

# Streszczenie rozprawy doktorskiej

mgr inż. Magdalena M. Mrokowska  
„Określanie oporów przepływu podczas przejścia  
fali wezbraniowej”

Określanie oporów przepływu w korytach otwartych stanowi fundamentalne zagadnienie hydrodynamiki środowiskowej. Wpływa na nie szereg czynników takich jak geometria koryta, roślinność, obecność przeszkód w nurcie. Z tego powodu określanie oporów przepływu jest złożonym zadaniem. Podczas przejścia fali wezbraniowej opis komplikuje się o elementy związane z nieustalonym i zmiennym charakterem przepływu.

Opory przepływu są charakteryzowane za pomocą współczynników empirycznych lub naprężeń stycznych na obwodzie zwilżonym kanału, wyrażanych jako prędkość dynamiczna. Prędkość dynamiczna jest wielkością występującą w opisie procesów transportowych i struktury turbulencji przepływu.

Celem rozprawy jest stworzenie metodyki wyznaczania prędkości dynamicznej podczas przejścia fali wezbraniowej. Zaproponowana metodyka może być pomocna w planowaniu badań terenowych i laboratoryjnych oraz podczas szacowania prędkości dynamicznej na podstawie danych pomiarowych. Analizie poddano szacowanie prędkości dynamicznej za pomocą wzorów wyprowadzonych z modelu St. Venanta. Jest to jedna z niewielu metod w ruchu nieustalonym zmiennym. Przeanalizowano kolejne etapy aplikacji tej metody od przygotowania danych wejściowych, poprzez wybór wzoru uwzględniającego geometrię koryta i typ fali wezbraniowej, do oszacowania niepewności wyniku.

Analizy i obliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem danych pomiarowych pochodzących z eksperymentów symulujących propagację fal wywołanych awarią zapory. Pierwszy zestaw danych pochodził z eksperymentów w korycie naturalnym, które były wykonane w latach 90-tych XX wieku. Drugi eksperyment, przeprowadzony w kanale laboratoryjnym, zaplanowano w ramach niniejszej pracy. Fale generowano przez uwolnienie wody zgroma-

dzonej za zastawką do koryta pomiarowego. Wykonano pomiary stanu wody i dwuwymiarowego pola prędkości przy użyciu anemometrii obrazowej (ang. Particle Image Velocimetry). Przeanalizowano pionowe rozkłady prędkości, wykorzystując techniki analizy danych oparte na metodach Fouriera.

W części teoretycznej zaproponowano wzór do określania prędkości dynamicznej podczas przejścia fali wezbraniowej w korycie trapezowym, który powinien być stosowany w przypadku koryt o małym stosunku szerokości do głębokości przepływu oraz usystematyzowano istniejące wzory ze względu na możliwe uproszczenia. Oszacowanie prędkości dynamicznej wymaga szeregu danych wejściowych, z których najważniejsze to: średnia prędkość przepływu, głębokość przepływu, czasowe pochodne prędkości średniej i głębokości przepływu oraz przestrzenna pochodna głębokości przepływu. Pochodne szacowano na podstawie danych aproksymowanych. Przeanalizowano zastosowanie trzech metod aproksymacji – metodę składników Fouriera, filtr Savitzky’ego-Golay’a i średniokwadratową aproksymację wielomianową. Pokazano, że wybór metody aproksymacji zależy od rodzaju zaburzeń przepływu istotnych w analizie. Jako metodę najbardziej uniwersalną wskazano filtr Savitzky’ego-Golay’a.

Najwięcej problemów występuje przy szacowaniu przestrzennej pochodnej głębokości przepływu. Wskazano ograniczenia najczęściej stosowanej metody opartej na założeniu fali kinematycznej. W przypadku fal ulegających tłumieniu ta metoda zaniża czas, w którym pochodna przyjmuje wartość zerową, co wpływa na wartość prędkości dynamicznej. Jako optymalną metodę szacowania pochodnej wskazano przybliżenie różnicowe na podstawie danych z trzech profili.

Następnie zaprezentowano sposoby określania typu fali wezbraniowej - porównanie członów równania zachowania pędu oraz analizę wrażliwości prędkości dynamicznej na zmienne. Określono wpływ stosowania wzorów uproszczonych na wartości prędkości dynamicznej. Stwierdzono, że wykorzystanie wzoru wyprowadzonego przy założeniu ruchu ustalonego nie jest akceptowalne w analizowanych przypadkach fal wezbraniowych.

Ostatnim etapem określania prędkości dynamicznej jest ocena niepewności wyniku. Przedstawiono i zastosowano metodę szacowania niepewności prędkości dynamicznej na podstawie prawa propagacji niepewności z uwzględnieniem, że pomiary wykonywane podczas przejścia fali wezbraniowej w warunkach naturalnych nie są powtarzalne.

Poprawność oszacowania prędkości dynamicznej rzutuje na określanie innych wielkości związanych ze zjawiskami i procesami zachodzącymi w korytach otwartych. W celu ilustracji omówiono wpływ szacowania prędkości dynamicznej na określanie intensywności transportu rumowiska oraz intensywności turbulencji przepływu. Pokazano, że wykorzystanie oszacowania prędkości dynamicznej (naprężeń stycznych), które nie uwzględnia nieustalonego charakteru przepływu, prowadzi do ilościowych i jakościowych błędów w określaniu intensywności transportu rumowiska. Stwierdzono, że wartości intensywności turbulencji przepływu normalizowane za pomocą prędkości dynamicznej oszacowanej różnymi sposobami skutkują sprzecznymi wnioskami na temat struktury turbulencji przepływu.

**Słowa kluczowe:** awaria zapory, eksperyment laboratoryjny, fala wezbraniowa, intensywność turbulencji przepływu, model St. Venanta, naprężenia styczne, opory przepływu, prędkość dynamiczna, ruch nieustalony, transport rumowiska