

ROZWIĄZYWANIE WĘZŁÓW RZECZNYCH Z UWZGLĘDNIENIEM RUCHU RUMOWISKA

SOLUTION OF RIVER JOINTS TAKING INTO CONSIDERATION SEDIMENT TRANSPORT MOVEMENT

Anna Roszak

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny

Streszczenie. Obliczenia dotyczące rzecznych węzłów rozwidleniowych i połączeniowych są zadaniem skomplikowanym, zawsze bowiem muszą tu być spełnione równania bilansowe przepływu wody i natężenia strumienia rumowiska przy zmieniających się wielkościach hydraulicznych i rumowiskowych. W niniejszej pracy podjęto próbę znalezienia metody uniwersalnej, która mogłaby być stosowana do wszelkich typów węzłów. W pierwszej fazie obliczano rozwidlenia rzeczne. Po rozdzieleniu wód do odnóg za rozwidleniem wyznaczano parametry rumowiskowe, zmieniające się w procesie sortowania, który umożliwiał spełnienie podstawowego warunku, jakim jest bilans natężenia strumienia rumowiska w węźle. W drugiej fazie ustalone parametry wprowadzano do programów obliczeniowych węzłów połączeniowych. Wyniki obliczeń przedstawiono w postaci krzywych natężenia strumienia w funkcji przepływu oraz przebiegu zmian średnic zastępczych, obrazujących nowy skład rumowiska w odnogach za rozwidleniem lub w korycie za połączeniem wraz ze zmianą współczynnika szorstkości.

Abstract. Calculation of junction and bifurcation river joints is complex problem because of necessity of fulfilling of both balance equations of water flow and stream intensity, for changing simultaneously hydraulic and sediment transport values. A trial of finding of satisfying and universal method that could be used for different river joints was taken up. In the first phase the bifurcation river joint was calculated. After water division flowing in arms of a river behind bifurcation, sediment transport parameters were determined. These parameters were changing in sorting process, that makes possible fulfilling of fundamental condition as the balance of sediment transport intensity. In the second phase calculated parameters were entered the calculation programs of junction river joints. The results of calculations in the form of curves of both stream intensity (as the function of water flow)

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Anna Roszak, Wydział Budownictwa i Architektury, Katedra Budownictwa Wodnego, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, al. Piastów 50, 70-311 Szczecin, e-mail: roszak@zut.edu.pl.

and course of equivalent diameters, expressing new composition of sediment transport in arms of a river behind bifurcation or in a main river bed behind junction along with the change of roughness coefficient were finally presented.

Słowa kluczowe: transport rumowiska, przepływ, rozwidlenie rzek, połączenie rzek, współczynnik szorstkości

Keywords: sediment transport, flow, bifurcation of river, junction of river, roughness coefficient

WSTĘP

Węzły rozwidleniowe to rozdział koryta głównego na dwie lub więcej odnóg oraz odejście z koryta głównego kanału zasilającego inny ciek. Z kolei węzły połączeniowe to przede wszystkim dopływy boczne o mniejszym natężeniu przepływu do koryt głównych o większych przepływach oraz łączenie się dwóch rzek o zbliżonych przepływach.

Prawidłowe rozwiązanie każdego typu węzła rzecznoego obejmuje:

1) bilans przepływu wody:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 \text{ (dla rozwidlenia)}$$

$$Q_1 + Q_2 = Q_0 \text{ (dla połączenia),}$$

2) konieczne powiązanie ruchu wody z transportowanym rumowiskiem,

3) bilans natężenia strumieni rumowiska:

$$\omega_0 = \omega_1 + \omega_2 \text{ (dla rozwidlenia)}$$

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_0 \text{ (dla połączenia).}$$

Spełnienie równania bilansowego przepływu wody pozwala w węźle rozwidleniowym dla każdego przepływu w korycie głównym i przyjętym rozdziale na określenie przepływów w odnogach za rozwidleniem, a w węźle połączeniowym dla przyjętych obliczonych przepływów w dwóch korytach na wyznaczenie przepływu w korycie po ich złączeniu. Kluczowym momentem charakterystyki pracy węzła każdego typu jest równoczesne spełnienie obu równań bilansowych, co jednocześnie pozwala każdorazowo zamknąć dany etap obliczeń.

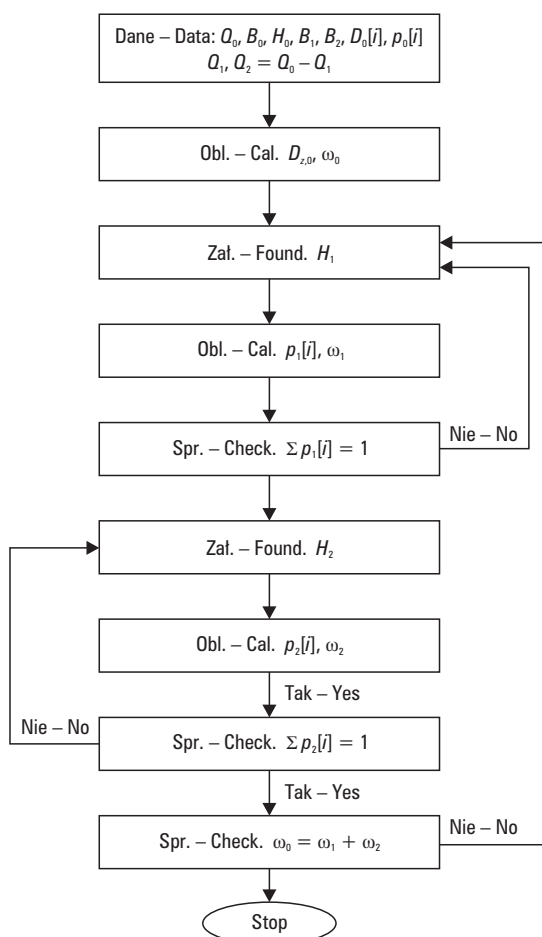
RUMOWISKO

Strumień transportowanego rumowiska ω [$\text{N} \cdot \text{s}^{-1}$] obliczono metodą Ackersa-White'a [Ackers i White 1973], która uwzględnia m.in. przepływ, prędkość dynamiczną, naprężenia styczne przy dnie, prędkość średnią [Coufal i in 1997, Coufal 1999, Roszak 2001]. Ponadto metoda ta bazuje na analizie materiału budującego dno rzeki i stosować ją można dla całego zakresu frakcji piaskowej, zarówno dla pojedynczych koryt rzecznych, jak i dla rozwidleń oraz połączeń rzecznych [Gurram i Karki 2000, Meyer i Roszak 1996].

Niezbędnym elementem opisu ruchu rumowiska w węzłach rzecznych jest analiza składu transportowanego materiału i odpowiedź na pytanie, czy procentowa zawartość danej frakcji ulega zmianie po przepłynięciu wody wraz z rumowiskiem do odnóg za rozwidleniem lub po połączeniu dwóch cieków w jeden oraz czy niektóre frakcje pozostaną nieprzetransportowane. Porównanie składu rumowiska dokonano, wprowadzając średnicę zastępczą D_z [mm], zależną od procentowej zawartości p [%] danej frakcji D [mm] [Jansen i in. 1979].

Po rozdzieleniu wód i rumowiska konieczne było zawsze zsumowanie się natężenia strumienia rumowiska w odnogach za rozwidleniem z natężeniem strumienia rumowiska w korycie głównym – po zbilansowaniu przepływu wody natężenie strumienia rumowiska po połączeniu musiało dać sumę tychże przed połączeniem. Przekroje analizowane w niniejszej pracy położone są bardzo blisko węzła. Po przepłynięciu wód i rumowiska do odnóg za rozwidleniem lub do koryta za połączeniem obliczenia ruchu rumowiska prowadzi się jak dla koryt pojedynczych.

Ruch wód i połączony z nim ruch rumowiska w rozwidleniach i połączeniach koryt rzecznych był przedmiotem wielokrotnych opracowań. Celem niniejszej pracy jest wyjaśnienie – po przeprowadzeniu obliczeń – czy zaproponowana metoda może być stosowana do określenia wielkości przepływu wody i połączonego z nim ruchu rumowiska w każdym typie węzła.



Rys. 1. Schemat blokowy rozwidlenia

Fig. 1. Block diagram of bifurcation

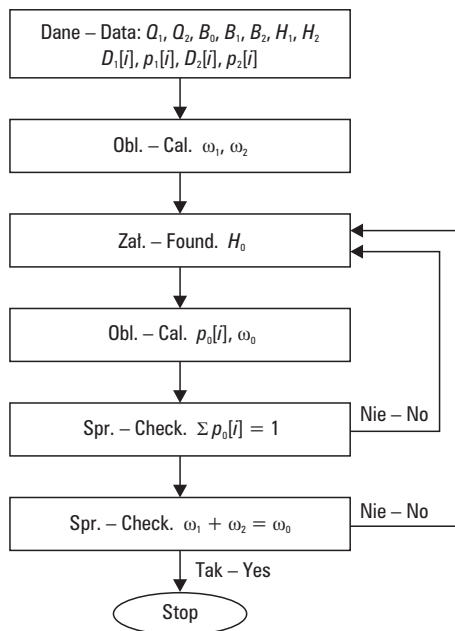
WĘZEL ROZWIDLENIOWY

Jako pierwszy analizowano węzeł rozwidleniowy. Dla przyjętych wielkości hydraulicznych oraz rumowiskowych w przekroju koryta głównego przechodzono do przekrojów koryt odnóg za rozwidleniem. Zagadnienie pracy tego węzła było wielokrotnie prezentowane [Coufal i in. 1997, Roszak 2001]. Z doświadczenia wiadomo było, że skład rumowiska po przepłynięciu do odnóg za węzłem ulega zmianie. W tym przypadku również tak się stało.

Po wprowadzeniu sortowania materiału rumowisko zawsze się zbilansowało. Zmieniały się co prawda procentowe udziały poszczególnych frakcji, ale na zamknięcie każdego etapu obliczeń dawały one w sumie 100% wszystkich frakcji ($\sum p[i] = 1$). Po spełnieniu tego warunku obliczano natężenie strumieni rumowiska w odnogach za rozwidleniem i sprawdzano, czy ich suma daje natężenie strumienia rumowiska w przekroju koryta głównego przed rozwidleniem. Na rys. 1 przedstawiono schemat blokowy do rozwiązywania rozwidleń.

WĘZEL POŁĄCZENIOWY

Po wyznaczeniu składu oraz natężenia strumienia rumowiska w rozwidleniu następnym etapem postępowania była analiza łączenia się wód i rumowiska w węźle połączeniowym. Każdorazowo do obliczeń wprowadzano wielkości hydrauliczne i rumowiskowe, które stosowano w węźle rozwidleniowym. Schemat blokowy do obliczania węzła połączeniowego przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat blokowy połączenia
Fig. 2. Block diagram of junction

WYNIKI OBLICZEŃ

Otrzymane wyniki obliczeń pozwoliły na porównanie w rozwidleniach i połączeniach wielkości:

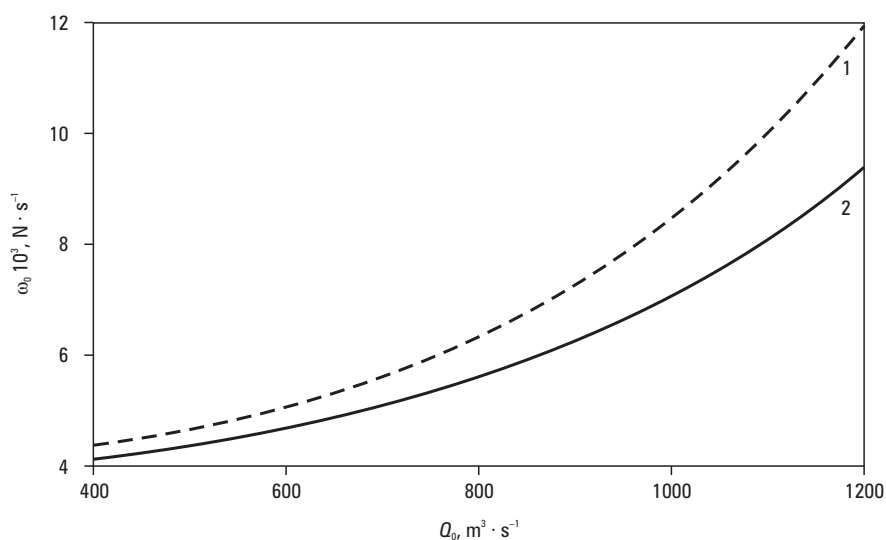
- 1) natężenia strumieni rumowiska w zależności od natężenia przepływu wody,
- 2) składu rumowiska przed przepłynięciem i po przepłynięciu węzła,
- 3) współczynnika szorstkości w zależności od zmiany składu rumowiska.

Ad. 1)

Wraz z rozdziałem lub łączeniem wód zmienia się natężenie strumienia rumowiska. Gdy przyjęło się wyżej sformułowaną zasadę, tylko dla małych przepływów krzywe obrazujące zależność strumienia rumowiska od przepływu były zbliżone w obu typach węzłów.

Ad. 2)

Wielkością charakterystyczną, umożliwiającą porównanie i wizualizację rumowiska na wykresach jest średnica zastępcza D_z , którą w tym przypadku obliczono wg Stricklera-Abramsa. Pozwoliła ona na porównanie składu rumowiska i jego zmianę we wszystkich rozpatrywanych przekrojach.

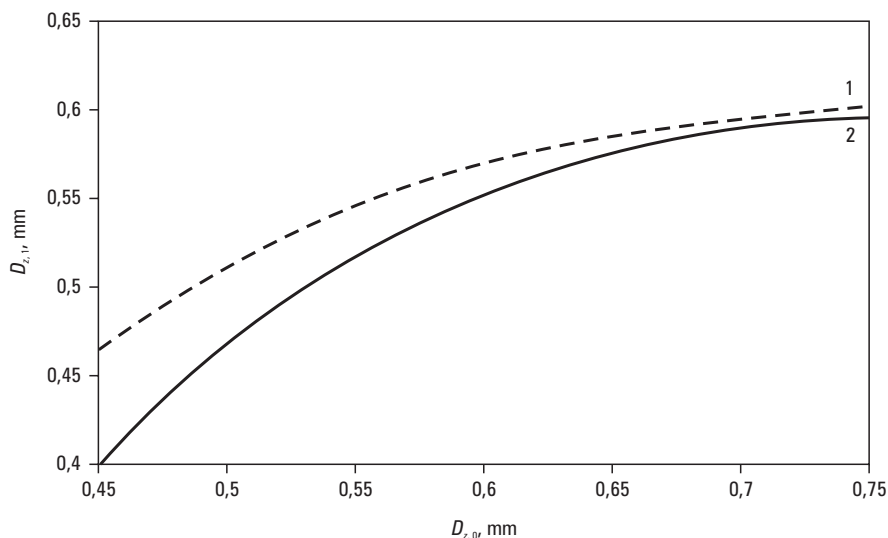


Rys. 3. Wykres zmian $\omega_0 = f(Q_0)$; 1 – przebieg zmian dla rozwidlenia, 2 – przebieg zmian dla połączenia

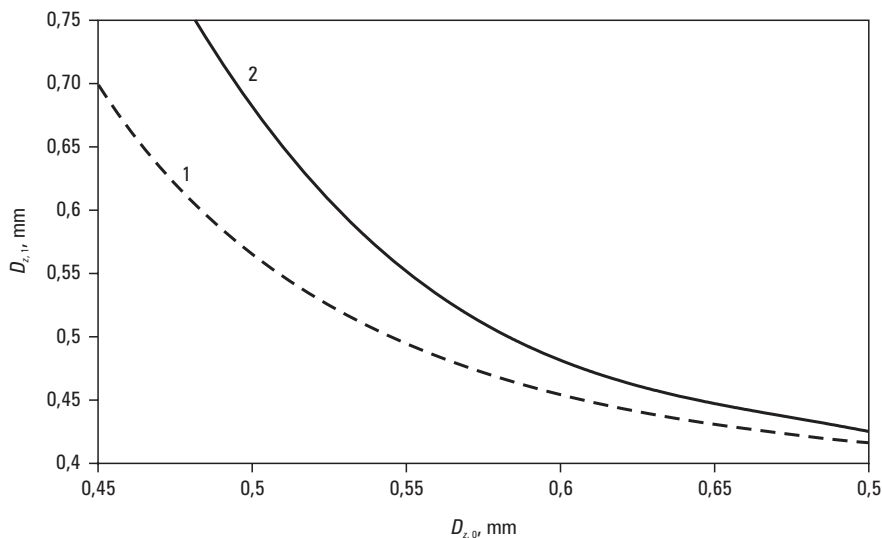
Fig. 3. Graph of changes $\omega_0 = f(Q_0)$; 1 – the course of changes for bifurcation, 2 – the course of changes for junction

Wyniki obliczeń przedstawiono w postaci krzywych zmian średnicy zastępczej $D_{z,1}$ (w korycie pierwszym za rozwidleniem lub przed połączeniem) w funkcji $D_{z,0}$ (w korycie przed rozwidleniem lub po połączeniu) na rys. 4 oraz $D_{z,2}$ (w korycie drugim za rozwidleniem lub przed połączeniem) w funkcji $D_{z,0}$ na rys. 5. Tylko dla dużych średnic

zastępczych rumowiska w korycie głównym $D_{z,0}$ krzywe 1 i 2 przybliżyły się do siebie. W większości skład rumowiska w korycie za połączeniem był różny od składu rumowiska w korycie głównym przed rozwidleniem przy przesortowanym składzie rumowiska przyjętym z przekrojów po rozwidleniu.

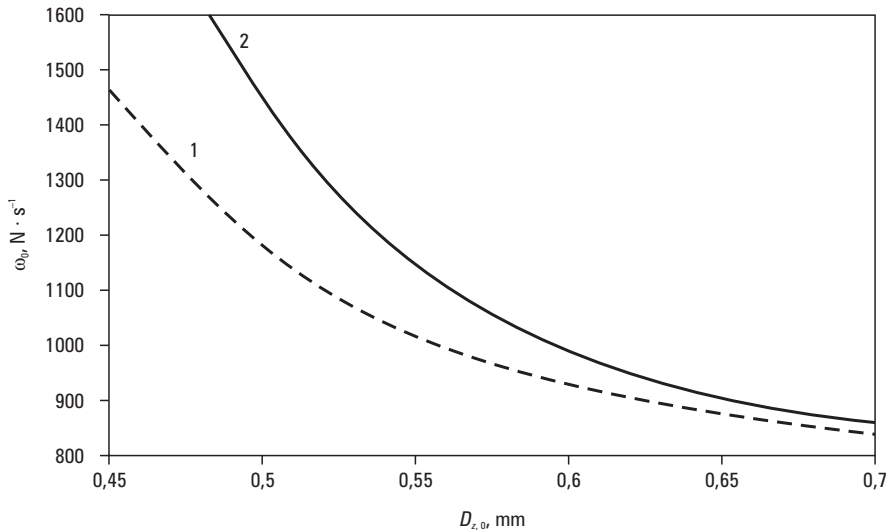


Rys. 4. Wykres $D_{z,1} = f(D_{z,0})$; 1 – przebieg zmian dla rozwidlenia, 2 – przebieg zmian dla połączenia
Fig. 4. Graph $D_{z,1} = f(D_{z,0})$; 1 – the course of changes for bifurcation, 2 – the course of changes for junction

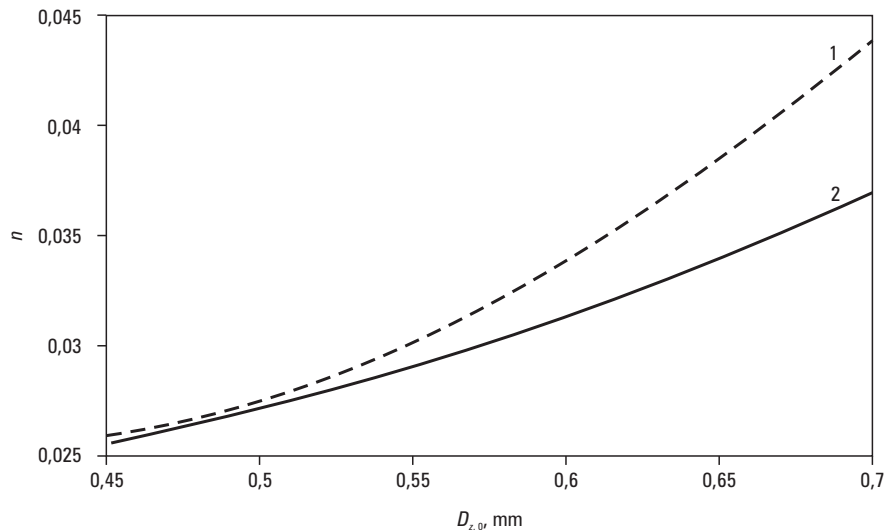


Rys. 5. Wykres $D_{z,2} = f(D_{z,0})$; 1 – przebieg zmian dla rozwidlenia, 2 – przebieg zmian dla połączenia
Fig. 5. Graph $D_{z,2} = f(D_{z,0})$; 1 – the course of changes for bifurcation, 2 – the course of changes for junction

Otrzymane wyniki pozwoliły sporządzić wykres wpływu składu rumowiska po przesortowaniu na transportowane rumowisko $\omega_0 = f(D_{z,0})$. I tutaj również krzywa 1 (przed rozwidleniem) i krzywa 2 (za połączeniem) się nie pokryły, a zbliżyły się jedynie przy dużych $D_{z,0}$ (rys. 6).



Rys. 6. Wykres $\omega_0 = f(D_{z,0})$; 1 – przebieg zmian dla rozwidlenia, 2 – przebieg zmian dla połączenia
Fig. 6. Graph $\omega_0 = f(D_{z,0})$; 1 – the course of changes for bifurcation, 2 – the course of changes for junction



Rys. 7. Wykres $n = f(D_{z,0})$; 1 – przebieg zmian dla rozwidlenia, 2 – przebieg zmian dla połączenia
Fig. 7. Graph $n = f(D_{z,0})$; 1 – the course of changes for bifurcation, 2 – the course of changes for junction

Ad. 3)

Współczynnik szorstkości n zmienia się z transportowanym materiałem. Wpływ rumowiska na jego wielkość przedstawili Kurnatowski i Roszak [2006]. Każdorazowo wraz ze zmianami składu rumowiska obliczano jego wartości. Na rys. 7 przedstawiono krzywe zależności współczynnika szorstkości od średnicy zastępczej przy spełnieniu równań bilansowych wody i rumowiska. Wielkości współczynnika szorstkości przed rozwidleniem i po połączeniu były zbliżone jedynie przy małych frakcjach transportowanego rumowiska.

WNIOSKI

1. W niniejszej pracy podjęto próbę opracowania metody, która pozwoliłaby wykonywać oznaczenia parametrów rumowiskowych w każdym typie węzła hydraulicznego. Zagadnienie to ma charakter czysto teoretyczny, trudno bowiem byłoby w naturze znaleźć dwa identyczne węzły rozwidleniowe i połączeniowe. Przyjęty cel umożliwił z kolei dokonanie porównań. Obliczenia przedstawione w formie wykresów obrazują rozbieżność wyników dla obu typów węzłów hydraulicznych.
2. Mimo wprowadzenia procesu sortowania frakcji rumowiska nie osiągnięto porównywalnych wyników zarówno jego składu, jak i jego wielkości dla rozwidlenia i połączenia.
3. Porównywalne wielkości frakcji w korycie przed rozwidleniem i po połączeniu otrzymano jedynie przy dużych średnicach rumowiska, a porównywalne natężenie strumieni rumowiska przy frakcjach małych.
4. Dla małych średnic zastępczych współczynnik szorstkości jest najmniejszy i wykazuje niewielkie odchylenia. Dla pozostałych frakcji jego zmiany są już znaczne.

PIŚMIENNICTWO

- Ackers P., White W.R., 1973. Sediment transport, new approach and analysis. J. Hydraul. Divis. ASCE 99(HY 11), 2041–2060.
- Coufal R., Meyer Z., Roszak A., 1997. Sediment transport influence on flow distribution in a river mouth net. 9th Intern. Conf. „Transport and sedimentation of solid particles”, Kraków, 166–174.
- Coufal R., 1999. Bed changes and sediment transport at river mouth. Biblioteka Naukowa Hydrotechnika 23. IBW PAN Gdańsk.
- Gurram S.K., Karki K.S., 2000. Subcritical open-channel junction flow. J. Hydraul. Engin., January, 87–90.
- Jansen P., van Bendegom L., van de Berg J., de Vries M., Zanen A., 1979. Principles of river engineering. The non-tidal alluvial river. Pitman London – San Francisco – Melbourne.
- Kurnatowski J., Roszak A., 2006. Formy denne Dolnej Odry. Mat. Konf. „Regionalne problemy gospodarki wodnej i hydrotechniki”, Szczecin.
- Meyer Z., Roszak A., 1999. Mathematical description of sediment transport in the river junction. Conf. „Problems in Fluid Mechanics and Hydrology”, Institute of Hydrodynamics Academy of Sciences of the Czech Republic, Praga, 76–88.
- Roszak A., 2001. Ruch rumowiska w rozwidleniu rzeczonym. Inż. Mors. Geotech. 22(5), 245–248.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 22.03.2012