Co definiujemy przez przepływ wielofazowy? Nazwą tą określamy każdy przepływ, w którym dochodzi do interakcji pomiędzy co najmniej dwoma ośrodkami znajdującymi się w różnych stanach skupienia tj. gazowym, ciekłym lub stałym. Przykładami znanymi z życia codziennego mogą być pęcherzyki dwutlenku węgla wznoszące się w szampanie, zwyczajny deszcz czy zamieć śnieżna. Tego typu przepływy są bardzo istotne także w przemyśle – w takich zagadnieniach jak smarowanie części maszyn (np. komór łożyskowych), wrzenie cieczy i tworzenie pary i wiele innych. Badania tego typu przepływów pozwalają zarówno na dokładniejsze przewidywanie zjawisk naturalnych (każdy lubi sprawdzającą się prognozę pogody, czyż nie?) oraz wydajniejsze i bezpieczniejsze procesy w przemyśle chemicznym, spożywczym, wydobyciu ropy i gazu, itp. Mamy tutaj do wyboru dwa podstawowe narzędzia poznawcze: eksperyment i modelowanie numeryczne. Ze względu na złożoność przepływów wielofazowych badania eksperymentalne są na ogół trudne i kosztowne. Modelowanie numeryczne, lub bardziej dosadnie - symulacje komputerowe, są znacznie tańszą alternatywą, pozwalającą na teoretycznie nieograniczony wybór właściwości fizycznych cieczy i gazów oraz geometrii badanych urządzeń.

Celem projektu jest rozwinięcie i testowanie pewnej szczególnej metody stosowanej do symulacji komputerowych, zwanej SPH (wygładzona hydrodynamika cząstek, ang. Smoothed Particle Hydrodynamics). Metoda SPH należy do grupy tzw. metod bezsiatkowych. Oznacza to, że ośrodek ciągły (gaz lub ciecz) traktowany jest jako zbiór wielu cząstek, dla których rozwiązywane są równania opisujące ich ruch. SPH jest powszechnie wykorzystywana w przemyśle rozrywkowym – efekty specjalne, w filmach i grach komputerowych są często tworzone z jej użyciem, np. fale tsunami zalewające Nowy Jork. Proponowany projekt jest jednak projektem naukowym. Dlaczego zatem SPH? Metoda ta niezwykle dobrze radzi sobie z dużymi różnicami gęstości (woda jest około tysiąc razy gęstsza od powietrza!) oraz, co ważniejsze dla nas, nadaje się do tak zwanych obliczeń masowo zrównoleglonych. Obliczenia numeryczne, pomimo na ogół niższego kosztu od eksperymentu, wymagają dostępu do potężnych komputerów. Maszyny takie są zwykle wyposażone w wiele procesorów, co pozwala rozłożyć zadania obliczeniowe na wiele mniejszych, rozwiązywanych jednocześnie, czyli równolegle. Zamiast procesorów (8-16 zadań w tym samym czasie) można wykorzystać karty graficzne (setki a nawet tysiące zadań równoległych). Pierwszym celem projektu jest opracowanie programu komputerowego bazującego na metodzie SPH, przystosowanego i zoptymalizowanego do uruchamiania na sprzęcie wyposażonym w wiele kart graficznych (minimum cztery).

Program ten posłuży do modelowania przepływów dwufazowych w rurkach. W zależności od stosunku objętości cieczy do gazu, w przepływie takim mogą formować się rozmaite struktury, np. grupy pęcherzyków gazu w płynie, kompletnie chaotyczne, kipiące struktury lub układy typu pierścieniowego (ciecz na ścianach rurki, gaz w jej centralnej części). Mimo prostej geometrii, modelowanie tego typu przepływów jest niezwykle trudne: większość metod numerycznych ma swoje ograniczenia lub wymaga potężnych zasobów komputerowych. Co więcej, interesują nas obliczenia pełnoskalowe, to znaczy takie, których dokładność jest na tyle duża, że nawet najmniejsze struktury przepływu są dokładnie odwzorowane w symulacji. Metoda SPH ma realną szansę zaistnieć jako bardzo użyteczne narzędzie dla inżynierów i naukowców zajmujących się przepływami wielofazowymi. SPH świetnie radzi sobie ze skomplikowanymi przepływami wielofazowymi, a jej największą wadą jest stosunkowo wysoki koszt obliczeniowy. Możliwość wykonania obliczeń na kartach graficznych (tańszych od procesorów) niweluje tę wadę. Dużą część projektu poświęcimy sprawdzeniu zgodności uzyskiwanych wyników obliczeń z danymi eksperymentalnymi. Potwierdzenie skuteczności SPH na tym polu z pewnością będzie istotne dla przyszłych zastosowań w rzeczywistych problemach technicznych.

Innym wyzwaniem, które zostanie podjęte w projekcie, jest znany w SPH problem niefizycznego rozpadu granicy między cieczą a gazem (w uproszczeniu rozumianej jako cienka błona pomiędzy fazami). Choć nie ma róży bez kolców, mamy pomysł jak owe kolce stępić. Ze względu na reprezentację płynu za pomocą małych cząstek, w SPH możemy niekiedy zaobserwować niepożądane mieszanie się cząstek różnych faz. W naturze istnienie napięcia powierzchniowego skutkuje niemieszalnością przeciwnych faz – przykładem są krople oleju w wodzie. W SPH, gdzie model fizyczny jest uproszczony, możemy zaobserwować się zrywanie pojedynczych cząstek. Jest to niepoprawny, czysto numeryczny efekt. Aby temu zapobiec, zwykle dodaje się siłę delikatnie odpychającą od siebie przeciwne fazy. Podejścia takie są wadliwe ze względu na sztuczny charakter i negatywny wpływ na fizykę zjawiska, na przykład zbyt szybki rozpad pęcherzyków gazu wznoszących się w cieczy. W projekcie rozwiniemy podejście, w którym takie pojedyncze cząstki będą rozważane jako malutkie krople/pęcherzyki, modelowane za pomocą oddzielnych, fizykalnie uzasadnionych równań. Takie rozwiązanie problemu pozwoli na otrzymanie dokładniejszych wyników, wolnych od błędów związanych ze sztucznymi poprawkami.

Podsumowując, w opisywanym projekcie skupimy się na opracowaniu wiarygodnego i wydajnego narzędzia numerycznego, służącego do obliczeń przepływów typu gaz-ciecz. Nowatorski element programowania na kartach graficznych i fizykalny model dla traktowania niepożądanych efektów numerycznych powinien przykuć uwagę i pomóc w pracy naukowcom i inżynierom, dla których przepływy wielofazowe są chlebem powszednim.