

ANDRZEJ STRUŻYŃSKI, MACIEJ WYRĘBEK

Katedra Inżynierii Wodnej
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

MODELOWANIE WPŁYWU KANAŁU ULGI ZE ZBIORNIKA PIŃCZOWSKIEGO NA PROCESY HYDROMORFOLOGICZNE W UREGULOWANYM ODCINKU RZEKI NIDY

Streszczenie. Rzeka Nida płynąca w województwie świętokrzyskim została uregulowana na odcinku Rębów–Pińczów. Fragment starorzecza w Pińczowie został przekształcony w zbiornik o charakterze rekreacyjnym, który podlega procesom degradacji ze względu na mało wydajny system odprowadzania wody. Aby poprawić stan zbiornika pińczowskiego, zaproponowano rozbudowę istniejącego systemu zasilania o dodatkowy odprowadzalnik, dzięki któremu możliwe stanie się skrócenie czasu retencji wody. Celem pracy było określenie warunków stabilnego dna rzeki Nidy i określenie reżimu pracy dodatkowego kanału, pozwalającego na zachowanie stabilności piaszczystego dna rzeki Nidy. Z tym zamiarem wykonano symulację komputerową, stosując oprogramowanie CCHE2D, której wyniki zostały użyte do określenia warunków stabilności dna uregulowanego koryta rzeki Nidy i wielkości transportu zarówno podczas normalnej pracy zbiornika, jak i jego przepłukiwania.

Słowa kluczowe: rzeka Nida, zbiornik pińczowski, kanał ulgi, model CCHE2D, erozja

Wstęp

Zbiornik pińczowski powstał w roku 1973 w starym korycie rzeki Nidy przeniesionej na skutek regulacji technicznej. Zbiornik został połączony z rzeką systemem kanałów i starorzeczy. Odprowadzenie wody ze zbiornika odbywa się poprzez mało wydajny przepust drogowy, co powoduje zbyt długotrwałe przetrzymanie wody i związane z tym niekorzystne procesy występujące w czasie zbiornika. W artykule zaprezentowano wyniki obliczeń wpływu eksploatacji i kąta wody wypływającej z dodatkowego rurociągu na stabilność dna rzeki Nidy. Podano również warunki, w jakich można przepłukiwać zbiornik, aby nie powodować nadmiernej degradacji dna rzeki poniżej nowego wylotu wody ze zbiornika.

Celem pracy jest określenie stabilności dna piaszczystego występującego w dnie rzeki Nidy podczas eksploatacji zbiornika wyposażonego w dodatkowy rurociąg w warunkach normalnych, a także przyspieszonej wymiany wody występującej podczas jego przepłukiwania lub powodzi. Aby wykonać model, zastosowano program komputerowy CCHE2D wykorzystujący metodę elementów skończonych i pozwalający na obliczenia transportu rumowiska w korytach rzek.

Lokalizacja i charakterystyka obiektu badań

Zbiornik wodny w Pińczowie (woj. świętokrzyskie) jest płytkim zbiornikiem o głębokości średniej 1 m i powierzchni lustra wody około 9,86 ha. Maksymalna głębokość wody w zbiorniku podczas piętrzenia normalnego wynosi 1,5 m. Zbiornik pełni funkcję rekreacyjną dla Pińczowa. Znajduje się tutaj przystań kajakowa, a w górnej części zlokalizowano kąpielisko. Z uwagi na cenne gatunki małży występujące w dolnej części zbiornika (KORZENIAK i IN. 1996), należy podjąć kroki mające na celu zatrzymanie jego zamulania (BARTNIK 2007).

Przepust drogowy odprowadzający wodę ze zbiornika charakteryzuje się zbyt małą przepustowością osiągającą 170 l/s. Wymagany czas zatrzymania wody w zbiorniku, wynoszący trzy-cztery dni, wobec obecnie występującego siedmiodniowego powoduje, że przepływ stale występujący w zbiorniku powinien się zawierać w granicach 150-450 l/s (STRUŻYŃSKI 2007 b). Z powodu ograniczeń finansowych niemożliwe jest poprawienie obecnie funkcjonującego systemu odprowadzającego wodę ze zbiornika. Dlatego zaproponowano poprowadzenie rurociągu pod terenem lotniska, tak aby dodatkowa objętość wody była odprowadzana wprost do rzeki Nidy (rys. 1) (STRUŻYŃSKI 2007 a, STRUŻYŃSKI i WYRĘBEK 2008).

Istniejący przepust (rys. 1 B) przeprowadza wodę do starorzecza o długości 1400 m. Proponowany rurociąg (rys. 1 A) o długości 190 m poprowadzony rurą betonową ϕ 800 mm ze spadkiem 2,4‰ przy rzędnej piętrzenia wody w zbiorniku 185,85 m n.p.m. osiąga wydatek 900 l/s. Rzędna przelewu o długości korony 9 m przy rzędnej 185,80 m n.p.m. (maksymalne piętrzenie) pozwala na odprowadzenie do Nidy 630 l wody na 1 s, co w sumie umożliwi osiągnięcie przepływu wody przez zbiornik w ilości ponad 800 l/s. Rzędna przelewu jest przewidziana na stałym poziomie 185,69 m n.p.m., a regulacja przepływu przez zbiornik zostanie wykonana poprzez zasuwę zlokalizowane w istniejącym ujęciu bocznym z rzeki.

Rzeka Nida w przekroju Pińczów–most na drodze krajowej nr 766 zamyka zlewnię cząstkową o powierzchni 3352 km². Koryto regulacyjne rzeki Nidy ma szerokość 40 m. Przepływy niskie występujące latem wynoszą od 6 do 9 m³/s, napelnienie wody wynosi średnio około 50 cm, a prędkość przepływu – 0,5 m/s. Spadek dna na uregulowanym odcinku rzeki Nidy w okolicach Pińczowa wynosi 0,61‰ (BARTNIK i IN. 2004). Średnica miarodajna rumoszu dennego wynosi 0,6 mm. Są to piaski średnie, uformowane w naturalnie tworzące się formy denne w kształcie progów osiagających wysokość 0,5 m. Odległości pomiędzy poszczególnymi fałdami dennymi wynoszą od 200 do 300 m. Ze względu na sztuczny charakter odcinka dno jest mało stabilne, a procesy hydromorfologiczne znacznie się różnią od tych, które zachodzą w naturalnym biegu rzeki rozpoczynającym się około 3 km poniżej. Podczas przepływów niskich w rzece



Rys. 1. Zbiornik pińczowski z uregulowanym korytem rzeki Nidy i występującymi formami korytowymi; A – proponowany rurowciąg, B – istniejący rurowciąg (fot. Aeroklub w Pińczowie)

Fig. 1. The Pińczów reservoir with the regulated Nida River bed and with visible bedforms; A – proposed channel, B – existing channel (photo by Aeroklub in Pińczów)

występują warunki sprzyjające powstawaniu zmarszczek lub wydm, natomiast podczas wezbrań wiosennych następuje transport masy i degradacja dna (RADECKI-PAWLIK 2002, STRUŻYŃSKI i WYRĘBEK 2008).

Zastosowane oprogramowanie i metodyka pracy

W artykule skupiono się na określeniu wpływu pracy rurowciągu na warunki hydrodynamiczne panujące w korycie rzeki Nidy i na określeniu optymalnego kąta połączenia tego rurowciągu z korytem rzeki. Podczas sesji pomiarowej zmierzono trzy przekroje rzeczne, a w przekroju zlokalizowanym w pobliżu wylotu rurowciągu dokonano pomiarów prędkości przepływu wody. Na podstawie tych pomiarów wykreślono izotachy i obliczono przepływ metodą Coolmana. Pobrano też próbki rumowiska dennego i dokonano ich przesiewu metodą tradycyjną.

Symulacje komputerowe przeprowadzono za pomocą programu CCHE2D opracowanego na Uniwersytecie Missisipi w USA. Oprogramowanie CCHE2D umożliwia wykonanie modeli quasi-trójwymiarowych opartych na siatce dwuwymiarowej i dokonanie obliczeń rozkładu prędkości przepływu wody z zastosowaniem metody elementów skończonych (ZHANG 2006):

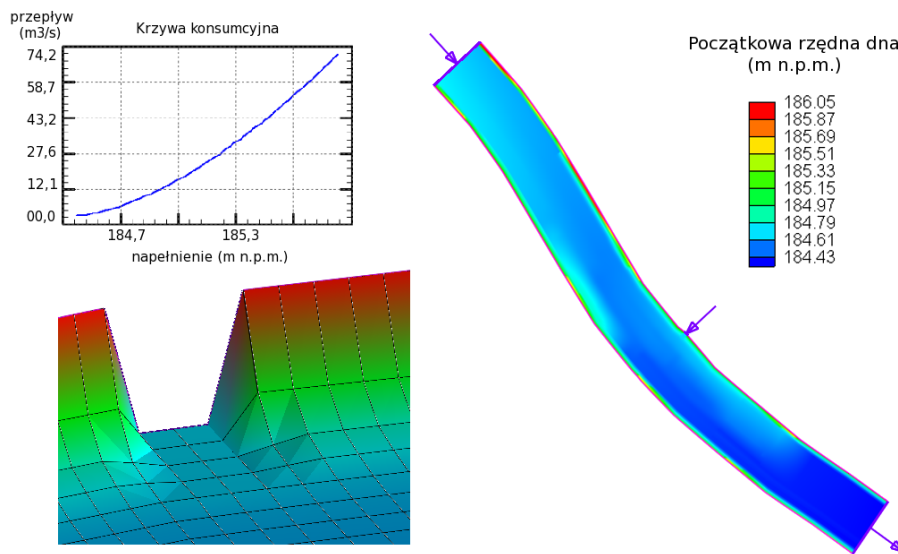
$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{bx}}{ph} + f_{Cor}v$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{by}}{ph} + f_{Cor}u$$

gdzie: u, v – uśrednione prędkości w kierunkach x i y , g – siła przyciągania ziemskiego, Z – poziom zwierciadła wody, h – lokalna głębokość wody, f_{Cor} – parametr Coriolisa, $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{yy}$ – uśrednione na głębokości naprężenia Reynoldsa, τ_{bx}, τ_{by} – naprężenia styczne na powierzchni dna.

Model CCHE2D umożliwia obliczenie transportu materiału wleczonego i unoszonego z zastosowaniem jednej z metod: Wu i in., zmodyfikowanej Ackersa i White'a, zmodyfikowanej Engelunda i Hansena oraz za pomocą modułu SEDTRA, w którym w zależności od średnicy materiału dobierana jest jedna z wymienionych metod (WU 2001). Wizualizacja wyników pracy modelu obejmuje podstawowe parametry hydrauliczne przepływu wody i parametry morfodynamiczne koryt rzek. Siatkę obliczeniową wykonano w CCHE2D Mesh Generator bazując na badaniach terenowych wykonanych w maju 2007 roku i na ortofotomapie (rys. 2). Jako warunki brzegowe wprowadzono objętość przepływu wody dopływającej do rzeki w przekroju początkowym i wypływającej z kanału pod kątem prostym do biegu rzeki. Symulacje komputerowe podzielono na dwa etapy. W pierwszym wykonano modelowanie przepływu w rzece, a w drugim – obliczenia z działającym kanałem. Przeprowadzono symulacje dwóch przepływów



Rys. 2. DEM, krzywa konsumcyjna i siatka obliczeniowa wygenerowana dla modelowanego odcinka rzeki Nidy

Fig. 2. The DEM, rating curve and mesh generated for the modelled section of the Nida River

w rzece: średniego przepływu letniego – 8 m³/s oraz przepływu brzegowego – 40 m³/s. Dla powyższych przepływów w rzece wykonano symulacje przepływów w kanale wynoszących: 0,10, 0,45 i 0,75 m³/s. W dolnym odcinku została zadeklarowana krzywa konsumcyjna obliczona za pomocą równania Chezy'ego. Rumowisko transportowane podczas symulacji opisano krzywą granulometryczną zmierzoną w korycie rzeki Nidy.

Wyniki symulacji komputerowych

Przeprowadzone symulacje pozwoliły na określenie obszarów, w których występują akumulacja i erozja dna. W tabeli 1 przedstawiono wartości odczytane z wizualizacji komputerowej wyników modelowania dla przepływu w rzece bez dopływu ze zbiornika.

Tabela 1. Warunki panujące w Nidzie dla przepływów 8 i 40 m³/s
Table 1. Hydromorphological parameters found in the Nida River for discharges 8 and 40 m³/s

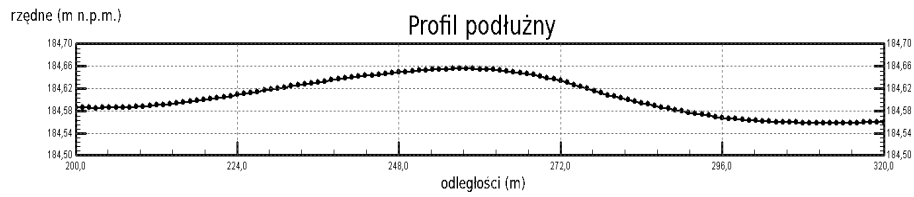
Przepływ (m ³ /s)	Głębokość średnia (m)	Prędkość przepływu średnia / maks. (m/s)	Naprężenia styczne (N·m ²)	Transport rumowiska wlezonego średni / maks. (kg/s)
8	0,4	0,56 / 0,77	4,87	0,07 / 0,2
40	1	1,00 / 1,11	7,65	0,5 / 0,73

Naprężenia graniczne ruchu rumowiska w rzekach z dnem piaszczystym są zwykle przekraczane, co umożliwia wytwarzanie form dennych. W odcinku uregulowanym rzeki Nidy już przy przepływach niskich panują warunki charakteryzujące początek degradacji dna. Prędkości nierozmywające v określone równaniem Szamowa wynoszą 0,33 m/s, a równaniem Mayera-Petera – 0,53 m/s.

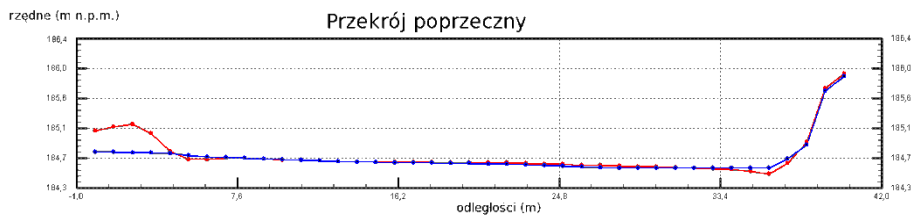
Podobnie jak określone prędkości, warunki ruchu rumowiska wlezonego kwalifikują naprężenia styczne. Naprężenia te dla piasków średnich nie powinny przekraczać 2,94 N/m² (WOŁOSZYN i IN. 1994). Występujący transport frakcji piaszczystej powoduje powstawanie w dnie rzeki rozległych ławic kończących się wysokimi progami. Proces ten został również zaobserwowany podczas symulacji komputerowej.

W pierwszym etapie modelowania zostało wytworzone odsypisko zlokalizowane przy brzegu wklęsłym w okolicy planowanego wylotu kanału, zbliżone kształtem do odsypisk zmierzonych w naturze (rys. 3). Jego powstawanie trwało około 24 h symulowanego czasu przepływu (rys. 4).

Widoczne na rysunku 3 wypływanie powoduje zwiększenie prędkości wody i naprężeń, co skutkuje zwiększonym transportem rumowiska wlezonego. Wydma przesuwana się powoli w kierunku przekroju górnego. Z uwagi na ograniczony czas symulacji prędkość przesuwania się ławicy nie została określona. Program CCHE2D nie pozwala na wykształcanie w profilu prędkości obszarów rewersyjnych, co sprawia, że kształt dolnych partii form dennych jest zbyt łagodny w porównaniu z kształtem form zmierzonych w naturze (rys. 3). Ich całkowita długość jest jednak zbliżona.



Rys. 3. Profil podłużny przez łachę – powierzchnia dna (m n.p.m.)
 Fig. 3. Longitudinal profile of the bank bar – bed elevation (m a.s.l.)



Rys. 4. Przekrój przez koryto na wysokości wylotu z rurociągu: niebieski – stan początkowy koryta, czerwony – koryto po przejściu wezbrania ($Q = 40 \text{ m}^3/\text{s}$)
 Fig. 4. Change of the cross-section near the pipe: blue – initial riverbed, red – channel of the river after flood ($Q = 40 \text{ m}^3/\text{s}$)

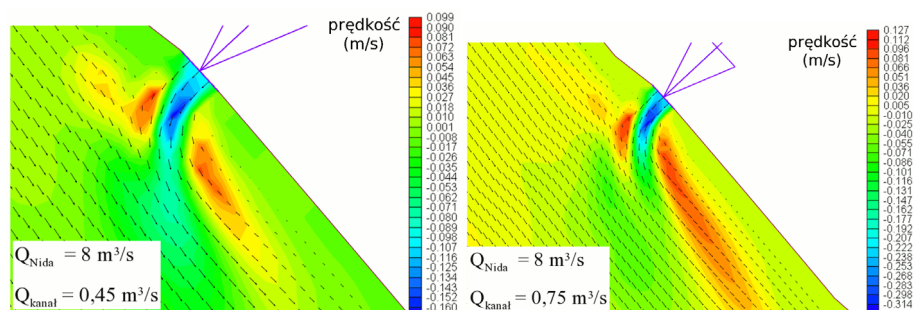
Po ustabilizowaniu dna rozpoczęto symulację uwzględniając pracę pomocniczego rurociągu prowadzącego wodę ze zbiornika. Ze względu na układ zwierciadeł wody w zbiorniku i w rzece, a także na zastosowany spadek rurociągu, możliwa jest jego eksploatacja przy niskich i średnich stanach wody w rzece. Z tego powodu wykonano symulację pracy odprowadzalnika przy przepływie w rzece wynoszącym $8 \text{ m}^3/\text{s}$. Strumień wypływającej wody zniekształca pierwotny układ nurtu w rzece i powoduje rozmycie odsypiska wytworzonego u jego wylotu przez rzekę. Jednocześnie w strefie cienia wywołanej przez wodę wypływającą z kanału zaobserwowano odkładanie się materiału wleczonego (tab. 2). Dane zamieszczone w tabeli 2 zostały określone na podstawie analizy wyników pracy modelu (rys. 5).

Zwiększenie przepływu wody w kanale nie powoduje znaczącej zmiany kształtu korytarza utworzonego w odsypisku rzeki, zmienia się jednak intensywność erozji proporcjonalnie do zmian przepływu. W przypadku wykonania zrzutów rurociągiem pomocniczym do rzeki Nidy erozja dna postępuje z szybkością bliską 2 cm/h (rys. 6).

Czas tworzenia odsypiska w warunkach przepływu bez zrzutów wody ze zbiornika jest zbliżony do czasu jego rozmycia podczas pracy rurociągu.

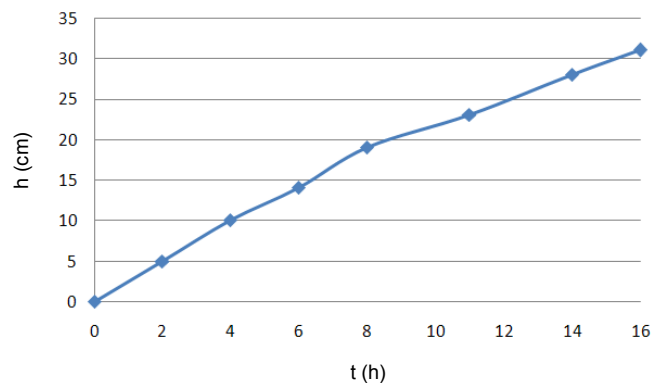
Tabela 2. Parametry strumienia wpływającego z kanału do Nidy dla przepływu w rzece $8 \text{ m}^3/\text{s}$
 Table 2. Parameters of the stream flowing from channel into the Nida River for discharge in the river $8 \text{ m}^3/\text{s}$

Przepływ w kanale (m^3/s)	Zasięg strumienia z kanału (m)		Prędkość maksymalna (m/s)	Maksymalne naprężenia styczne (N/s)	Średnie zmiany rzędnej dna strumień / rzeka (m) + akumulacja, - erozja
	w głąb koryta	w kierunku przepływu			
0,1	–	–	0,27	1,1	0,10 / 0,02
0,45	9	9	0,58	2,43	-0,16 / 0,10
0,75	11,5	10	0,6	2,82	-0,31 / 0,13



Rys. 5. Obszary zmian rzędnej dna rzeki w rejonie oddziaływania strumienia wpływającego ze zbiornika

Fig. 5. Accumulation and degradation areas appearing during the use of additional channel from reservoir



Rys. 6. Rozmycie dna przy wylocie rurociągu podczas przepływu ze zbiornika $Q = 0,75 \text{ m}^3/\text{s}$

Fig. 6. Bed degradation near pipe outlet for discharge from reservoir $Q = 0,75 \text{ m}^3/\text{s}$

Wnioski

W dnie uregulowanego odcinka rzeki zachodzą procesy morfologiczne, które powodują występowanie form dennych o nienaturalnie dużych rozmiarach (200-300 m długości, a wysokość progów średnio 0,5 m). Znajduje to odzwierciedlenie w nadmiernej wielkości transportu rumowiska wlezonego występującego już przy średnich przepływach.

Wyniki modelowania wykonanego za pomocą programu CCHE2D są zbliżone do rezultatów pomiarów terenowych wykonanych wiosną 2007 roku.

Analiza danych zamieszczonych w tabeli 2 i na rysunku 5 pozwala na stwierdzenie, że oddziaływanie wody wypływającej ze zbiornika na koryto rzeki jest niewielkie, a degradacja dna występuje jedynie w bezpośredniej strefie wylotu rurociągu. Aby zachować istniejące odsypisko na brzegu wklęsłym, należy zastosować scenariusz: jedna doba przepłukiwania zbiornika i jedno lub dwie doby odtwarzanie koryta rzeczno-

Literatura

- BARTNIK W., DEŃKO S., STRUŻYŃSKI A., ZAJĄC T., 2004. Renaturyzacja obszaru zlewni Nidy – Koncepcja opracowana dla potrzeb ochrony zasobów przyrodniczych w związku z planami realizacji programu „NATURA 2000”. Drukrol, Kraków.
- BARTNIK W., 2007. Koncepcja poprawy warunków użytkowania zalewu pińczowskiego. Ekspertyza wykonana na zamówienie Urzędu Miejskiego w Pińczowie. Maszynopis. Urząd Miejski, Pińczów.
- RADECKI-PAWLIK A., 2002. Wybrane zagadnienia kształtowania się form korytowych potoku górskiego i form dennych rzeki nizinnej. *Zesz. Nauk. AR Krak. Rozpr.* 281.
- STRUŻYŃSKI A., 2007 a. Koncepcja poprawy warunków użytkowania zalewu pińczowskiego. Ekspertyza wykonana na zamówienie Urzędu Miejskiego w Pińczowie. Maszynopis. Urząd Miejski, Pińczów.
- STRUŻYŃSKI A., 2007 b. Optymalizacja eksploatacji zalewu pińczowskiego w celu zmniejszenia jego zamulenia. *Zesz. Nauk. Infrastr. Ekol. Ter. Wiejsk. Tech. Infrastrukt. Wsi* 4, 2: 179-188.
- STRUŻYŃSKI A., WYŘĘBEK M., 2008. Evaluation of the Nida River main current below the perpendicular flood channel outlet. *Publ. Insit. Geophys. Pol. Acad. Sci.* E-10.
- WOŁOŻYŃ J., CZAMARA W., ELIASIEWICZ R., KRĘŻEL J., 1994. Regulacja rzek i potoków. Wyd. AR, Wrocław.
- WU W.M., 2001. CCHE2D Sediment Transport Model version 2.1. NCCHE Tech. Rep. 03.
- KORZENIAK J., ZAJĄC K., ZAJĄC T., 1996. Historia i charakterystyka rozlewisk środkowej Nidy. Wyd. Zarządu Świętokrzyskich i Nadnidziańskich Parków Krajobrazowych, Kielce.
- ZHANG Y., 2006. CCHE-GUI – Graphical user interface for the NCCHE model. User's manual – Version 3.0. NCCHE, School of Engineering, The University of Mississippi. MS 38677. <http://ncche.olemiss.edu>.

MODELLING OF THE INFLUENCE OF DUCT OUTFLOW FROM THE PIŃCZOWSKI RESERVOIR ON THE HYDROMORPHOLOGICAL PROCESSES IN THE REGULATED PART OF THE NIDA RIVER

Summary. The Nida River which flows in the Świętokrzyskie province was regulated on the distance from Rębów to Pińczów. The old river in Pińczów was transformed into the recreation reservoir in which, due to the low discharge, the degradation processes appear. The improvement of the state and the decreasing of the water retention in the reservoir can be reached after introducing of the additional duct directed water to the Nida River. The purpose of the paper is to describe stable bed parameters in the river as well as the duct exploitation regime supporting the stability of the Nida River sandy bottom. To describe the phenomenon the NCCHE2D simulation was performed. The results were used to describe stability of the regulated river channel and the rate of transported material during the normal exploitation or during the reservoir flush procedure.

Key words: Nida River, the Pińczów reservoir, duct, CCHE2D model, bed erosion

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Andrzej Strużyński, Katedra Inżynierii Wodnej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, Poland, e-mail: rmstruzy@cyf-kr.edu.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

28.04.2009

Do cytowania – For citation:

*Strużyński A., Wyrębek M., 2009. Modelowanie wpływu kanału ulgi ze zbiornika pińczowskiego na procesy hydromorfologiczne w uregulowanym odcinku rzeki Nidy. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 3, #102.*

