

## O wyznaczaniu ruchu flagi, czyli zagadnienia oddziaływania ciała stałe-płyn

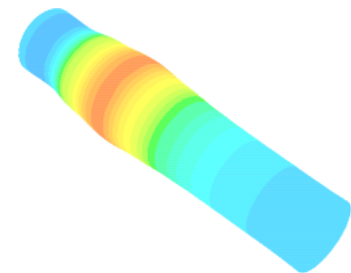
Projekt dotyczy zagadnień oddziaływania ciała stałe-płyn (w angielskojęzycznej literaturze *fluid-structure interaction - FSI*) i metod obliczeniowych stosowanych do komputerowej symulacji tych zagadnień. Zjawiska tego typu są powszechnie obserwowane w życiu codziennym - przykładem może być choćby ruch flagi czy uginające się drzewa na wietrze. W technice ważnymi przykładami są drgania konstrukcji takich jak skrzydła samolotów, łopaty turbin wiatrowych, mostów lub wysokich budynków wywołane przepływem. Poprawne rozwiązanie zagadnienia oddziaływania ciała stałe-płyn jest często konieczne w pracach konstrukcyjnych, a błędne obliczenia mogą okazać się katastrofalne w skutkach. Jako przykład można podać zawalenie się mostu w Tacoma w 1940 r. na skutek drgań wywołanych wiatrem. W przypadku skrzydeł samolotów lub łopat śmigłowca mogą wystąpić samowzbudne drgania gięto-skrętne (*flutter*) prowadzące do szybkiego zniszczenia konstrukcji. Modele oddziaływania ciała stałe-płyn znajdują też zastosowania w biomechanice, najpopularniejszym przykładem jest dynamika ruchu krwi w elastycznych naczyniach krwionośnych. Dokładne zbadanie przepływów biomechanicznych jest ważne w projektowaniu urządzeń medycznych (np. stentów).

W projekcie będą badane metody obliczeniowe dla tego typu zagadnień. Ze względu na rosnącą złożoność rzeczywistych modeli konieczne jest użycie dokładniejszych metod symulacji, co jednocześnie wiąże się z rosnącą złożonością obliczeniową. Generuje to potrzebę użycia komputerów dużej mocy, a przez to użycie specjalnych metod obliczeniowych zdolnych wykorzystać w pełni dostępne zasoby. Architektura maszyn dużej mocy utrudnia zastosowanie algorytmów używanych w mniejszych zagadnieniach. W przeciwieństwie do standardowych komputerów maszyny używane do obliczeń naukowych nie posiadają współdzielonej pamięci, przez co wymiana informacji między poszczególnymi procesorami wymaga specjalnych procedur i jest kosztowna. Ważną cechą stosowanych algorytmów jest skalowalność czyli zdolność oprogramowania do zachowania wydajności przy rosnącym rozmiarze zadania i liczbie procesorów.

Badane będą zagadnienia sprzężone (w literaturze angielskojęzycznej *multiphysics*), czyli łączące co najmniej dwa działy fizyki. W rozważanych zagadnieniach mamy dwa różne ośrodki opisane równaniami Naviera-Stokesa (płyn) oraz sprężystości (ciało stałe). Na granicy ośrodków należy postawić warunek równowagi sił, oraz zagwarantować, że prędkość płynu będzie równa prędkości ciała stałego. W ten sposób otrzymujemy kompletny układ równań opisujący zachowanie układu.

Po zastosowaniu metody dyskretyzacji do modelu opisującego układ otrzymuje się układ równań liniowych dla zagadnień liniowych, nieliniowych w przeciwnym wypadku. Stosując metodę Newtona do rozwiązania zagadnień nieliniowych finalnie otrzymujemy układ równań liniowych. Liczba niewiadomych w tym układzie jest proporcjonalna do liczby dyskretnych punktów, w których wyznaczamy przybliżone rozwiązanie, a więc do uzyskania odpowiedniej dokładności konieczne jest rozwiązanie układu równań o dużych wymiarach (rzędu milionów lub więcej). Przy takich rozmiarach zagadnienia nie jest możliwe zastosowanie metod bezpośrednich algebry liniowej ze względu na ich złożoność pamięciową. Naturalne wydaje się stosownie metod iteracyjnych, ale by uzyskać ich dostatecznie szybką zbieżność konieczna jest konstrukcja przybliżonych odwrotności macierzy - preconditionerów. O metodzie mówimy, że jest optymalna jeśli liczba iteracji konieczna do uzyskania żądanej dokładności nie zależy od parametrów zadania czy dokładności modelu.

Celem projektu jest implementacja i badanie skalowalnych metod obliczeniowych dla zagadnień oddziaływania ciała stałe-płyn. Stworzenie kodu do symulacji tych zagadnień pozwoli eksperymentalnie sprawdzić efektywność stosowanych algorytmów i porównanie ich z literaturą. Badania teoretyczne pozwolą oszacować zbieżność używanych metod, a w szczególności na sprawdzić zależność efektywności metody od parametrów zadania.



Rysunek 1: Fala ciśnieniowa w elastycznej rurze wypełnionej płynem (źródło: Wikipedia)