

MICHAŁ WIERZBICKI, MATEUSZ HÄMMERLING

Katedra Budownictwa Wodnego
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

PRZEPŁYW WODY W KORYCIE RZEKI PROSNY W WARUNKACH JAZÓW PIĘTRZĄCYCH

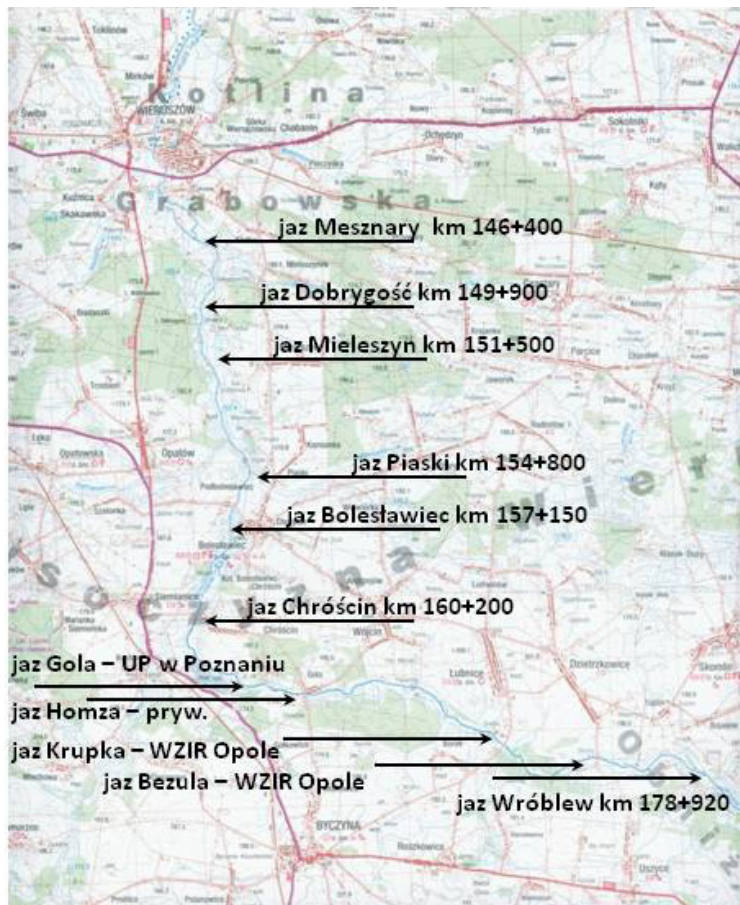
Streszczenie. W pracy opisano badany odcinek rzeki Proсны między jazami: Dobrygość (km 149+900) i Mieleşzyn (km 151+500). Przedstawiono problematykę związaną z wpływem zabudowy koryta na warunki hydrauliczne przepływu wody. Przedstawiono wyniki pomiarów terenowych i obliczeń hydraulicznych wybranego odcinka rzeki Proсны. Badania przeprowadzono dla różnych warunków wielkości przepływu wody, piętrzenia wody na jazach i dla różnego porostu roślinności. Wyniki przedstawiono w postaci różnych scenariuszy w zależności od warunków zadanych w korycie rzeki.

Słowa kluczowe: hydraulika koryt rzecznych, jaz, piętrzenie, współczynnik szorstkości, układ zwierciadła wody

Wstęp

Rzeka Proсны na odcinku powyżej Wieruszowa została w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku uregulowana i ustabilizowana poprzez budowę jazów piętrzących i progów stabilizujących. W sumie na odcinku 32,5 km wykonano 11 jazów piętrzących – od jazu Mesznary w km 146+400 do jazu Wróblew w km 178+920 (rys. 1). Pierwotnym celem budowy jazów piętrzących były nawodnienia dla celów rolniczych oraz pobór wody na potrzeby stawów. Obecnie na części jazów zlikwidowano piętrzenie (brak zamknięć oraz pozwoleń wodnoprawnych), a na części gospodarka wodna prowadzona jest przez osoby prywatne.

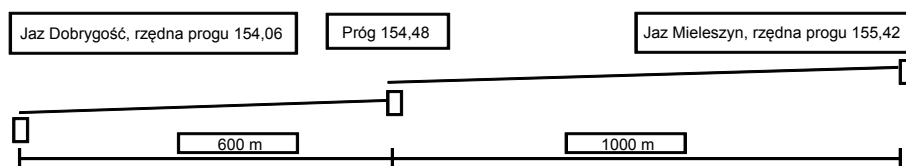
Pomimo utraty swego pierwotnego znaczenia jazy nadal istotnie wpływają na warunki przepływu wody w korycie rzeki Proсны (WIERZBICKI 2007 b). Wpływ uwidacznia się w zmianie układu zwierciadła wody i przepustowości koryta rzeki na skutek piętrzenia, w zmianie działania progów jazów pozbawionych piętrzenia i progów stabilizujących, w zmianie zabudowy koryta, co oddziałuje na procesy korytowe: erozję i akumulację rumowiska oraz w zmianie oddziaływania piętrzenia na tereny przyległe.



Rys. 1. Rzeka Proсны – odcinek zabudowany jazami piętrzącymi
 Fig. 1. The Prosna River – section with weirs

Na oddziaływanie jarów na przepływ wody nakłada się wpływ roślinności (HYDRAULICZNE... 2003), która w warunkach podpiętrzenia zwierciadła wody istotnie zmienia warunki hydrauliczne na badanym odcinku rzeki Proсны.

Badania wykonano na odcinku rzeki Proсны pomiędzy jazami Dobrygość (km 149+900) a Mieleszyn (km 151+500) (rys. 1). Budowle te wykonane były na początku lat siedemdziesiątych XX wieku w ramach kompleksowej regulacji rzeki Proсны. Pomiędzy jazami zlokalizowany jest próg stabilizujący (km 150+500) (rys. 2) mający za zadanie zmniejszyć spadek podłużnego uregulowanego odcinka rzeki. Na jazie Dobrygość realizowane jest piętrzenie i prowadzona jest gospodarka wodna na podstawie pozwolenia wodnoprawnego na potrzeby stawów LZD Siemianice, natomiast na jazie Mieleszyn usunięte zostały zamknięcia, stąd wpływ jazu ogranicza się do oddziaływania progu i zawężonego światłem jazu przekroju poprzecznego. Pomimo likwidacji zamknięć jaz wciąż jest obiektem do wykorzystania.



Rys. 2. Schemat obliczeniowy badanego odcinka rzeki Prosny
Fig. 2. The calculation scheme of the investigated section of the Prosna River

Badania

Badania terenowe obejmowały: pomiary inwentaryzacyjne jazów, pomiary przekrojów poprzecznych koryta, pomiary prędkości przepływu wody w rzece oraz pomiar układu zwierciadła wody. Dane pomiarowe stanowiły punkt wyjścia obliczeń hydraulicznych badanego odcinka rzeki Prosny (rys. 2). Obliczenia podzielono na dwa etapy. W pierwszym określono parametry hydrauliczne, które stanowiły podstawę symulacji modelowych w ramach założonych scenariuszy. W pierwszym etapie wyznaczono charakterystykę hydrauliczną jazu Dobrygość (KISIEL 2005, OBLICZENIOWE... 2008): krzywą natężenia przepływów stanowiska dolnego, krzywą wydatku całkowitego otwartego jazu oraz krzywe otwarcia zasuw przy stałym poziomie piętrzenia. Na podstawie danych pomiarowych obliczono wielkość przepływu wody w korycie i wartość współczynnika szorstkości n (BEDNARCZYK i DUSZYŃSKI 2008, KUBRAK 1998, HYDRAULICZNE... 2003) w warunkach badania.

Wstępne określenie parametrów hydraulicznych oraz wyniki pomiarów terenowych badanego odcinka stanowiły punkt wyjścia obliczeń hydraulicznych na modelu matematycznym Hec-Ras 3.1.3 (HEC-RAS... 2002) według schematu przedstawionego na rysunku 2. Obliczenia na modelu przeprowadzono dla ruchu ustalonego według założonych scenariuszy: przy braku piętrzenia i ze stałym poziomem piętrzenia na jazie Dobrygość w warunkach różnych wielkości przepływu wody Q i różnych wartości współczynnika szorstkości n reprezentujących zmienność sezonową warunków w korycie Prosny na badanym odcinku. Za graniczny przepływ Q przyjęto $17 \text{ m}^3/\text{s}$; przy tym przepływie poziom wody na jazie Dobrygość w warunkach w pełni otwartych zasuw jest równy normalnemu poziomowi piętrzenia (WIERZBICKI 2007 a). Otrzymane wyniki zestawiono i porównano ze sobą.

Wyniki

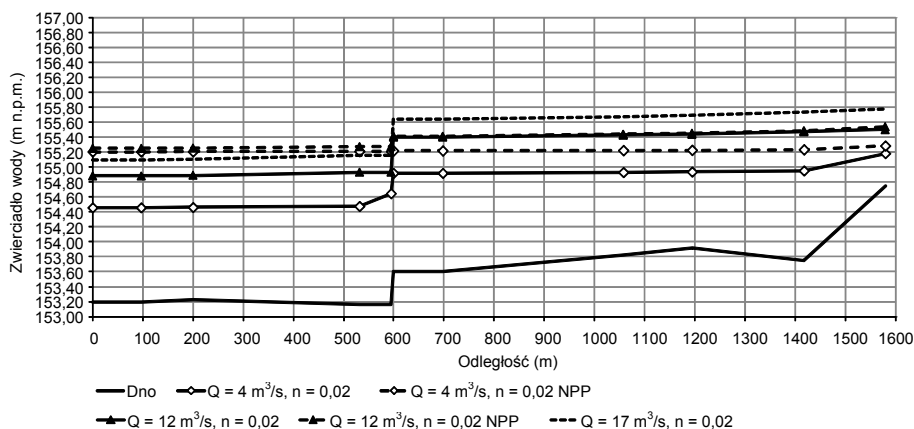
Badania terenowe wykazały, że na badanym odcinku koryto rzeki Prosny jest regularne, ma szerokość w granicach 15-16 m i maksymalna głębokość (od dna do korony skarp brzegów) 2,5-3,0 m. Jaz Dobrygość i jaz Mieleszyn są budowlami o podobnej konstrukcji: światło jazów stanowią trzy przęsła po 3,12 m szerokości.

Wyniki pomiarów terenowych stanowiły podstawę obliczeń hydraulicznych badanego odcinka rzeki Prosny. Wyznaczono charakterystykę hydrauliczną jazu Dobrygość (krzywe wydatku) oraz wartości współczynników szorstkości odpowiadające pomierzonemu układowi zwierciadła wody przy różnych wartościach ich przepływu (tab. 1).

Tabela 1. Wartości obliczonych współczynników szorstkości
Table 1. Values of calculated roughness coefficient

Okres (data pomiaru)	Współczynnik szorstkości
Zima, wczesna wiosna (luty, marzec 2008 r.)	0,02
Lato (lipiec 2007 r.)	0,05-0,06
Jesień (październik 2008 r.)	0,03-0,04

Wynikiem obliczeń jest układ zwierciadła wody w profilu podłużnym na badanym odcinku w warunkach cofki wywołanej oddziaływaniem jazu Dobrygość – przy stałym poziomie piętrzenia i przy braku piętrzenia na jazu dla rozpatrywanych przepływów (rys. 3). Poziom wody jest wyższy podczas stałego poziomu piętrzenia, a przepływem granicznym jest przepływ rzędu $17,0 \text{ m}^3/\text{s}$, przy którym poziom wody na całkowicie otwartym jazu odpowiada normalnemu poziomowi piętrzenia. Większe różnice pomiędzy poziomami wody w zależności od występowania bądź braku piętrzenia na jazu Dobrygość występują przy niższych przepływach ($Q = 4 \text{ m}^3/\text{s}$) na odcinku dolnym pomiędzy jazem Dobrygość a progiem stabilizującym (rys. 2, 3).

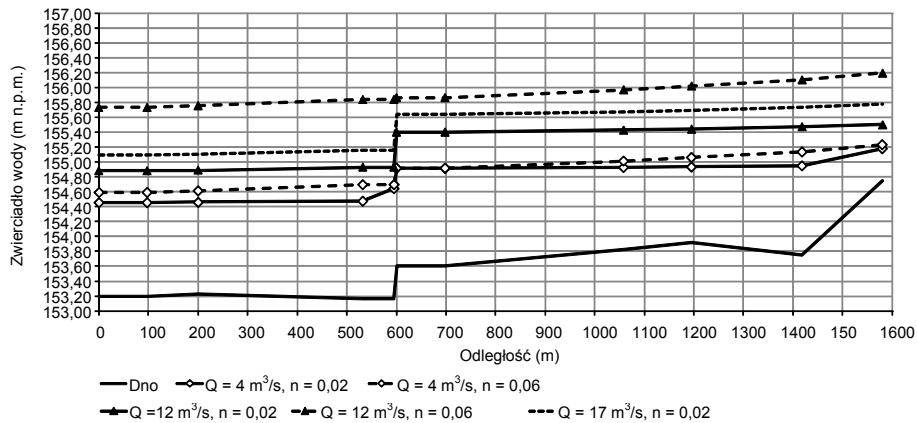


Rys. 3. Układ zwierciadła wody w profilu podłużnym w warunkach stałego poziomu piętrzenia i przy braku piętrzenia na jazu Dobrygość

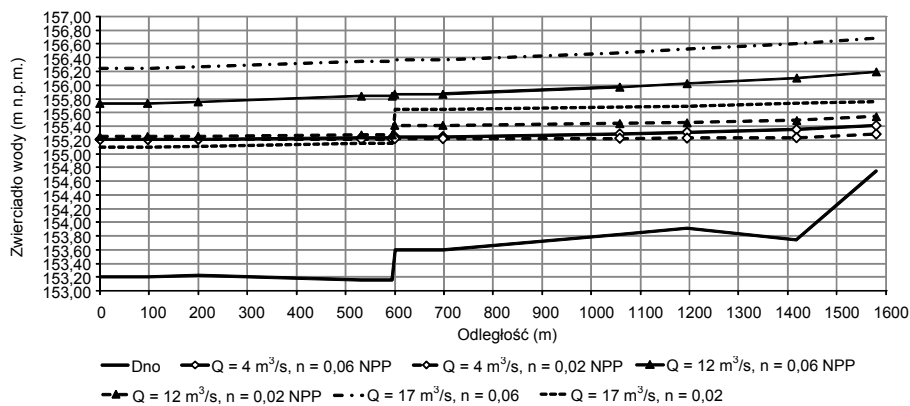
Fig. 3. Water levels in longitudinal profile in a stable water level situation and in totally opened gates situation at the Dobrygość weir

Ważnym elementem wpływającym na układ zwierciadła wody na badanym odcinku jest zależność poziomu wody od wartości współczynnika szorstkości n odpowiadających sezonowym zmianom warunków hydraulicznych w korycie w zależności od stadium rozwoju roślinności (BEDNARCZYK i DUSZYŃSKI 2008, HYDRAULICZNE... 2003). Obliczenia hydrauliczne dla badanego odcinka wykonano dla przepływów: $4 \text{ m}^3/\text{s}$ (SQ), $12 \text{ m}^3/\text{s}$ (SWQ), $17 \text{ m}^3/\text{s}$ oraz dla wartości współczynników szorstkości n charakterystycznych dla różnych okresów roku: 0,02 (zima), 0,04 (wiosna), 0,06 (lato, jesień), obliczonych na podstawie badań terenowych.

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki obliczeń układu zwierciadła wody na badanym odcinku w warunkach braku piętrzenia na jazie Dobrygość dla rozpatrywanych przepływów i wartości współczynnika szorstkości $n = 0,02$ i $n = 0,06$, a na rysunku 5 przedstawiono wyniki obliczeń układu zwierciadła wody na badanym odcinku w warunkach stałego poziomu piętrzenia na jazie Dobrygość dla rozpatrywanych przepływów i wartości współczynnika szorstkości $n = 0,02$ i $n = 0,06$.

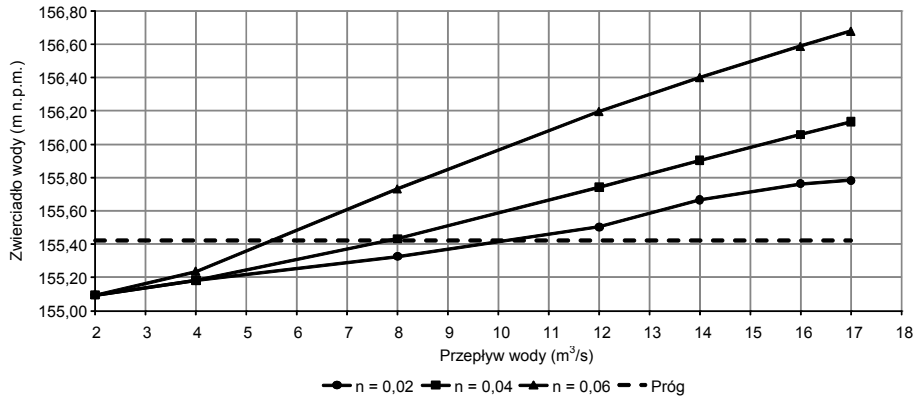


Rys. 4. Układ zwierciadła wody w profilu podłużnym przy braku piętrzenia na jazie Dobrygość – różne wartości współczynnika szorstkości
Fig. 4. Water levels in longitudinal profile in totally opened gates situation at the Dobrygość weir – different values of roughness coefficient



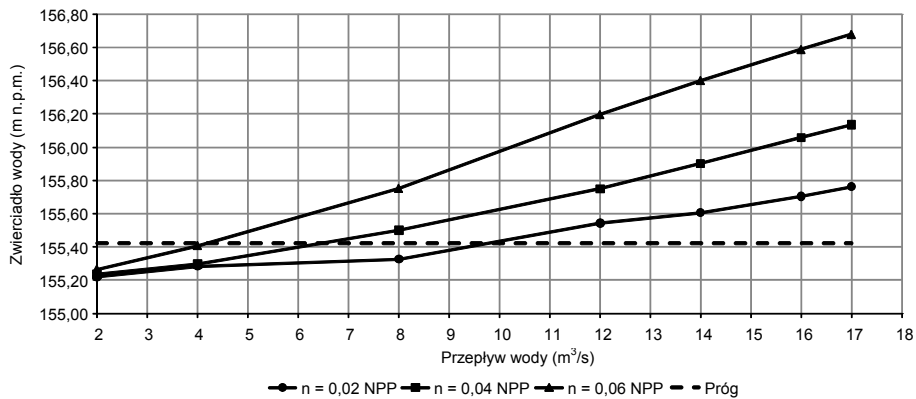
Rys. 5. Układ zwierciadła wody w profilu podłużnym w warunkach stałego poziomu piętrzenia na jazie Dobrygość – różne wartości współczynnika szorstkości
Fig. 5. Water levels in longitudinal profile in stable water level situation at the Dobrygość weir – different values of roughness coefficient

Wpływ zmian szorstkości koryta na układ zwierciadła wody na badanym odcinku rzeki Prosnicy jest dodatkowo widoczny po analizie zmian poziomu zwierciadła wody na stanowisku dolnym jazu Mieleszyn. Na rysunku 6 przedstawiono zmiany poziomu zwierciadła wody na stanowisku dolnym jazu Mieleszyn w warunkach braku piętrzenia na jazu Dobrygość, a na rysunku 7 przedstawiono zmiany poziomu zwierciadła wody na stanowisku dolnym jazu Mieleszyn w warunkach stałego poziomu piętrzenia na jazu Dobrygość.



Rys. 6. Zmiany poziomu zwierciadła wody na dolnym stanowisku jazu Mieleszyn przy braku piętrzenia na jazu Dobrygość – różne wartości współczynnika szorstkości

Fig. 6. Changes of water levels in the Mieleszyn weir downstream cross-section in totally opened gates situation at the Dobrygość weir – different values of roughness coefficient



Rys. 7. Zmiany poziomu zwierciadła wody na dolnym stanowisku jazu Mieleszyn w warunkach stałego poziomu piętrzenia na jazu Dobrygość – różne wartości współczynnika szorstkości

Fig. 7. Changes of water levels in the Mieleszyn weir downstream cross-section in stable water level situation at the Dobrygość weir – different values of roughness coefficient

Dyskusja

Badania wybranego odcinka rzeki Proсны obejmowały pomiary terenowe i obliczenia hydrauliczne. Wyniki wskazują, iż zabudowa koryta rzeki Proсны poprzez jazy piętrzące oraz progi stabilizujące istotnie wpływa na warunki przepływu wody.

Zabudowa koryta jazami piętrzącymi powoduje podniesienie poziomu zwierciadła wody w korycie zarówno w warunkach braku piętrzenia, jak i w warunkach stałego poziomu piętrzenia (rys. 3). W warunkach braku piętrzenia na jазie Dobrygość (zamknięcia w pełni otwarte) cofka wynika ze zwężenia przekroju poprzecznego koryta światłem jazu, natomiast w warunkach stałego poziomu piętrzenia na jазie Dobrygość cofka jest wynikiem sztucznego utrzymywania piętrzenia. Przy założonej stałej wartości współczynnika szorstkości układ zwierciadła wody jest pochodną wielkości przepływu wody w korycie (rys. 3). Przepływem, przy którym poziom wody na jазie Dobrygość odpowiada założonemu poziomowi piętrzenia, jest $Q = 17 \text{ m}^3/\text{s}$. W wypadku wystąpienia w korycie niskich przepływów ($Q \leq 4 \text{ m}^3/\text{s}$) różnice w układzie zwierciadła wody w zależności od wielkości przepływu są większe (niższy poziom zwierciadła wody na otwartym jазie Dobrygość) na odcinku do progu stabilizującego (rys. 2, 3). Układ zwierciadła wody przy większych przepływach ($Q \geq 5 \text{ m}^3/\text{s}$) jest bardziej wyrównany i przy wartości $Q \geq 12 \text{ m}^3/\text{s}$ zwierciadło wody przy całkowicie otwartym jазie Dobrygość niemalże wyrównuje się z układem zwierciadła wody przy stałym poziomie piętrzenia. Działanie progu stabilizującego jest wyraźnie widoczne w wypadku niskich przepływów ($Q \leq 4 \text{ m}^3/\text{s}$) i przy braku piętrzenia na jазie Dobrygość (rys. 3).

Na badanym odcinku wpływ na układ zwierciadła wody, oprócz zabudowy budowlami regulacyjnymi, mają również warunki roślinne, które istotnie zmieniają szorstkość koryta w zależności od stadium rozwoju roślin (sezonowa zmienność wartości współczynnika szorstkości) (tab. 1). Zwiększona szorstkość wywołana rozwojem roślinności powoduje dodatkowe podniesienie poziomu zwierciadła wody na badanym odcinku rzeki Proсны (rys. 4, 5). W wypadku braku piętrzenia na jазie Dobrygość wpływ szorstkości na układ zwierciadła wody nie jest duży przy niskich przepływach wody ($Q \leq 4 \text{ m}^3/\text{s}$), a przy wystąpieniu w korycie przepływów większych ($Q \geq 6 \text{ m}^3/\text{s}$) efekt zwiększonej szorstkości jest wyraźnie widoczny (rys. 4). Poziom wody w korycie podnosi się jako efekt wpływu porostu roślinnością na całym badanym odcinku rzeki. W przypadku stałego poziomu piętrzenia wpływ zwiększonej szorstkości w korycie jest jeszcze bardziej widoczny. Poziom zwierciadła wody podnosi się w wyniku cofki wywołanej piętrzeniem na jазie Dobrygość oraz w wyniku zwiększonej szorstkości. Wpływ roślinności w tym wypadku jest widoczny również przy niskich przepływach wody ($Q \leq 4 \text{ m}^3/\text{s}$) (rys. 5). W takich warunkach próg stabilizujący nie oddziałuje na układ zwierciadła wody (rys. 5).

Wykonane badania pozwalają również przeanalizować zmiany poziomu zwierciadła wody na dolnym stanowisku jazu Mieleszyn w zależności od poziomu piętrzenia na jазie Dobrygość i wartości współczynnika szorstkości dla różnych wielkości przepływu wody w korycie (rys. 6, 7). W warunkach braku piętrzenia na jазie Dobrygość przy współczynniku szorstkości $n = 0,02$ (tab. 1) przepływ, przy którym próg jazu Mieleszyn (155,42 m n.p.m.) jeszcze nie jest zatopiony, wynosi $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (rys. 6), natomiast przy wartości współczynnika szorstkości $n = 0,06$ (tab. 1) przepływ taki jest mniejszy i wy-

nosi $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (rys. 6). Z kolei w warunkach stałego poziomu piętrzenia na jazie Dobrygość przy współczynniku szorstkości $n = 0,02$ (tab. 1) przepływ, przy którym próg jazu Mieleszyn jeszcze nie jest zatopiony, wynosi $9,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (rys. 7), natomiast przy wartości współczynnika szorstkości $n = 0,06$ (tab. 1) przepływ taki jest mniejszy i wynosi $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ (rys. 7). Szorstkość w korycie wywołana roślinnością istotnie zmienia warunki hydrauliczne na dolnym stanowisku jazu Mieleszyn.

Podsumowanie

Pomiary terenowe i obliczenia hydrauliczne pozwoliły na scharakteryzowanie warunków przepływu wody na badanym odcinku rzeki Proсны. Na te warunki mają wpływ przeprowadzone prace regulacyjne (regularny kształt przekroju poprzecznego), zabudowa koryta budowlami piętrzącymi (jazy Dobrygość i Mieleszyn) i stabilizującymi (progi), utrzymywany poziom piętrzenia (jaz Dobrygość) oraz roślinność występująca w korycie (sezonowa zmienność współczynnika szorstkości). Elementy te istotnie wpływają na układ zwierciadła wody na badanym odcinku (zmiany poziomu wody w zależności od przepływu wody, poziomu piętrzenia i wartości współczynnika szorstkości).

Wnioski

1. Badany odcinek jest całkowicie zmieniony w drodze prac regulacyjnych – nastąpiły zmiany układu poziomego, kształtu przekrojów poprzecznych, profilu podłużnego, zabudowa koryta budowlami regulacyjnymi.
2. Działanie jazów wywołuje cofkę, która w wypadku jazu Dobrygość przy przepływie rzędu $10 \text{ m}^3/\text{s}$ sięga dolnego stanowiska jazu Mieleszyn.
3. Na badanym odcinku na układ zwierciadła wody ma wpływ szorstkość. Współczynnik szorstkości n osiąga wartości: dla zimy – $0,02$, dla lata – $0,06$ a dla jesieni – $0,03$.
4. Wpływ roślinności nakłada się na efekt cofki wywołanej piętrzeniem, powodując dodatkowe podpiętrzenie zwierciadła wody w korycie, widoczne zwłaszcza przy przepływach $Q \geq 4 \text{ m}^3/\text{s}$ w przypadku stałego poziomu piętrzenia na jazie Dobrygość.
5. Zmiany warunków przepływu wody w korycie wywołane piętrzeniem na jazie Dobrygość oraz rozwojem roślinności istotnie wpływają na warunki hydrauliczne na jazie Mieleszyn. W przypadku stałego poziomu piętrzenia na jazie Dobrygość próg jazu Mieleszyn jest podtopiony w okresie zimowym przy przepływach $Q \geq 9,5 \text{ m}^3/\text{s}$, a w okresie letnim przy przepływach $Q \geq 4,0 \text{ m}^3/\text{s}$.
6. W przypadku możliwości odtworzenia piętrzenia na jazie Mieleszyn należy przeanalizować wpływ piętrzenia na jazie Dobrygość oraz wpływ sezonowej zmienności współczynnika szorstkości w celu właściwego określenia hydraulicznych warunków przepływu wody na jazie Mieleszyn.

Literatura

- BEDNARCZYK S., DUSZYŃSKI R., 2008. Hydrauliczne i hydrotechniczne podstawy regulacji i rewitalizacji rzek. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
- HEC-RAS river analysis system, user's manual. 2002. US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis.
- HYDRAULICZNE podstawy obliczania przepustowości koryt rzecznych. 2003. Red. J. Kubrak, E. Nachlik. Wyd. SGGW, Warszawa.
- KISIEL A., 2005. Hydrauliczne podstawy wymiarowania typowych wypadów budowli hydrotechnicznych. Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
- KUBRAK J., 1998. *Hydraulika techniczna*. Wyd. SGGW, Warszawa.
- OBLICZENIOWE przykłady wymiarowania typowych wypadów budowli hydrotechnicznych. 2008. Red. A. Kisiel. Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
- WIERZBICKI M., 2007 a. Leśny Zakład Doświadczalny w Siemianicach. Instrukcja gospodarowania wodą na jazie Dobrygość. Maszynopis. Katedra Budownictwa Wodnego AR, Poznań.
- WIERZBICKI M., 2007 b. Leśny Zakład Doświadczalny w Siemianicach. Operat wodnoprawny. Piętrzenie wody rzeki Prosny jazem Dobrygość dla potrzeb stawów Dobrygość. Maszynopis. Katedra Budownictwa Wodnego AR, Poznań.

WATERFLOW CONDITIONS IN THE PROSNA RIVER-BED WITH WEIRS

Summary. This paper presents characteristics of the investigated Prosna River section located between two weirs: the Dobrygość weir (km 149+900) and the Mieleszyn weir (km 151+500). The influence of weirs on waterflow hydraulic conditions is presented. The results of *in situ* measurements and hydraulic calculations of the investigated Prosna River section are presented. The investigations are made for different water discharge, different water levels and different plants growth situations. The results are presented as some scenarios in given river-bed conditions.

Key words: hydraulic of river-beds, weir, raised water level, roughness coefficient, water level

Adres do korespondencji – Corresponding address:

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

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

8.10.2009

Do cytowania – For citation:

*Wierzbicki M., Hämmerling M., 2009. Przepływ wody w korycie rzeki Prosny w warunkach jazów piętrzących. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 3, #106.*

