

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

Sprawozdanie z Projektu:

Modelowanie Przepływu z Pomocą LBM

(Lattice Boltzmann Method)

Przedmiot: Modelowanie Dyskretne

Kierunek: Inżynieria Obliczeniowa

Autor: Filip Rak

Prowadzący ćwiczenia: prof. dr hab. Inż. Dmytro Svyetlichnyy

Data: 31 grudnia 2024

Numer zadania: 3

Grupa laboratoryjna: 4

Wstęp Teoretyczny

Modelowanie przepływu za pomocą metody Lattice Boltzmann (LBM) polega na symulacji dynamiki płynów w przestrzeni dyskretniej, przy użyciu odpowiednich funkcji rozkładu i modeli prędkości, takich jak D2Q9. Proces ten opiera się na obliczeniach kolizji, strumieniowania oraz warunków brzegowych, co pozwala na określenie zmiennych makroskopowych, takich jak gęstość i prędkość. W porównaniu do modelowania dyfuzji, model przepływu wymaga większej liczby składowych funkcji rozkładu i bardziej złożonych funkcji równowagowych, co umożliwia dokładne odwzorowanie ruchu płynów w dwuwymiarowej przestrzeni.

Cel Ćwiczenia

Celem ćwiczenia było opracowanie modelu przepływu w dwuwymiarowej przestrzeni za pomocą metody Lattice Boltzmann (LBM) oraz przeprowadzenie symulacji.

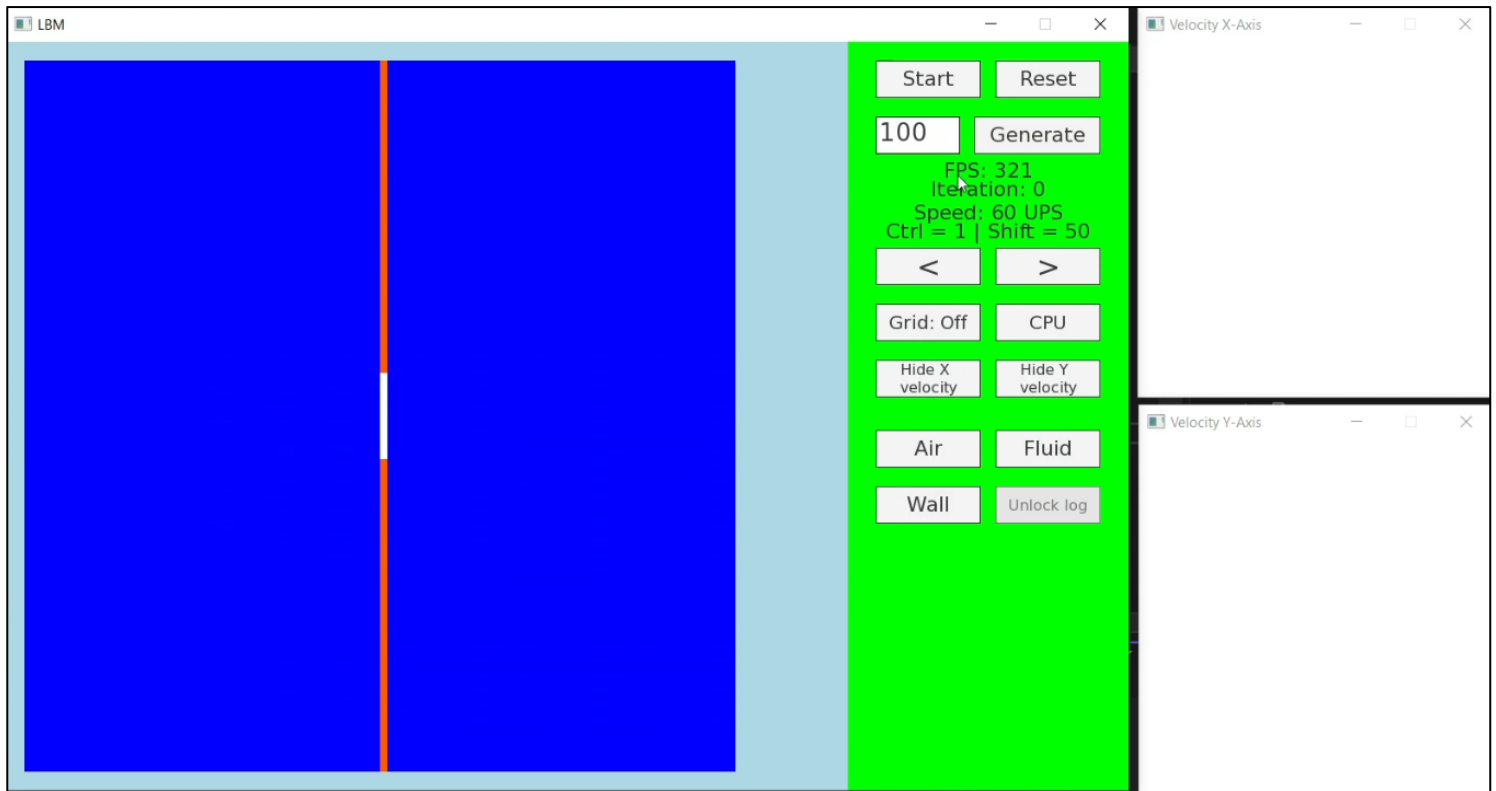
Przeprowadzona Symulacja

Siatka o wymiarach 100x100 została podzielona na dwie części za pomocą ściany biegnącej wzdłuż osi Y. Lewy górny róg siatki oznaczono jako punkt (0, 0), a prawy dolny jako punkt (99, 99). Ściana znajduje się w kolumnie X=50, co oznacza, że dzieli siatkę na dwie niesymetryczne części – lewa część jest szersza (obejmuje kolumny od 0 do 49), a prawa jest węższa (kolumny od 50 do 99). Ściana posiada symetryczny otwór w centrum, obejmujący wiersze Y od 43 do 56, pozostawiając jej fragmenty w przedziałach $Y < 0, 42>$ oraz $Y < 57, 99>$. Współczynnik relaksacji τ ustawiono na 1.5.

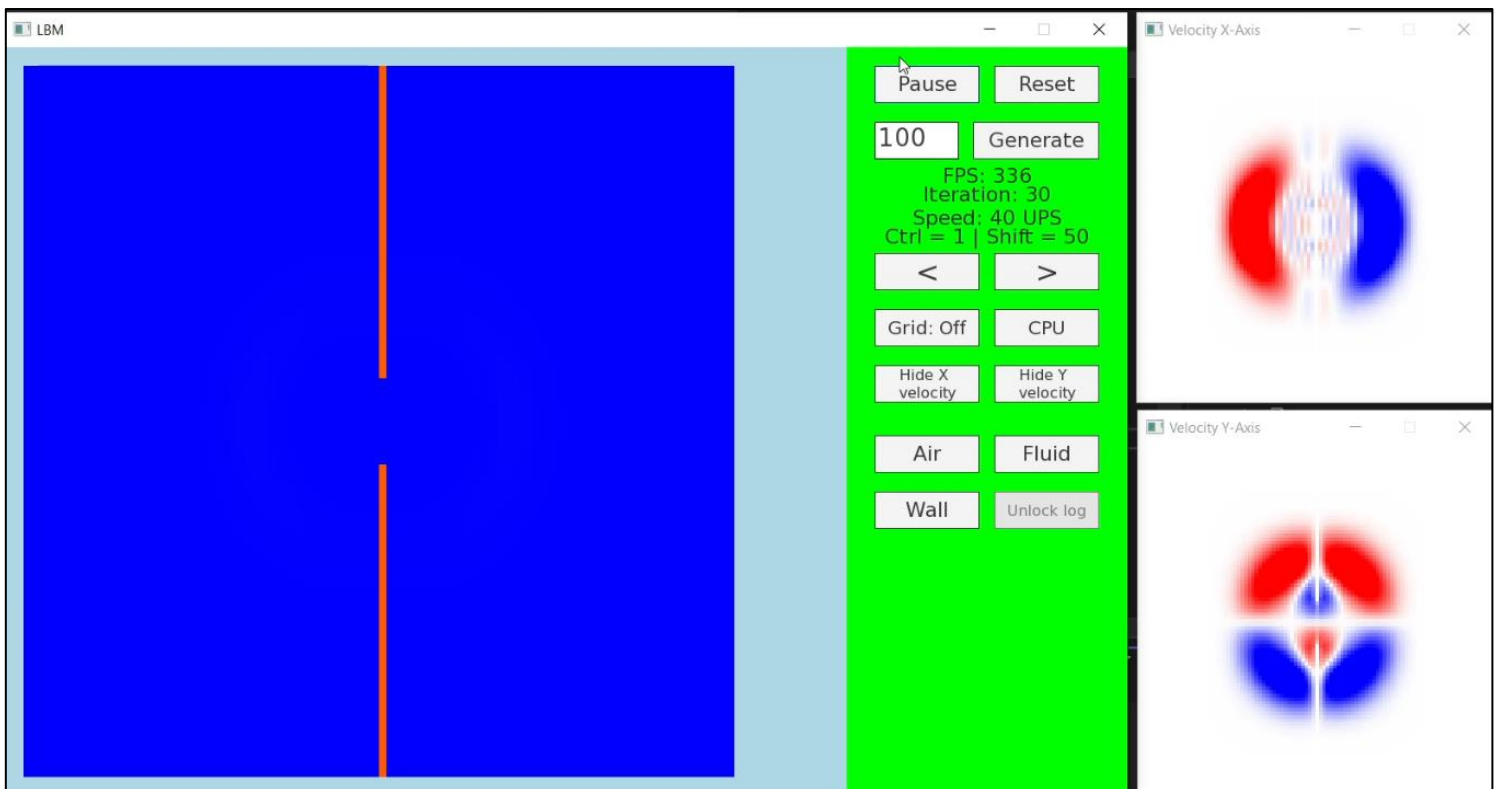
Po lewej stronie ściany znajdują się komórki płynu, gdzie każda z tych komórek została zainicjalizowana z tymi samymi wartościami:

- Gęstość = 1.
- Prędkość = (0, 0).
- Funkcje wejścia (obliczone na podstawie wag dla startowej gęstości): 0.444444, 0.111111, 0.111111, 0.111111, 0.111111, 0.0277778, 0.0277778, 0.0277778, 0.0277778.

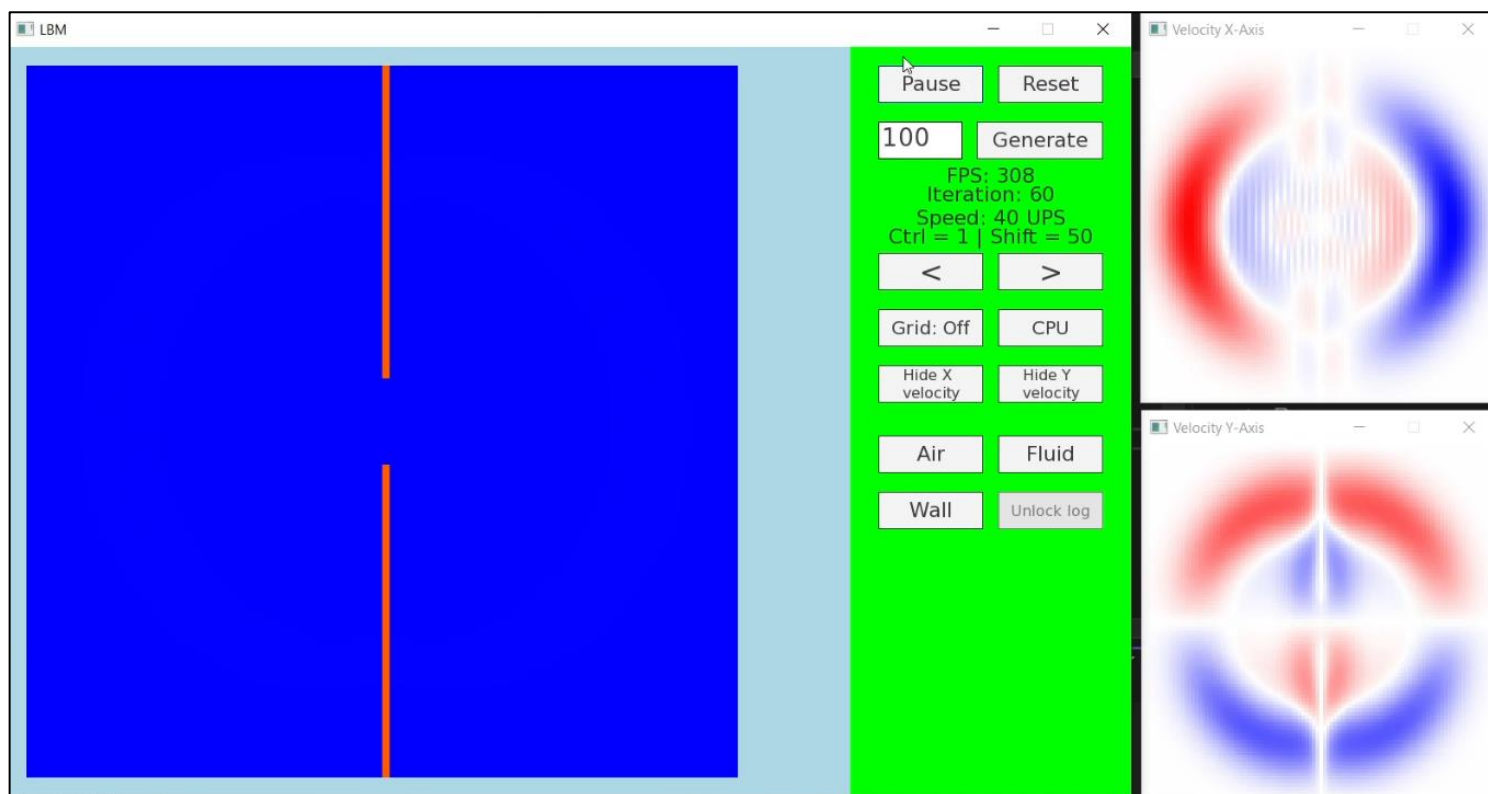
Po prawej stronie ściany znajdują się komórki powietrza, które zostały zainicjalizowane w taki sam sposób, ale z gęstością wynoszącą 0.96.



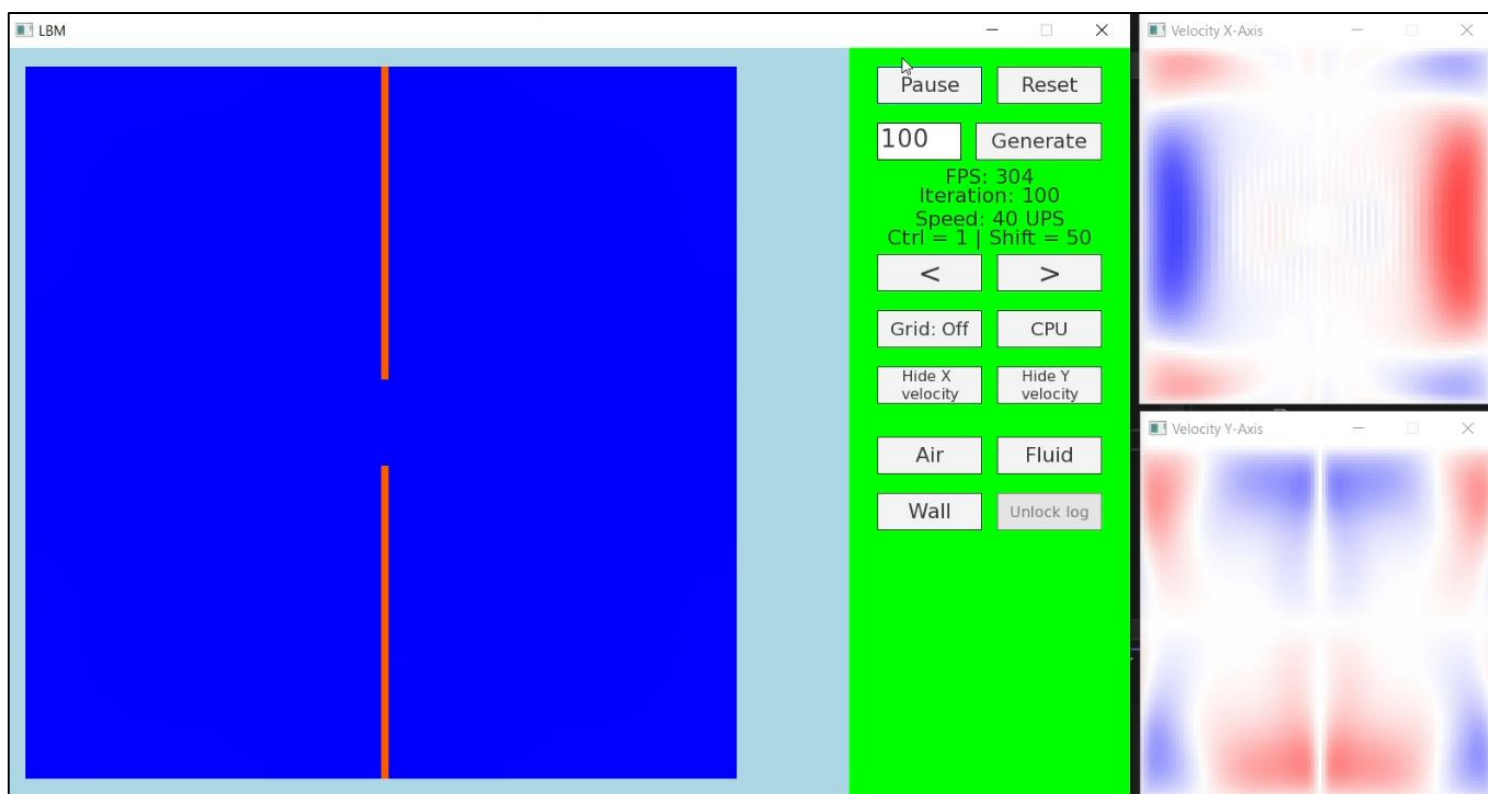
Obraz 1: Stan ustalony przed rozpoczęciem symulacji – brak prędkości.



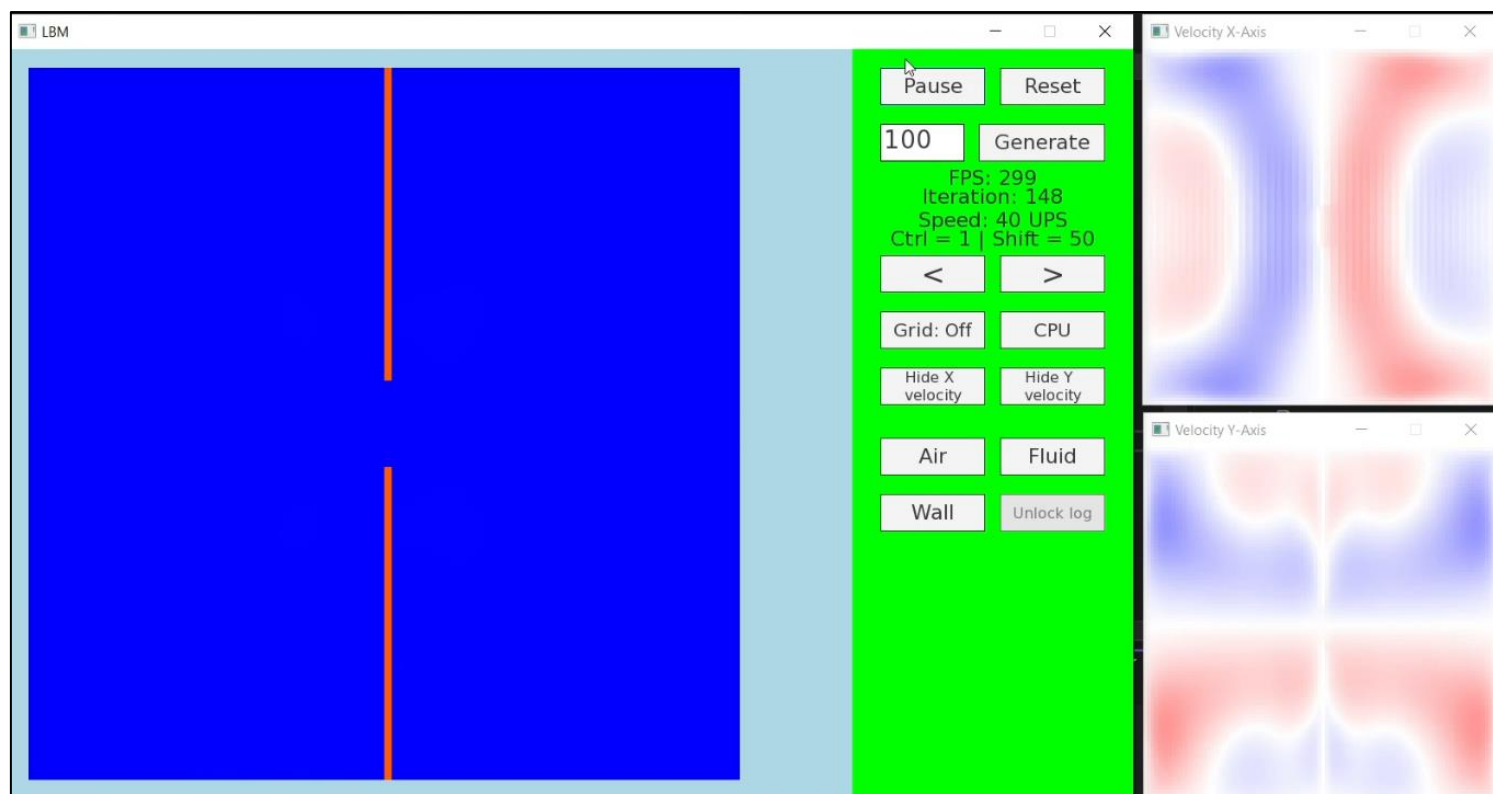
Obraz 2: Symulacja, iteracja 30.



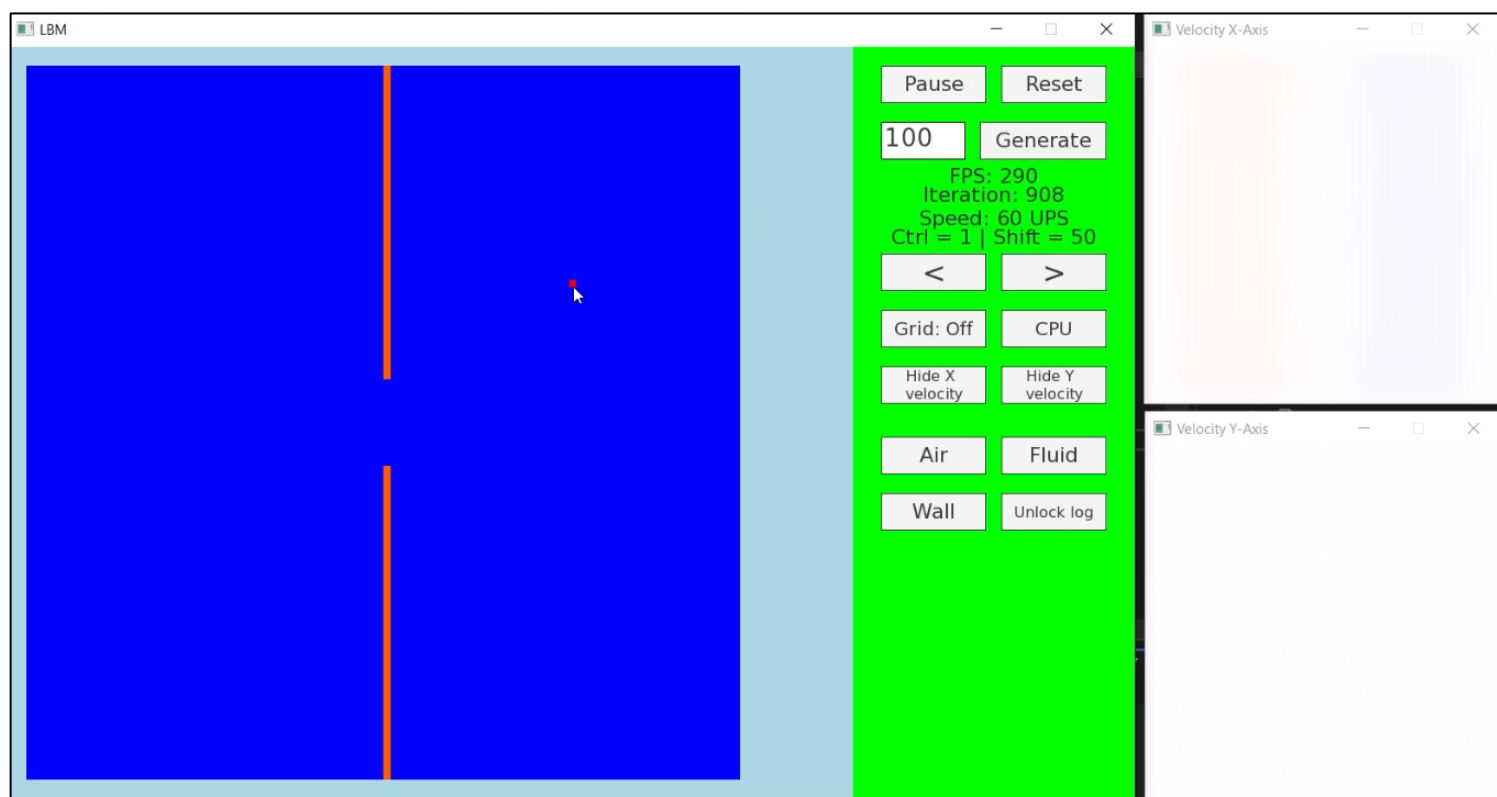
Obraz 3: Symulacja, iteracja 60.



Obraz 4: Symulacja, iteracja 100.



Obraz 5: Symulacja, iteracja 148.



Obraz 6: Stan ustalony osiągnięty po 908 iteracjach.

[Nagranie z powyższej symulacji](#)

[Nagranie z innych symulacji](#)

Analiza Wyników

1. Zadanie 1 - Gaz siatkowy (LGA)

- **Charakterystyka:** Modelowanie gazu w układzie dyskretnym za pomocą prostych operacji kolizji i streamingu. Główne założenie to poruszanie się cząstek w kierunkach pionowym i poziomym, z ograniczeniem do jednej cząstki na kierunek w danej komórce. Proces jest deterministyczny i zachowuje masę oraz pęd, jednak entropia pozostaje stała, co prowadzi do odwracalności procesów.
- **Obserwacje:** W stanie ustalonym cząstki równomiernie rozpraszają się w dostępnej przestrzeni. Brak zachowania termodynamicznej entropii oznacza, że model nie w pełni odzwierciedla procesy rzeczywiste.

2. Zadanie 2 - Dyfuzja za pomocą LBM

- **Charakterystyka:** Rozwinięcie modelu LGA w kierunku metody LBM, z wykorzystaniem funkcji rozkładu i operacji kolizji oraz streamingu. Zastosowano model prędkości D2Q4, który uwzględnia cztery kierunki ruchu. Wartości makroskopowe (stężenie) były obliczane na podstawie funkcji wejściowych.
- **Obserwacje:** W stanie ustalonym uzyskano równomierny rozkład stężenia w obszarze, z uwzględnieniem początkowych różnic między obszarami. LBM wprowadziło większą stabilność i realizm, umożliwiając modelowanie nieodwracalnych procesów.

3. Zadanie 3 - Przepływ za pomocą LBM

- **Charakterystyka:** Rozwinięcie dyfuzji o dodatkową zmienną makroskopową – prędkość. Zastosowano model D2Q9 z dziewięcioma kierunkami, co pozwala na bardziej precyzyjne modelowanie przepływu płynów. Wprowadzenie wektorowej prędkości wymagało bardziej złożonych obliczeń funkcji równowagowej.
- **Obserwacje:** W stanie ustalonym zaobserwowano interakcję dwóch płynów o różnej gęstości (1.0 i 0.96), prowadzącą do powstawania charakterystycznych struktur cyrkulacyjnych. Kolizje płynów generują pierścieniowe fale, które odbijają się od ścian obszaru, a następnie interferują ze sobą podczas kolejnych cykli propagacji.

Wnioski

Model LGA pozwolił na symulację podstawowych zasad zachowania masy i pędu, ale jego ograniczeniem była odwracalność procesów i brak realizmu termodynamicznego. Wprowadzenie metody LBM zwiększyło stabilność i realizm modelu, umożliwiając modelowanie dyfuzji i przepływów jako procesów nieodwracalnych, z uwzględnieniem dodatkowych zmiennych makroskopowych, takich jak prędkość. Zadanie 3, wykorzystując model D2Q9, pozwoliło na symulację przepływów, w tym uwzględnienie złożonych struktur, takich jak gradienty prędkości, co rozszerzyło możliwości analizy dynamiki płynów.