

## SUMMARY

The present thesis focuses on the modelling of river flow over bedforms with the use of Lattice Boltzmann method.

One of the key issues of the widely understood hydrology or open channel hydraulics is to determine the flow resistance. In order to precisely specify the relation between the flow resistance and the stream bed geometry, it is essential to analyse the influence of the shape of bed forms on the velocity fields over them. Furthermore, the knowledge on the specific velocity field and turbulent flow is the key in the analysis of the transportation of contaminants, sediment, temperature or oxygen. The turbulence characteristics are vital for instance in order to specify the diffusion coefficient. A will to model complex hydrodynamic problems forces one to develop adequate numeric methods. Therefore one can be hardly surprised by research on new modelling methods in order to make the calculations easier and faster. Lattice Boltzmann method makes a good example of such an alternative approach. Unlike the standard approach, which is to discretize the Navier-Stokes equations by the finite element methods, finite volume method, etc., the Lattice Boltzmann method is discrete method, originating from the gas kinetics equations.

The aim of the present thesis was to present and analyse the Lattice Boltzmann method, to justify its application in environmental hydrodynamics and its implementation for the analysis of the flow over bedforms for given geometry and hydrodynamic conditions. The Lattice Boltzmann method is unpopular among hydrodynamics scientists, which is why one of the objectives of the present thesis was to verify the possibility of its application in those cases. Advantages, as well as disadvantages of this method have been discussed. The results seem to indicate its significant potential.

The framework of the present thesis includes 2-dimensional simulations of the water flows over bedforms for five chosen geometries. The analysis of the results covers both the mean velocity field obtained from the simulation, as well as velocity fluctuations. In both cases, where the geometry was taken from literature, the results of the simulation were compared with the literature results, with good agreement for the mean velocity field value. The velocity fluctuations diverged from the results from experiments – the potential reasons of this situation have been indicated, together with the possibilities to eliminate model errors. Moreover, attempts of modelling and analysis of time-averaged free surface elevation were undertaken.

Another objective was to create a novel simulation program with the Lattice Boltzmann method, enabling the choice of the best variants of this method to the tasks related to the topic of the present thesis. The choice concerned model dynamics (the collision operator) and the way of establishing the initial and boundary conditions. Each of those elements was analysed in detail and its choice – justified.



## STRESZCZENIE

Praca poświęcona jest zagadnieniu modelowania przepływów rzecznych nad formami dennymi za pomocą siatkowej metody Boltzmana.

Jednym z kluczowych problemów szeroko pojętej hydrologii czy hydrodynamiki koryt otwartych, jest określenie oporów ruchu. W celu dokładnego określenia zależności oporów w przepływie od geometrii dna, konieczna jest analiza wpływu kształtu form dennych na pole prędkości wokół nich. Ponadto w analizie transportu zanieczyszczeń, sedymentu, temperatury czy tlenu kluczowym elementem jest wiedza na temat dokładnego pola prędkości oraz turbulencji przepływu. Charakterystyka turbulencji jest na przykład istotna dla określenia współczynników dyfuzji w badanych zagadnieniach. Chęć modelowania złożonych zagadnień hydrodynamiki wymusza potrzebę rozwoju odpowiednich metod numerycznych. Nie dziwią więc poszukiwania nowych metod modelowania, mających na celu przyspieszenie lub ułatwienie obliczeń. Przykładem takiego alternatywnego podejścia, jest metoda siatkowa Boltzmana. W przeciwieństwie do standardowego podejścia, czyli dyskretyzacji równań Navier-Stokesa za pomocą metody elementów skończonych, metody objętości skończonych itd., metoda siatkowa Boltzmana jest metodą z założenia dyskretną, wywodzącą się z równań kinetyki gazów.

Celem pracy było przedstawienie i analiza siatkowej metody Boltzmana, uzasadnienie jej stosowania w zagadnieniach hydrodynamiki środowiskowej oraz implementacja tej metody do analizy opływu form dennych dla wybranych geometrii i warunków hydrodynamicznych. Metoda siatkowa Boltzmana wśród badaczy zajmujących się hydrodynamiką koryt otwartych, nie jest popularna, w związku z czym, jednym z celów tej pracy było sprawdzenie możliwości użycia jej w tego typu zagadnieniach. W pracy rozważone zostały jej zalety i wady. Wyniki wydają się wskazywać na duży potencjał drzemiący w tej metodzie.

W pracy przeprowadzono dwuwymiarowe symulacje przepływów wody nad formami dennymi dla pięciu wybranych geometrii. Analiza wyników obejmowała zarówno uzyskane w symulacjach pole prędkości średniej, jak i fluktuacje pola prędkości. W dwóch przypadkach, dla których geometria zaczerpnięta została z literatury, wyniki symulacji porównano z wynikami literaturowymi uzyskując dobrą zgodność dla wartości pola prędkości średniej. Wyniki dotyczące fluktuacji pola prędkości odbiegały od wyników eksperymentalnych, w pracy wskazano potencjalne tego przyczyny oraz możliwości wyeliminowania błędów modelu. Podjęto również próby modelowania i analizy wychylenia powierzchni swobodnej.

Dodatkowym celem było stworzenie własnego programu do symulacji metoda siatkową Boltzmana, co pozwoliło na wybór optymalnych rozwiązań tej metody do zadań związanych z tematem pracy. Wybór dotyczył dynamiki modelu (dobór operatora zderzeń) oraz sposobu zadawania warunków początkowych i brzegowych. Każdy z tych elementów został szczegółowo opisany w pracy, a jego wybór uzasadniony.