

Mateusz Grobelny, Justyna Kubicz, Tomasz Tyminski

ZASTOSOWANIE CCHE2D DO MODELOWANIA WARUNKÓW HYDRODYNAMICZNYCH MAŁEGO CIEKU

Streszczenie. Silnie rozwijającym się kierunkiem badań i analiz środowiskowych jest modelowanie matematyczne. Daje ono olbrzymie możliwości obliczeniowe i analityczne. Dzięki zastosowaniu modelowania ogranicza się czas pracy oraz nakłady finansowe na badania. Przykładem aplikacji umożliwiającej odwzorowanie złożonych warunków hydrodynamicznych małego cieką jest CCHE2D. W niniejszym opracowaniu przedstawiono główne założenia i wytyczne do zamodelowania parametrów cieką. Do najważniejszych efektów końcowych, które uzyskano należą mapy głębokości cieką i pola prędkości wody. Dają one podstawę do prognozowania warunków przepływu wody w różnych uwarunkowaniach oraz podczas projektowania regulacji i zagospodarowania cieką.

Słowa kluczowe: modelowanie matematyczne, CCHE2D, warunki hydrodynamiczne

WSTĘP

Silnie rozwijającym się kierunkiem badań i analiz środowiskowych jest modelowanie matematyczne. Umożliwia zrozumienie procesów hydrodynamicznych, ruchu rumowiska oraz rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w ciekach i zbiornikach. (Jia i in. 2002, Jin, Steffler 1993, Langendoen 2001, Wu, Wang 2004). Modelowanie umożliwia odwzorowanie naturalnych warunków środowiska. Daje również szerokie możliwości prognozowania zmian. Dzięki zastosowaniu modelowania matematycznego ograniczamy czas pracy oraz nakłady finansowe na badania. Ograniczenie kosztów w porównaniu z budową modeli fizycznych to główne zalety modelowania matematycznego. Nowym trendem w modelowaniu jest stosowanie aplikacji dwu wymiarowych. Dają one duże możliwości, szczególnie przy odwzorowaniu złożonej geometrii cieką. Należy zwrócić uwagę na fakt, że rzeka stanowi system podlegający ciągłym zmianom. Przekształceniom ulega jej morfologia i warunki hydrauliczne. Programy modelujące w dwóch wymiarach umożliwiają szeroki zakres analiz między innymi ocenę wpływu zabudowy cieką czy roślinności na warunki w nim panujące. Przykładem aplikacji modelującej w dwóch wymiarach w planie (2DH) jest CCHE2D.

mgr inż. Mateusz GROBELNY – Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

dr inż. Justyna KUBICZ – Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

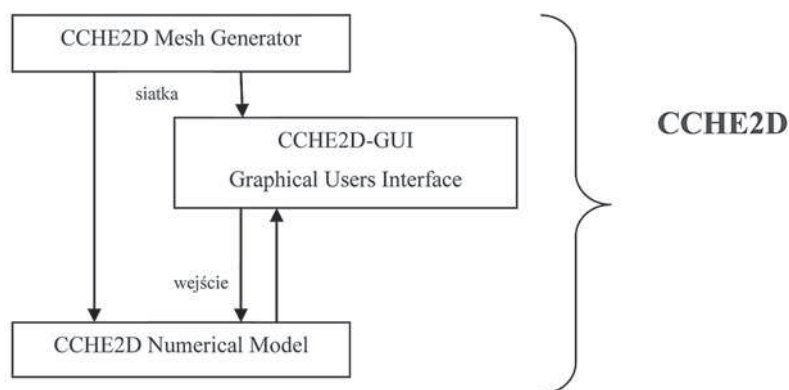
dr hab. inż. Tomasz TYMIŃSKI – Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Celem artykułu jest przedstawienie zastosowania CCHE2D do modelowania warunków hydrodynamicznych małego cieku.

MODEL CCHE2D

Program CCHE2D stanowi zintegrowany pakiet umożliwiający dwuwymiarową symulację i analizę przepływu wody, transportu rumowiska i procesów morfologicznych. Umożliwia on wykonywanie obliczeń zarówno w warunkach przepływu ustalonego, jak i nieustalonego [Zhang 2006]. Daje możliwość zamodelowania transportu rumowiska wlezonego i unoszonego, co skutkuje zmianą pierwotnego ukształtowania koryta cieku. Aplikacja uwzględnia zmiany szorstkości dna oraz geometrii koryta. Jest to szczególnie istotne dla symulacji przepływu w długim okresie czasu oraz przy intensywnej erozji.

W skład pakietu CCHE2D wchodzi program do tworzenia modeli numerycznych, generator siatki (CCHE2D Mesh Generator) i graficzny interfejs użytkownika (CCHE2D-GUI) [Hasan i in. 2007] (rys 1).



Rys. 1. Schemat pakietu CCHE2D (za Hasan i in. 2007)

Aplikacja CCHE2D została opracowana przez National Center for Computational Hydroscience and Engineering na Uniwersytecie Mississippi w USA. Obliczenia w modelu CCHE2D dokonuje się na podstawie siatki dwuwymiarowej metodą elementów skończonych. Jest to coraz częściej stosowana praktyka podczas rozwiązywania zagadnień inżynierskich. W CCHE2D węzły obliczeniowe znajdują się w wierzchołkach czworoboków tworzących krzywoliniową siatkę. Dla nich bezpośrednio wyznaczane są parametry przepływu na drodze obliczeń. Wartości określonych parametrów wewnątrz lub na bokach elementu obliczane są za pomocą liniowych funkcji interpolacyjnych. Model wykorzystuje uśrednione w pionie równania Naviera-Stokesa, których rozwiązanie dostarcza danych o prędkości średniej w pionach i rzędnej poziomu wody [Magnuszewski, Gutry-Korycka 2009, Zhang 2006]:

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

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

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

gdzie:

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

ETAPY MODELOWANIA

Proces tworzenia modelu za pomocą oprogramowania CCHE2D można podzielić na 5 podstawowych etapów:

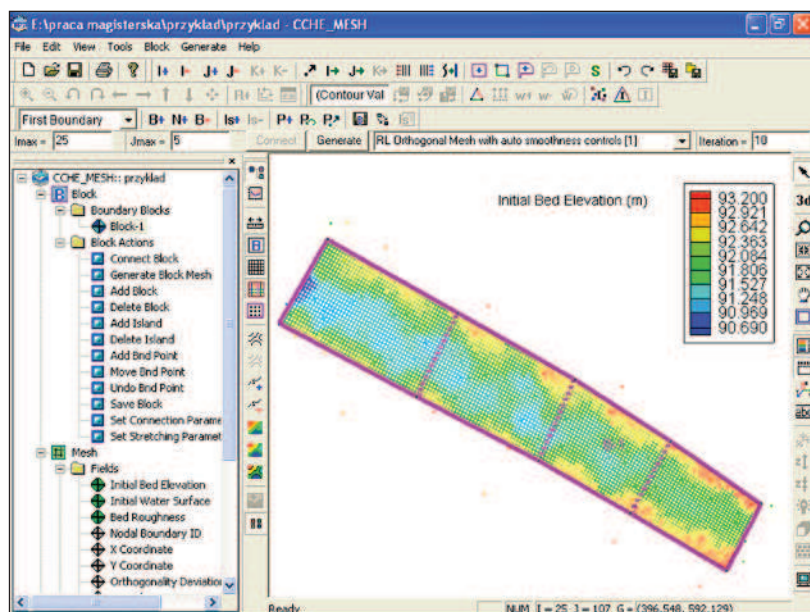
- generowanie siatki,
- określenie warunków brzegowych,
- wprowadzenie parametrów modelu,
- uruchomienie symulacji,
- wizualizacja i interpretacja wyników.

Należy podkreślić, że wszystkie wymienione elementy procesu tworzenia modelu istotnie wpływają na wiarygodność uzyskanych wyników.

Jednym z ważniejszych etapów prac jest stworzenie poprawnej i starannej siatki obliczeniowej. Należy zwrócić uwagę, aby odwzorowywany obszar posiadał odpowiednią rozdzielczość, tj. aby rozmiar oczek nie był zbyt duży. Wówczas wartości wyznaczanych parametrów będą uzyskane na drodze interpolacji, a nie bezpośrednich obliczeń, co może mieć znaczący wpływ na ich poprawność. W omawianym przykładzie siatkę obliczeniową wykonano w oparciu o stworzony bazowy plik *.mesh_xyz, w którym punkty opisano za pomocą podstawowych współrzędnych xyz. Kolejnym etapem prac jest wprowadzenie lokalizacji i charakterystyka warunków brzegowych. Ostatni etapem jest interpolacja rzędnych terenu w poszczególnych węzłach siatki.

Gdy siatka jest gotowa, następuje etap wprowadzania warunków przepływu. Należą do nich: geometria koryta, powierzchnia zwierciadła wody oraz chropowatość koryta, opisana za pomocą współczynnika szorstkości Manninga. Określeniu podlega czas trwania symulacji oraz krok czasowy. Zakłada się również wielkość dopływu i odpływu

z modelowanego obszaru. Gdy wprowadzone są warunki brzegowe można rozpocząć symulację. Przykład siatki obliczeniowej z wprowadzoną geometrią koryta ciekłu oraz barwną skalą chropowatości przedstawia rysunek 2.

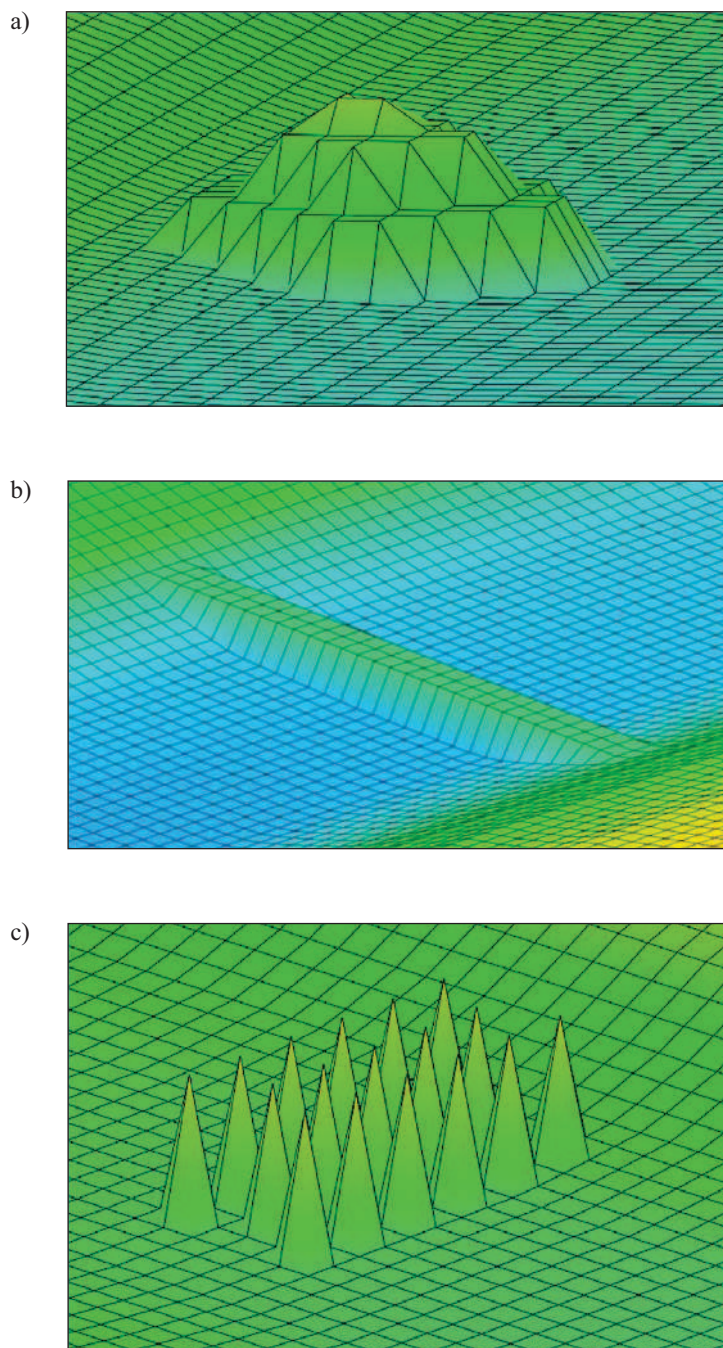


Rys. 2. Siatka obliczeniowa modelu

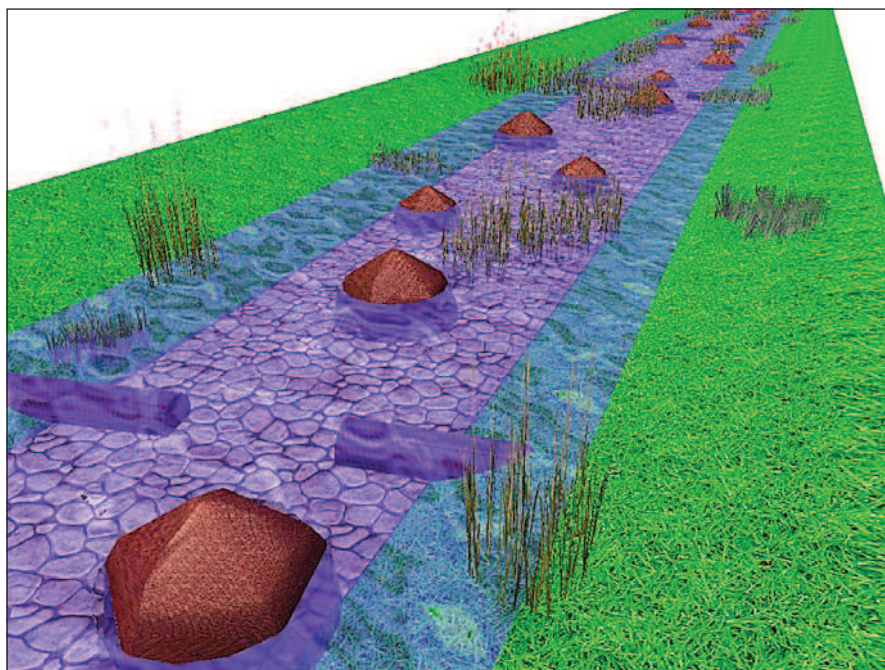
W omawianym przykładzie symulację wykonano dla przepływu ustalonego o natężeniu $Q=0,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Przy modelowaniu uwzględniono przeszkody w postaci głazów o średnicach ok. 1,0-1,5 m i kłód o wysokości ok. 0,3-0,4 m oraz gęstej roślinności sprężystej zamodelowanej zarówno poprzez zmianę geometrii koryta oraz użycie współczynnika $n=0,150$. Dno ciekłu przyjęto jako kamieniste, natomiast skarpy koryta porośnięte są wysoką roślinnością trawiastą. Elementy zabudowy koryta (np. rośliny, głazy, konary itp.) zamodelowano zmieniając geometrię terenu tak, aby jego forma odpowiadała modelowanym przeszkodom. W praktyce spowodowało to ograniczenie przekroju poprzecznego, poprzez jego częściowe przysłonięcie. Przykładowe sposoby zamodelowania elementów zabudowy koryta ciekłu obrazuje rysunek 3. Natomiast graficzną wizualizację analizowanego ciekłu oraz wynik modelowania przedstawiają rysunki 4 i 5.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

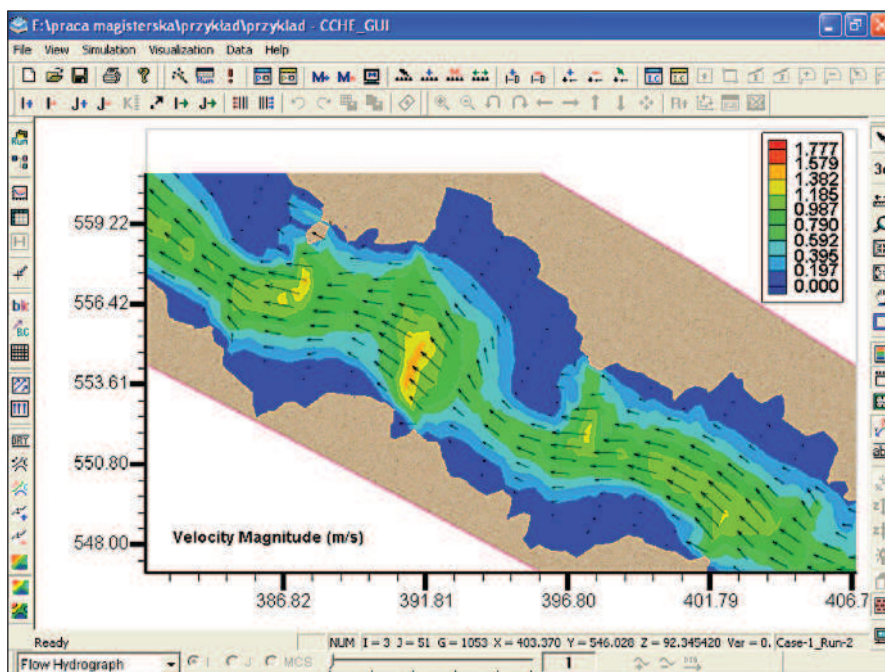
Zastosowanie aplikacji CCHE2D w modelowaniu warunków hydrodynamicznych ciekłu daje duże możliwości. Zastosowanie tej aplikacji w analizach przestrzennych i czasowych wynika w dużej mierze z wykorzystania jej możliwości obliczeniowych. Efektem końcowym modelowania z użyciem CCHE2D są mapy głębokości ciekłu i



Rys. 3. Sposoby modelowania elementów zabudowy koryta cieków a) głazu, b) przeszkody poprzecznej (np. kłody), c) elementów półprzepuszczalnych (np. gęsta roślinność)



Rys. 4. Wizualizacja naturalnej zabudowy koryta



Rys. 5. Przykładowa wizualizacja wyników modelowania

poła prędkości wody. Są one przydatne w prognozowaniu warunków przepływu wody w cieku oraz podczas projektowania regulacji i zagospodarowania cieku. Olbrzymią zaletą programu wykorzystywaną w badaniach środowiskowych jest możliwość oceny zależności i oddziaływania różnych parametrów charakteryzujących ciek. Interpolacje i wizualizacje, które są wynikiem modelowania umożliwiają lepsze zrozumienie zjawisk zachodzących w przestrzeni.

LITERATURA

1. Hasan Z.A., Ab A., Zakarina N.A, 2007, *Application of 2-D Modelling for Muda River Using CCHE2D, presented at the International Conference on Managing Rivers in the 21st Century: Solution Towards Sustainable River Basins*, Riverside Kuching, Sarawak, Malaysia.
2. Jia, Y., Wang, S.S.Y., Xu, Y., 2002, *Validation and application of a 2D model to channels with complex geometry*, International Journal of Computational Engineering Science, 3(1), 57-71.
3. Jin, Y.C., & Steffler, P.M., 1993, *Predicting flow in curved open channels by depth-averaged method*, Journal of Hydraulic Engineering, 119(1), 109-124.
4. Langendoen, E.J., 2001, *Evaluation of the effectiveness of selected computer models of depth-averaged free surface flow and sediment transport to predict the effects of hydraulic structures on river morphology*, Project Report, USDA-ARS National Sedimentation Laboratory, Oxford M.S.
5. Magnuszewski A., Gutry-Korycka M., 2009, *Przepływ wód wielkich we współczesnym korycie Wisły*, Prace i Studia Geograficzne, t.43, 153–162
6. Wu W., Wang S.S.Y., 2004, *Depth-averaged 2-D calculation of flow and sediment transport in curved channels*, International Journal of Sediment Research, 19(4), 241-257.
7. 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.
8. Zhang Y., 2009, *CCHE-MESH 2D Structured Mesh Generator Version 3.x Quick Start Guide*, School of Engineering, The University of Mississippi.

USING CCHE2D TO MODEL HYDRODYNAMIC CONDITIONS OF A SMALL WATERCOURSE

Summary

Mathematical modelling is a rapidly developing direction in environmental research and analysis. It offers huge possibilities to do calculations and analyses. Using mathematical modelling one can reduce both the time the work requires and the research finance. The CCHE2D model is an example of an application that enables the modelling of complex hydrodynamic conditions of a small watercourse. This work presents the main principles and guidelines to model the parameters of a watercourse. The most important final effects which have been achieved are the maps of the watercourse depth and the area of water velocity. They form the basis for predicting the conditions of water flow in various conditions and while designing the adjustment and use of the watercourse.

Key words: mathematical modelling, CCHE2D, hydrodynamic conditions

GEBRUCH VON CCHE2D FÜR MODELLBILDUNG DER HYDRODYNAMISCHEN BEDINGUNGEN EINES KLEINEN WASSERLAUFS

Zusammenfassung

Die mathematische Modellbildung ist eine der Forschungsrichtungen und Umweltanalysen, die sich intensiv entwickelt. Sie gibt eine enorme Möglichkeit bei Berechnungen und Analysen. Dank dem Gebrauch einer Modellbildung lassen sich Zeit- und Geldaufwand für jeweilige Forschungen deutlich sparen. Ein Beispiel für die Applikation, wo man komplizierte hydrodynamische Bedingungen eines kleinen Wasserlaufs bilden kann, ist CCHE2D. In dieser Bearbeitung wurden Hauptvoraussetzungen und Richtlinien zum den Wasserlaufparametern vorgestellt. Zu den erreichten Endeffekten gehören hier die Landkarten mit Wasserlaufentiefe und Geschwindigkeitsfeld des Wassers. Die beiden Faktoren geben einen Grund für das Voraussehen der Wasserströmung in verschiedenen Bedingungen und auch für Regulierungsentwürfe und Bewirtschaftung eines Wasserlaufs.

Schlüsselworte: mathematische Modellbildung, CCHE2D, hydrodynamische Bedingungen