. W rejonie zwężenia doliny stwierdzono niewielką miąższość aluwów i płytkie położenie gruntów trudno rozmywalnych (iłów pstrych, wstęgowych i glin zwałowych), które rozłożone są poprzecznie do kierunku biegu rzeki, na całej szerokości koryta. Specyficzne ułożenie trudno rozmywalnych warstw spowodowało utworzenie się w korycie naturalnych progów (raf), które stabilizują pionowy układ koryta Wisły. Rafy przedstawione na ryc. są w różnym stopniu „odsłonięte”, a omawiana Rafa Żoliborska jest spośród nich strukturą najbardziej dominującą. W przeszłości istnienie tych progów tworzyło doskonałe warunki do powstania brodów oraz budowy przepraw mostowych. Teraz stanowią trudną do pokonania przeszkodę dla żeglugi [CBSIPBW 1953, Falkowski].

WYKORZYSTANIE WISŁY

Wisła w Warszawie była i jest źródłem wody na potrzeby bytowo-gospodarcze i przemysłowe od samego początku istnienia miasta. Pobór wody do tych celów odbywał się na ujęciach: przy Elektrociepłowni Siekierki, przy byłej Elektrociepłowni Powiśle, przy Elektrociepłowni Żerań, przy Hucie Warszawa (obecnie ArcelorMittal Warszawa) oraz przez ujęcie centralne. Początkowo ujęcia pracowały grawitacyjnie, ale wskutek intensywnego obniżania się dna Wisły w Warszawie, obserwowanego przez badaczy prawie przez cały XX wiek, musiały zostać zamknięte lub przebudowane.

Wspomniane wyżej centralne ujęcie wody do celów wodociągowych zlokalizowane w 509,8 km Wisły początkowo funkcjonowało jako ujęcie zatokowe z grawitacyjnym poborem wód. Obniżające się dno rzeki spowodowało, że rzędna ujęcia wynosząca 77,70 m n.p.m. była za wysoka w stosunku do obecnych średnich rzędnych zwierciadła wody w Wiśle, przez co konieczna stała się budowa pompowni i realizacja koncepcji poddenne go poboru wody. Podobnie rzecz się ma z ujęciem wody dla nieczynnej już Elektrociepłowni Miejskiej na Powiślu w 512,9 km Wisły. Możliwe, że jednym z argumentów potwierdzających decyzję o zamknięciu tego zakładu były narastające trudności z poborem wody z Wisły.

MODELOWANIE WARSZAWSKIEGO ODCINKA WISŁY W PROGRAMIE HEC-RAS

Pomiary terenowe

Badania terenowe zostały przeprowadzone w sierpniu i wrześniu 2012 r. przez Zakład Budownictwa Wodnego i Hydrauliki Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. W tym czasie obserwowano bardzo niski stan Wisły w całym kraju. W Warszawie odnotowano absolutne minimum, najniższy z obserwowanych stanów w okresie prowadzenia pomiarów, który wynosił 55 cm (rzędna wody równa 76,63 m n.p.m., na wodowskazie Warszawa).

Pomiary polegały na określeniu rzędnych zwierciadła wody na omawianym odcinku. Niwelację przeprowadzono w przekrojach pomiarowych zlokalizowanych co 250–300 m

wzdłuż biegu rzeki. Po wykonaniu pomiarów terenowych uzyskano profil zwierciadła wody na rozpatrywanym odcinku.

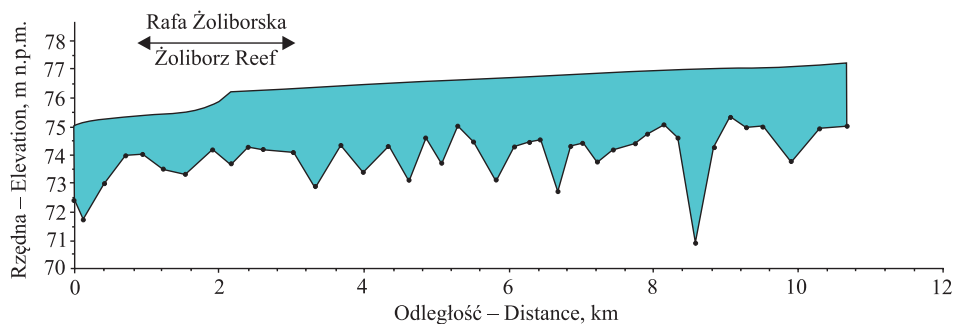
Na podstawie pomierzonych wartości rzędnych lustra wody oraz wykorzystując wyniki badań hydrometrycznych z 2008 r., stworzono jednowymiarowy model warszawskiego odcinka Wisły w programie HEC-RAS (wersja 4.1.0) dla przepływu ustalonego. Posłużył on do prognozy skutków obniżenia lub podwyższenia rzędnych naturalnej rafy w korycie Wisły w rejonie Żoliborza. Wyniki modelowania pozwoliły na ocenę warunków przepływu w korycie Wisły oraz symulacji warunków przepływu, do których doszłoby w wyniku kontynuowania prac bagrowniczych.

Wykonanie modelu

Pierwszym krokiem w tworzeniu modelu w programie HEC-RAS było zbudowanie geometrii modelu. Określono przebieg rozpatrywanego odcinka cieką i wprowadzono informacje o przekrojach poprzecznych rzeki (wyniki badań dna rzeki z 2008 r.) [Zmiany... 2009]. Drugim etapem tworzenia modelu było ustalenie warunków przepływu, jakie panowały na rozpatrywanym odcinku rzeki. W modelu podstawowym, odzwierciedlającym stan Wisły podczas pomiarów terenowych (niżówka w 2012 r.), przyjęto wielkość przepływu równą $190 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Następnie, mając do dyspozycji dane uzyskane podczas pomiarów terenowych, zadano warunek brzegowy: rzędną zwierciadła wody w najniższym położonym przekroju.

Po zbudowaniu modelu przystąpiono do wytarowania modelu, czyli takiego dopasowania współczynników szorstkości dla każdego z przekrojów, aby rzędne zwierciadła wody w tych przekrojach zgadzały się z rzędnymi uzyskanymi podczas pomiarów terenowych. Otrzymane wartości współczynników szorstkości Manninga dla całego modelu wahały się pomiędzy wartościami 0,005 a 0,140. Według tablic Ven Te Chowa współczynnik szorstkości dla rzek dużych powinien mieścić się w przedziale $0,025 \div 0,060$, należy jednak pamiętać, że współczynnik „n” uwzględnia nie tylko czynnik odpowiadający realnej szorstkości koryta determinowanej przez rodzaj pokrycia dna, ale także wszelkie przeszkody naturalne i sztuczne, w postaci budowli hydrotechnicznych, przestrzeni martwych i innych, które wpływać mogą na zakłócanie przepływu oraz błędy pomiaru dna w poszczególnych przekrojach. Taka zmienność współczynnika szorstkości może wynikać z lokalnych zmian spadków dna, która uwypukla się przy małych przepływach. Na tym etapie obliczeń priorytetem było otrzymanie modelu jak najlepiej odzwierciedlającego rzeczywistą sytuację podczas niżówki, dlatego zdecydowano się zwiększyć zakres zastosowanych wartości współczynnika szorstkości [Bara i Walewska 2013].

Wynikiem wytarowania modelu było otrzymanie profilu badanego odcinka, który przedstawiono na ryc. 2.



Ryc. 2. Profil badanego odcinka utworzony na podstawie pomiarów terenowych (źródło: HEC-RAS)
 Fig. 2. Examined section's profile created on the base of field measurements (from: HEC-RAS)

SYMULACJA WYSOKOŚCI RAFY

Po utworzeniu modelu podstawowego przystąpiono do modyfikacji wysokości Rafy Żoliborskiej w celu sprawdzenia, jaki wpływ na położenie zwierciadła wody w Warszawie ma obecność omawianej struktury geomorfologicznej. Obliczenia zrealizowano dla jednego przepływu, równego $190 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

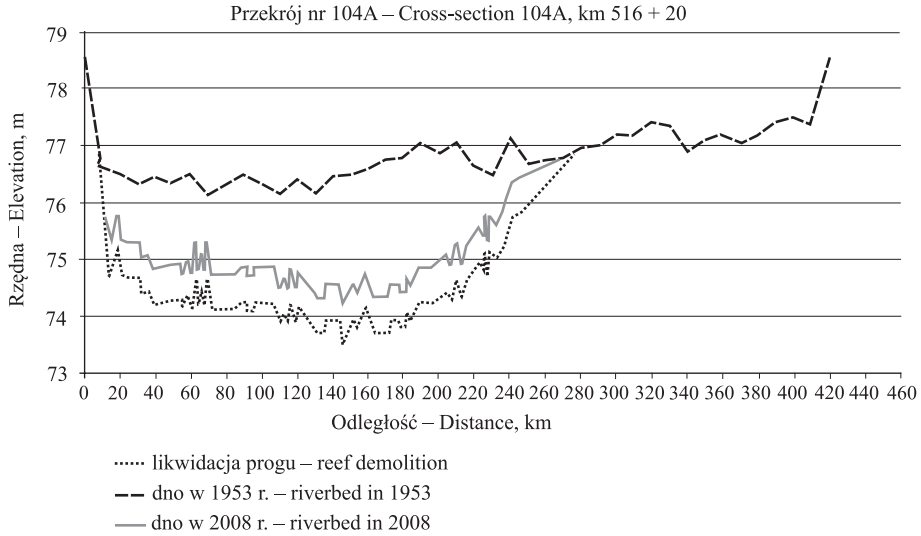
Rafę Żoliborską zdefiniowano jako odcinek dna Wisły w Warszawie położony w rejonie Żoliborza pomiędzy km 515+56 a km 517+91, co w modelu podstawowym odpowiadało 9 przekrojom poprzecznym zlokalizowanym w dolnym fragmencie odcinka.

Modyfikacji wysokości Rafy dokonano w dwóch wariantach. W wariantcie I obniżono rzędną Rafy o około $0,2 \div 1,0 \text{ m}$, przez co została ona całkowicie zlikwidowana. W wariantcie II podwyższono Rafę poprzez przywrócenie rzędnych dna sprzed ok. 50 lat (dane pochodzące z 1953 r.). Przykładowa modyfikacja przekroju poprzecznego w obydwu wariantach została przedstawiona na ryc. 3 (obniżenie rzędnych Rafy – linia kropkowana, podwyższenie rzędnych Rafy – linia przerywana).

W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano zmienione rzędne zwierciadła wody na całym rozpatrywanym odcinku. Wpływ zmian wysokości Rafy Żoliborskiej na układ zwierciadła wody w poszczególnych wariantach przedstawiono na ryc. 4 i ryc. 5.

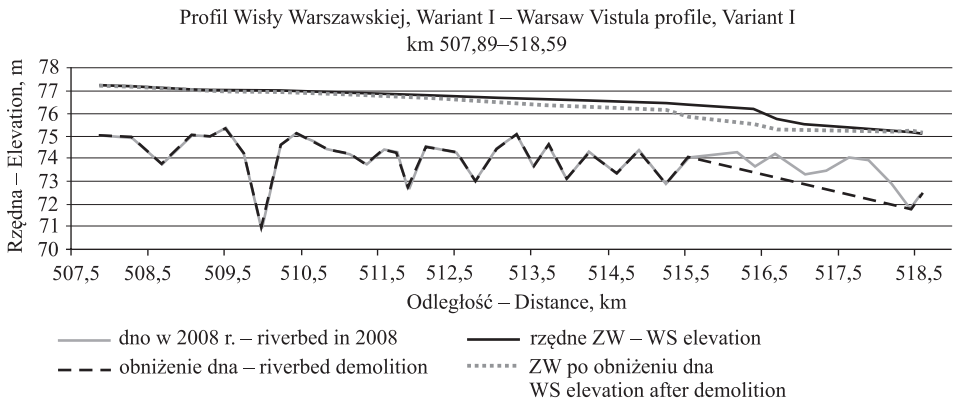
Z powyższych wykresów wynika, że zarówno obniżenie rzędnych Rafy Żoliborskiej, jak i ich podwyższenie będzie miało znaczenie dla przekrojów położonych powyżej, w centralnej części miasta.

W pierwszym wariantcie, po obniżeniu rzędnych Rafy uzyskano spłaszczenie profilu zwierciadła wody przed samą Rafą. Maksymalna różnica rzędnych pomiędzy profilem podstawowym a profilem po obliczeniach wynosi $0,65 \text{ m}$ i jest ona zlokalizowana w jednym z przekrojów poprzecznych na Rafie. Różnice rzędnych przekraczające pół metra utrzymują się na odcinku o długości około 1 km . Idąc w górę rzeki, wpływ zmiany wysokości Rafy Żoliborskiej powoli zanika, a różnica pomiędzy rzędnymi spada do zaledwie ok. $3\text{--}4 \text{ cm}$. W okolicy dawnej Elektrociepłowni Powiśle rzędna zwierciadła wody w stosunku do rzędnej pomierzonej podczas badań terenowych obniżyła się o 14 cm , zaś w rejonie ujęcia centralnego rzędna zwierciadła wody była mniejsza o 5 cm (tab. 1).



Ryc. 3. Przykładowy przekrój poprzeczny Wisły po modyfikacjach

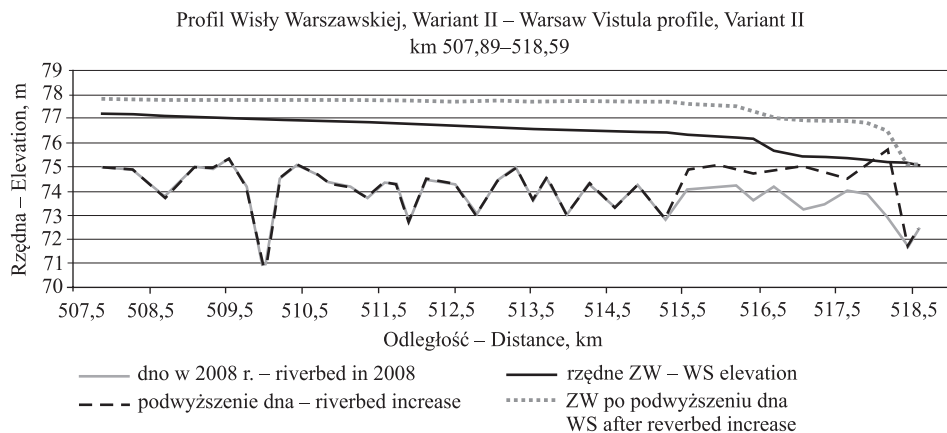
Fig. 3. Example of cross-section of the Vistula River after channel modifications



Ryc. 4. Profil Wisły na rozpatrywanym odcinku w Wariancie I, km 507,89–518,59

Fig. 4. Examined Vistula section's profile in Variant I, km 507.89–518.59

Na profilu podłużnym rozpatrywanego odcinka po podwyższeniu rzędnych Rafy Żoliborskiej widać znaczne różnice pomiędzy profilem podstawowym a tym uzyskanym podczas symulacji. Największe różnice ponownie występują w przekrojach zlokalizowanych na Rafie i wynoszą nieco ponad 1,5 m. W przekroju zlokalizowanym najwyżej i najbardziej oddalonym od Rafy (km 507+89) różnica ta wynosi około 0,6 m. Można wnioskować, że cofka powstała wskutek spiętrzenia wody na Rafie Żoliborskiej sięga dużo dalej niż górna granica modelowanego odcinka rzeki. W rejonie dawnej Elektrociepłowni Powiśle rzędna lustra wody wzrosła o 80 cm, a przy ujęciu centralnym aż o 109 cm (tab. 1).



Ryc. 5. Profil Wisły na rozpatrywanym odcinku w Wariancie II, km 507,89–518,59
Fig. 5. Examined Vistula section’s profile in Variant II, km 507.89–518.59

Tabela 1. Rzędne zwierciadła wody przy ujęciu centralnym i dawnej Elektrociepłowni Powiśle po obliczeniach
Table 1. Water surface elevations next to central intake and old Elektrociepłownia Powiśle after the simulations

Modyfikacja dna Riverbed modification	km rzeki km of river	Lokalizacja Localization	Rzędna dolnej krawędzi konstrukcji m n.p.m. Elevation of lowest edge of the construction m a.s.l.	ZW z pomiarów m n.p.m. WS from field measurements m a.s.l.	ZW po modyfikacji rąfy m n.p.m. WS after reef modification m a.s.l.
Obniżenie Demolition	509+80	ujęcie centralne	77,70	77,01	76,96
	512+90	dawna Elektrociepłownia Powiśle	77,35	76,66	76,52
Podwyższenie Increase	509+80	ujęcie centralne	77,70	77,01	77,81
	512+90	dawna Elektrociepłownia Powiśle	77,35	76,66	77,75

Okazuje się, że po podwyższeniu rzędnych Rąfy Żoliborskiej rzędne zwierciadła wody w rejonie obydwu ujęć przy tak niskim przepływie są wyższe niż rzędne dolnych krawędzi konstrukcji tych ujęć, co wskazuje, że możliwy byłby grawitacyjny pobór wody z Wisły zarówno w okolicy ujęcia centralnego, jak i dawnej Elektrociepłowni Powiśle.

WNIOSKI

Wyniki obliczeń wykonanych za pomocą programu HEC-RAS wskazują, że wysokość Rafy Żoliborskiej ma duże znaczenie dla odcinka Wisły położonego powyżej Rafy, w centrum Warszawy do km 508 Wisły.

Po obliczeniowym obniżeniu rzędnych dna Rafy nastąpiło obniżenie rzędnych zwierciadła wody na całym odcinku, co w praktyce mogłoby mieć negatywny wpływ na pracę ujęć infiltracyjnych poprzez zmniejszenie grubości warstwy wody znajdującej nad nimi. Nadbudowa Rafy spowodowała podwyższenie rzędnych zwierciadła wody na całym rozpatrywanym odcinku, co mogłoby umożliwić ponowny grawitacyjny pobór wody z Wisły nawet przy tak niskich przepływach, jakie utrzymywały się na Wiśle podczas pomiarów terenowych.

Po modyfikacji wysokości Rafy Żoliborskiej także warunki żeglugi uległyby zmianie. Obniżenie Rafy umożliwiłoby pokonanie tej przeszkody nawet przy niskich przepływach, za to w przekrojach zlokalizowanych wyżej obniżenie poziomu zwierciadła wody mogłoby źle wpłynąć na możliwości żeglugowe. Podwyższenie Rafy miałyby skutki odwrotne. Poprawiłyby się warunki żeglugi powyżej tej przeszkody, lecz wystąpiłyby trudności w samym jej pokonywaniu.

Trzecim aspektem, który zmieniłby się pod wpływem modyfikacji rzędnych dna w rejonie Rafy Żoliborskiej, byłaby średnia prędkość przepływu. Na przekrojach położonych powyżej Rafy prędkość średnia uległaby zwiększeniu, co mogłoby wywoływać bardziej intensywne procesy erozyjne. W przypadku podwyższania rzędnych dna skutki dotyczące zmian prędkości byłyby przeciwne. Wskutek podwyższenia Rafy nastąpiłoby zmniejszenie prędkości przed wypiętrzaniem dna i towarzyszące mu spowolnienie procesów erozyjnych w korycie. Znacznie wzrosłaby natomiast prędkość wody w końcowych przekrojach Rafy, co mogłoby prowadzić do mocniejszego pogłębiania istniejącego już wyboju za Rafą.

Podsumowując, Rafa Żoliborska ma istotne znaczenie dla całego odcinka Wisły Warszawskiej. Zarówno zlikwidowanie, jak i podwyższenie tej Rafy poskutkowałoby zmianami w górnym fragmencie rzeki. Żaden z wariantów modelowania nie wykazał takich zmian, które byłyby jednoznacznie dobre lub złe. W dalszej perspektywie należałoby zastanowić się, czy możliwe jest pogodzenie wszystkich aspektów wykorzystania Wisły w Warszawie w jednym rozwiązaniu technicznym, które służyłoby całemu miastu.

PIŚMIENNICTWO

- Bara, A., Walewska, J. (2013). Rafa żoliborska jako próg piętrzący, kształtujący warunki przepływu na śródmiejskim odcinku Wisły w Warszawie (km 508–518). Warszawa.
- CBSIPBW „Hydroprojekt”, Centrala (1953). Regulacja rzeki Wisły. Odcinek Warszawski km 500–528, Część C. Inwestor: ZODW w Warszawie (plan z przekrojami koryta w skali 1 : 5000). Warszawa.
- Falkowski, E. (1982). Wisła Mazowiecka. [W:] Wisła. Monografia rzeki. Red. A. Piskozub. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Falkowski, T., Ostrowski, P. (2008). Możliwości, warunki oraz przewidywane skutki usunięcia przeszkód podwodnych na szlaku żeglugowym Wisły w km 508–520. Maszynopis. Biuro Ochrony Środowiska Urzędu m.st. Warszawy, Warszawa.

- Kondracki, J. (2011). Geografia regionalna Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kuźniar P. (1998). Zmienność pionowego układu dna koryta oraz zwierciadła wody Wisły w rejonie Warszawy. [W:] Mat. V Seminarium Instytutu Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego. Politechnika Warszawska, Warszawa.
- Zmiany pionowego układu zwierciadła wody oraz morfologii dna koryta Wisły Warszawskiej na odcinku od km 497 do km 527 w świetle materiałów archiwalnych i wyników pomiarów 2008 r. (2009). Praca zbiorowa niepublikowana. Warszawa.

INFLUENCE OF ŻOLIBOŹ REEF ON FLOW CONDITIONS FOR DOWNTOWN SECTION OF VISTULA RIVER IN WARSAW (KM 508–518)

Abstract. Discussion in this paper concerns the elevation of water surface along Warsaw's Vistula River section on the base of field measurements. They have allowed to create a model of this section of river for steady flow in HEC-RAS software (version 4.0.1), whereby simulations were performed for different flow conditions. On the basis of simulations' results an attempt to determine the significance of Reef in Żoliborz for the downtown section of the Vistula River in Warsaw was made. The analysis showed that it is an important element in the longitudinal profile of the river and impacts water surface level along Warsaw's Vistula River.

Key words: fluvial morphology, Middle Vistula River, Żoliborz Reef

XXXIII OGÓLNOPOLSKA SZKOŁA HYDRAULIKI – Zakopane 2014

Zorganizowana pod patronatem

Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk

przez

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Dofinansowanie:

Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie

Wydanie publikacji zostało dofinansowane przez MGGP S.A.



Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 19.03.2015

Do cytowań – For citation: Sosnowska, A. (2015). Wpływ Rafy Żoliborskiej na warunki przepływu na śródmiejskim odcinku Wisły w Warszawie (km 508–518). *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 14(1), 179–188.

