

JACEK KURNATOWSKI<sup>1</sup>

## WPLYW METODY OKREŚLANIA OPORÓW RUCHU NA MODELOWANIE ROZPŁYWÓW W SIECI DOLNEJ ODRY

W pracy Kurnatowskiego (2005) wykazano, że istnieje możliwość zastosowania wzoru Colebrooka-White'a do obliczeń hydraulicznych sieci rzek i kanałów dolnej Odry. W szczególności możliwe jest przeprowadzenie identyfikacji uśrednionych dla całego akwenu wartości chropowatości bezwzględnej, przy czym zachodzi wysoko skorelowana zależność pomiędzy otrzymaną chropowatością, a identyfikowanym w analogiczny sposób współczynnikiem szorstkości według Manninga. Zależność ta posiada postać

$$\frac{1}{n} = a \cdot \log k + b \quad (1)$$

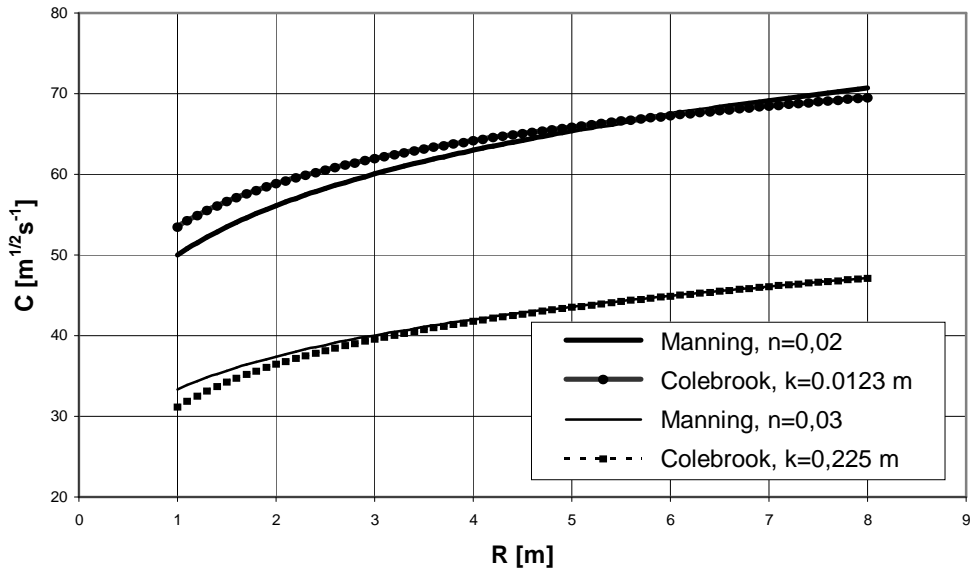
gdzie  $n$  – współczynnik szorstkości Manninga,  $k$  – chropowatość bezwzględna [m], zaś  $a$  i  $b$  są współczynnikami regresji uzależnionymi od uśrednionego promienia hydraulicznego. Wykazano jednocześnie, że wartości  $a$  i  $b$  mogą być traktowane jako stałe w szerokim przedziale zmienności stanów i przepływów, co z kolei prowadzi do wniosku o możliwości przyjmowania zastępczego (uśrednionego) promienia hydraulicznego całej sieci jako praktycznie niezmiennego i równego 5,85 m.

Powyższe stwierdzenia nie oznaczają jednak, że w wyniku modelowania rozpływów w sieci dolnej Odry przy użyciu obu metod określania oporów ruchu należy oczekiwać identycznych czy chociażby zbliżonych do siebie wartości przepływów na poszczególnych odcinkach sieci. Część sieci dolnej Odry składa się z szeregu stosunkowo krótkich odcinków, dla których przepływ jest determinowany przez różnicę rzędnych zwierciadła wody w skrajnych przekrojach (węzłach sieci) i przy wyjątkowo małych spadkach hydraulicznych występujących w sieci nawet minimalne, praktycznie niemierzalne zmiany rzędnych w węzłach mogą spowodować znaczne zmiany przepływów na tych odcinkach. Zjawisko to dotyczy zarówno sytuacji rzeczywistej, jak i modelowanej, zatem metoda określania oporów ruchu w sieci posiada zasadnicze znaczenie dla poprawności modelu.

Na rys. 1 przedstawiono wartości współczynnika  $C$  do wzoru Chezy obliczanego w funkcji promienia hydraulicznego  $R$  niezależnie według wzorów Manninga i Colebrooka-White'a przy założeniu, że przepływ odbywa się w strefie kwadratowej zależności oporów (Mitosek 2001). Szorstkość według Manninga przyjęto jako  $n = 0,02$ , natomiast wartość chropowatości  $k$  dobrano tak, aby dla  $R = 5,85$  m wartości  $C$  dla obu wzorów były identyczne. Sytuacja ta odpowiada zatem warunkom dolnej Odry, dla której wypadkowy, uśredniony współczynnik szorstkości wynosi 0,020 (Kurnatowski 2004). Analogiczne obliczenia wykonano w celach porównawczych również dla  $n = 0,03$ .

---

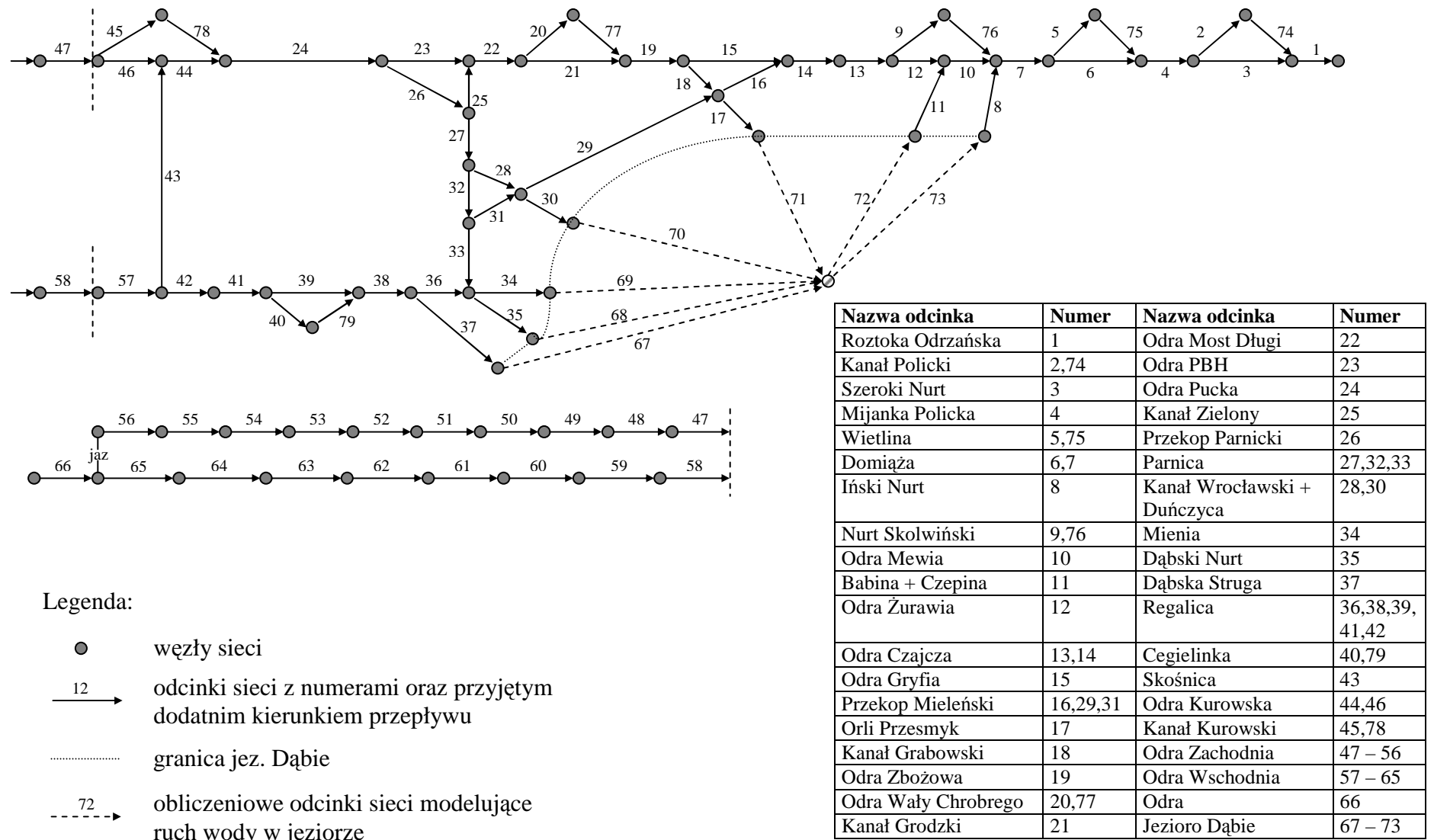
<sup>1</sup> Politechnika Szczecińska, Szczecin



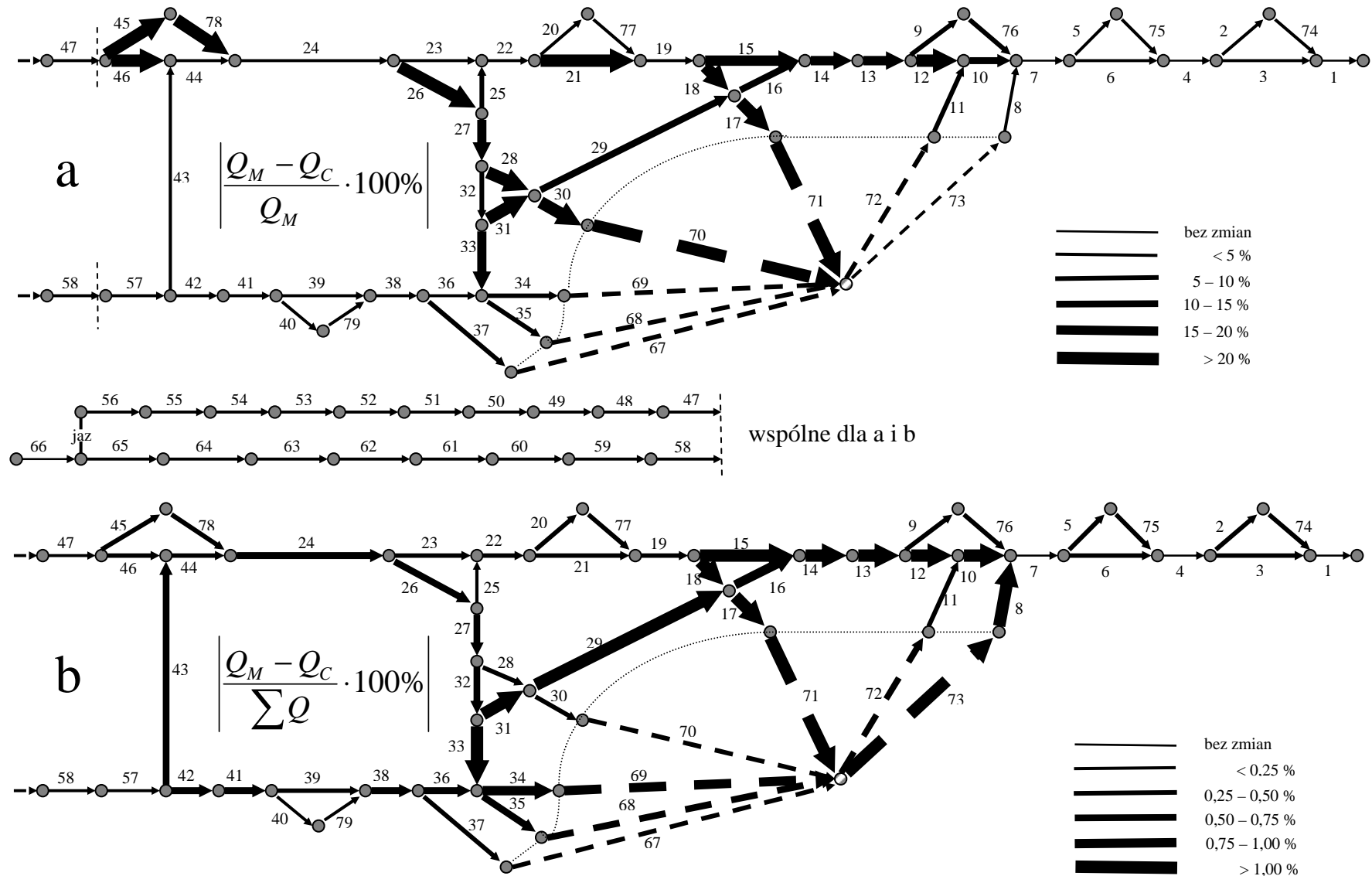
Rys. 1. Wartości współczynnika C do wzoru Chezy według Manninga i Colebrooka-White'a

Z porównania przebiegu krzywych wynika, że zwłaszcza przy malejących głębokościach zwiększa się rozbieżność pomiędzy wartościami współczynnika C, co jest szczególnie widoczne dla  $n = 0,02$ . W przypadku niezależnego modelowania rozptyłów przy użyciu obu wzorów, różnice pomiędzy głębokościami poszczególnych koryt dolnej Odry mogą zatem spowodować zróżnicowanie obliczanych oporów ruchu i w konsekwencji różny obraz rozptyłów.

Obliczenia symulacyjne przeprowadzono dla sieci dolnej Odry (rys. 2) przy użyciu modelu ruchu ustalonego (Kurnatowski 1989) przyjmując zunifikowany dla całego akwenu współczynnik szorstkości  $n = 0,02$  i odpowiadającą mu wartość chropowatości  $k = 0,0123$  m dla przepływu globalnego w sieci wynoszącego 250, 500, 750 oraz 1000  $m^3s^{-1}$ . Dla każdej wartości przepływu przeprowadzono pięć serii symulacji – bez wiatru oraz z wiatrem o prędkości 10  $ms^{-1}$  wiejących z czterech głównych kierunków: N, S, W i E. Rzędne zwierciadła wody oraz dna przyjmowano w układzie Kronsztad'86, przy czym rzędną zwierciadła na wodowskazie Trzebież stanowiącą dolny warunek brzegowy stanów i posiadającą pomijalnie mały wpływ na rozptywy w sieci przyjęto jako niezmienną, położoną na poziomie 0 m nad Kr. Łącznie przebadano zatem 20 zestawów warunków brzegowych modelu w szerokim zakresie ich zmienności. W tym zbiorze wyników symulacji dla każdego z odcinków sieci określono obwiednie (maksymalne wartości) względnych zmian przepływu uzyskanych w wyniku zastosowania różnych metod określania oporów ruchu, które przedstawia rys. 3. Zmiany przepływów na poszczególnych odcinkach określano dwojako – względem wartości przepływu na tym odcinku otrzymanym przy użyciu wzoru Manninga  $Q_M$  (schemat „a”) oraz względem globalnego przepływu  $\Sigma Q$  w całej sieci (schemat „b”). Odpowiednie wzory, w których  $Q_C$  oznacza przepływ uzyskany przy użyciu wzoru Colebrooka-White'a, podano na schematach.



Rys. 2. Hydrografia sieci rzecznej dolnej Odry



Rys. 3. Względne zmiany przepływów na poszczególnych odcinkach sieci dolnej Odry w wyniku zastosowania wzoru Colebrooka-White'a

Zgodnie z oczekiwaniami, wybór metody określania oporów ruchu nie posiada istotnego wpływu na rozdział przepływu pomiędzy Odry Zachodnią i Wschodnią, natomiast największe różnice wartości przepływów obliczanych przy użyciu obu metod występują na stosunkowo krótkich odcinkach położonych w rejonie jeziora Dąbie (Orli Przesmyk, Kanał Grabowski, Duńczyca, Parnica, Przekop Mieleński). Różnice te są na tyle duże, że istotnym staje się problem poprawności stosowania obu wzorów w warunkach dolnej Odry. Odpowiednie terenowe badania weryfikacyjne polegające na pomiarze przepływów na poszczególnych odcinkach sieci, prowadzone przy użyciu sprzętu ADCP, powinny rozstrzygnąć zarówno tę kwestię, jak i problem poprawności przyjmowania jednej, zunifikowanej dla całego akwenu wartości współczynnika szorstkości bądź też chropowatości.

### **Literatura**

Kurnatowski J., Symulacyjny model sieci rzecznej o dowolnej strukturze topologicznej na przykładzie dolnej Odry, Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 389, Prace IIW nr 29.  
Kurnatowski J., Współczynniki szorstkości a położenie geoidy, Materiały konferencji „Regionalne problemy gospodarki wodnej i hydrotechniki”, Dziwnów, 28-30 maja 2004.  
Kurnatowski J., Zastosowanie wzoru Colebrooka-White'a do obliczeń przepływów w sieci dolnej Odry, Materiały konferencji „Regionalne problemy gospodarki wodnej i hydrotechniki”, Świnoujście, 3-5 czerwca 2005.  
Mitosek M., Mechanika płynów w inżynierii i ochronie środowiska, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2001.

## **INFLUENCE OF THE FRICTION LOSSES DETERMINATION METHOD ON FLOWS MODELING**

### **Summary**

The Colebrook-White formula that is mainly applied at friction values computations for closed pressure conduits is more and more widely used in open-channel flows modeling. The results of flows calculations using this formula for rivers and channels network of lower Oder have been compared with the results of modeling with Chezy-Manning formula application. It has been proved that the choice of the method for friction losses determination significantly influences the results of the network flows simulation.

### **Streszczenie**

Wzór Colebrooka-White'a, używany głównie w obliczaniu oporów ruchu wody w przewodach pod ciśnieniem, znajduje coraz szersze zastosowanie w modelowaniu przepływów w kanałach otwartych. W pracy przedstawiono wyniki modelowania rozptyłów wody w sieci rzek i kanałów dolnej Odry przy zastosowaniu tego wzoru oraz dokonano ich porównania z wynikami modelowania przy użyciu wzoru Chezy-Manninga. Wykazano, że wybór metody określania oporów ruchu posiada istotny wpływ na wyniki symulacji rozptyłów wody w sieci.