

1. Celem laboratorium było przeprowadzenie symulacji dynamiki gazu metodą DSMC

2. Teoria

Ponieważ metoda DSMC rozwiązuje równania transportu, warunki początkowe istotnie wpływają na przebieg symulacji w stanie nieustalonym. Typowo, początkowe rozkłady prędkości są losowane z rozkładu Maxwella - aczkolwiek jest to rozpatrywane w wariantach ćwiczenia. W układzie 2D, początkowy rozkład energii kinetycznej oparty jest na rozkładzie Boltzmanna:

W stanie ustalonym (przy warunkach Neumanna na brzegach), oczekujemy rozkładu prędkości Maxwella:

Krok czasowy

Czas Δt dobierany jest dynamicznie, aby zapewnić, że żadna cząstka nie przemieści się dalej niż rozmiar komórki:

gdzie $V_{\max}(t)$ to maksymalna prędkość cząstki w danym kroku czasowym.

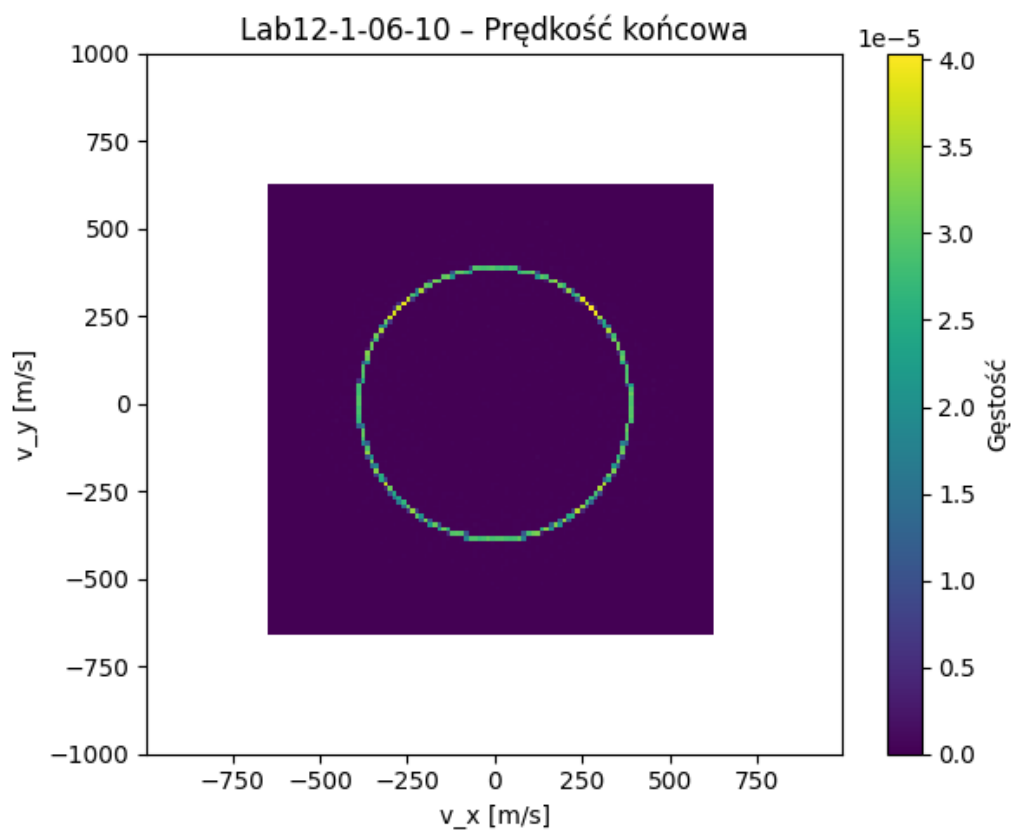
Zderzenia cząstek

W klasycznej metodzie DSMC, liczba zderzeń wyznaczana jest na podstawie średnich prędkości i przekroju czynnego. W używanej wersji algorytmu zderzenia wykrywane są geometrycznie, a tylko przecinając się trajektorie są rozpraszane. Rozpraszanie odbywa się w układzie środka masy z zachowaniem pędu, a nowy kierunek jest losowany.

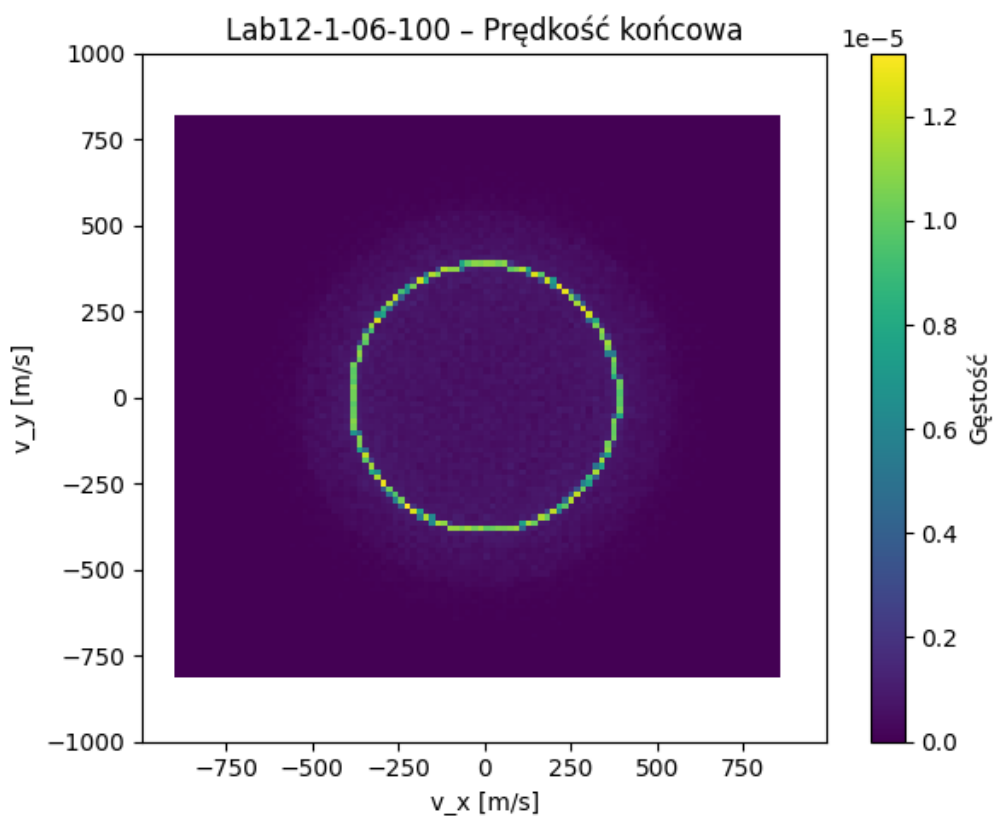
3. Wyniki

3.1. Identyczny rozkład energii cząstek

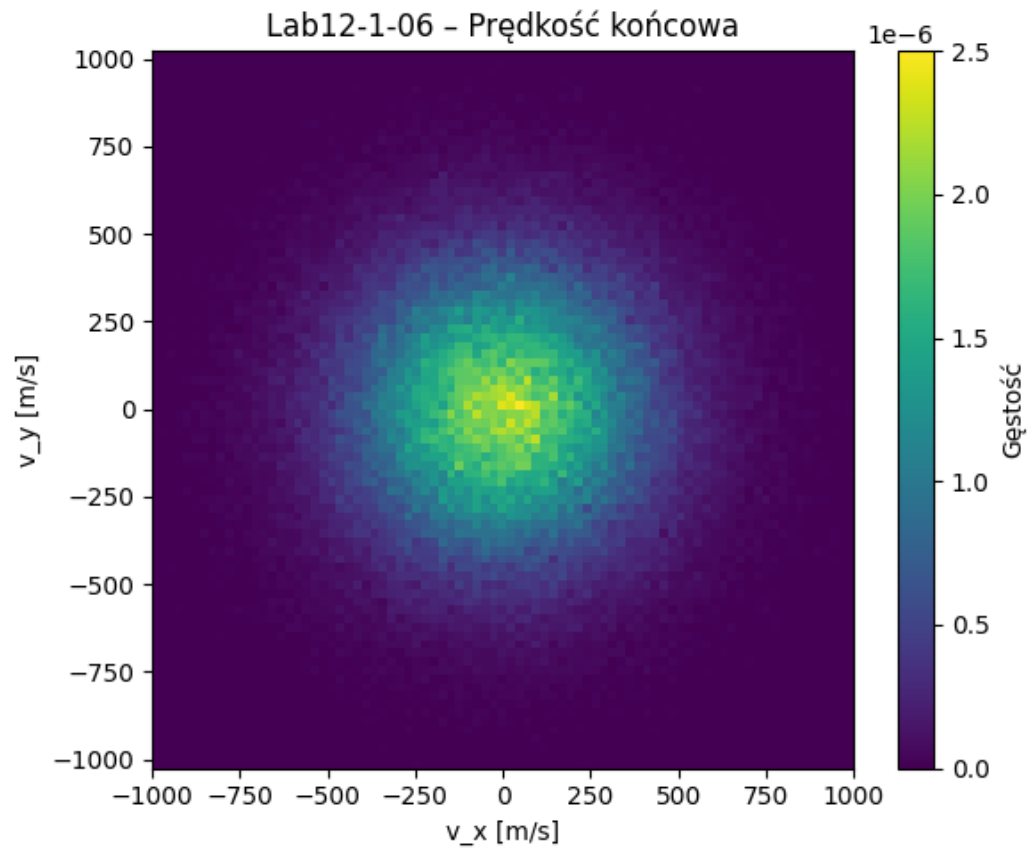
W tym wariantcie eksperymentu założono jednakowe energie początkowe, czyli jednakową średnią prędkość. Celem była obserwacja dochodzenia do stanu ustalonego układu. Na rysunkach 1, 2, 3 przedstawiono ewolucję prędkości początkowych oznaczonych jako wektory V_x oraz V_y . Prędkość całkowita cząstki odpowiada wówczas promieniowi danego punktu. Można zaobserwować początkowo jednolitą prędkość, która z czasem zaczyna się rozmywać (co na histogramie rzutu $\sqrt{V_x^2 + V_y^2}$ byłoby widoczne jako poszerzanie się peaku) oraz rozszerzanie całkowitego obszaru symulacji - początkowo białe obszary odpowiadają miejscom bez cząstek, zmiana na najciemniejszy odcień skali oznacza obecność nawet minimalnej liczby cząstek w analizowanym sektorze. Po osiągnięciu limitu symulacji (20 tysięcy kroków) widać rozkład wycelowany w 0.



Rys 1. Rozkład prędkości po 10 iteracjach.



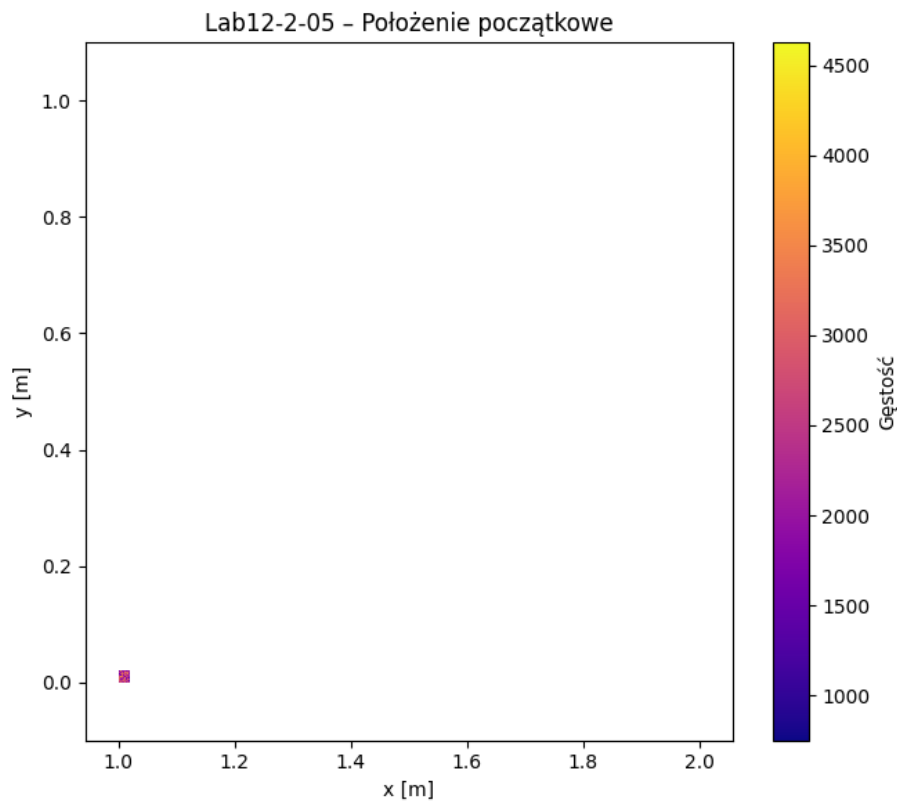
Rys 2. Rozkład prędkości po 100 iteracjach.



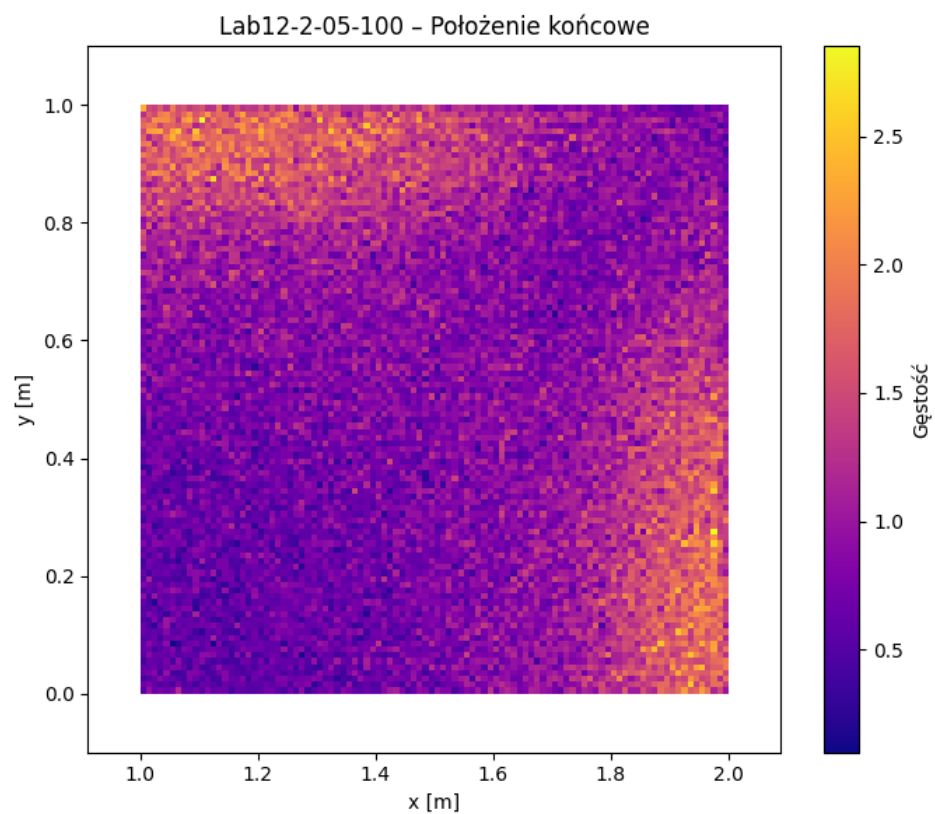
Rys 3. Rozkład prędkości po $2e4$ iteracjach.

3.2. Ekspansja cząstek

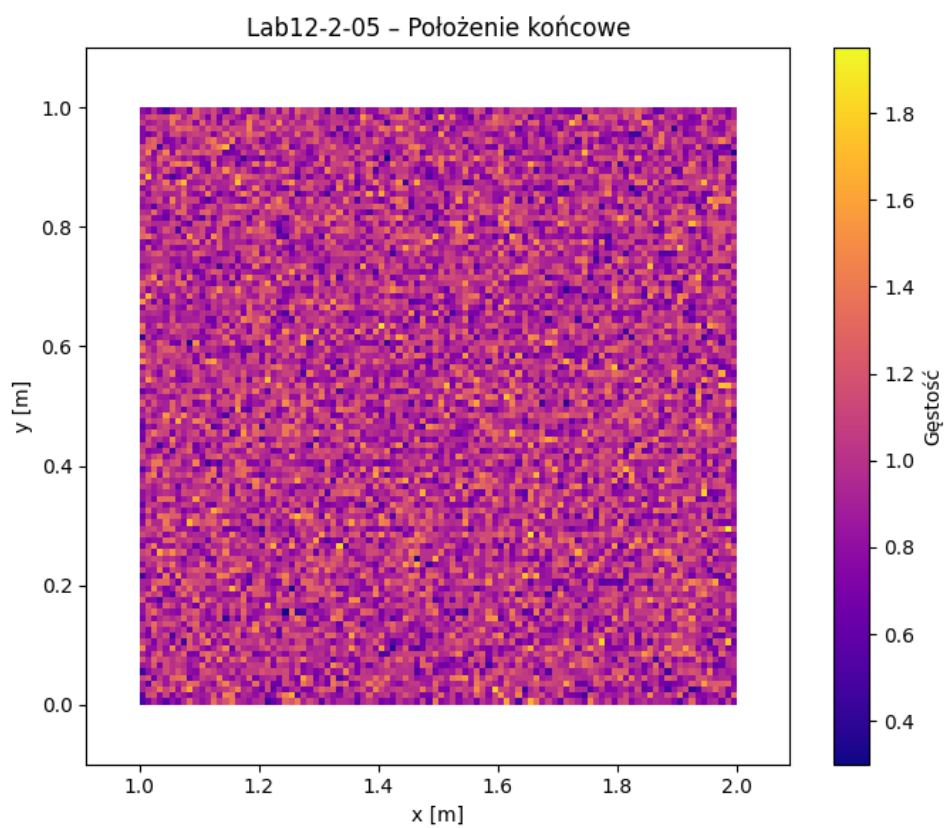
W tym wariantcie symulacji założono, że wszystkie cząstki znajdowały się w komórce (0, 0), czyli kwadracie $[1, 1.02] \times [0, 0.02]$ - zajmowały 0.04% całkowitego obszaru. Celem było zaobserwowanie ekspansji. Na rysunkach 4, 5, 6 przedstawiono ekspansję cząsteczek początkowo ograniczonych do tylko jednej komórki. Na rysunku 5 można zauważyć dotarcie czoła do osi układów oraz mniejszą liczbę cząstek na przekątnej układu. Prawdopodobną przyczyną jest odbijanie się cząstek od wciąż przychodzących fali z epicentrum, na przekątnej z kolei jest więcej miejsca na rozejście się fali.



Rys 4. Położenie początkowe cząstek.



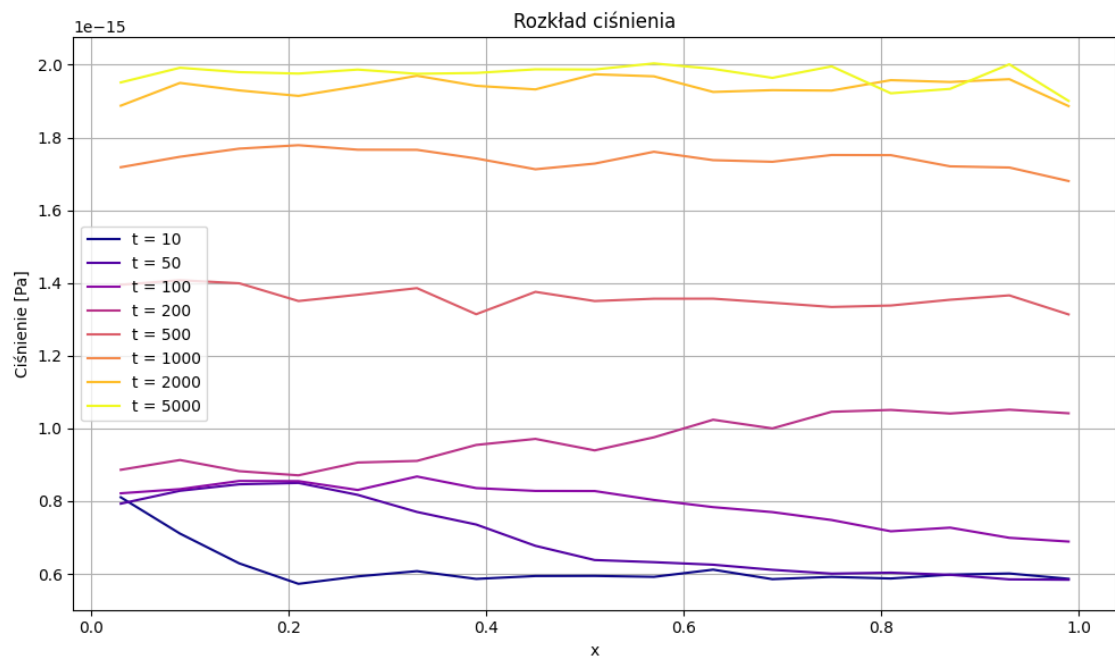
Rys 5. Położenie po 100 iteracjach.



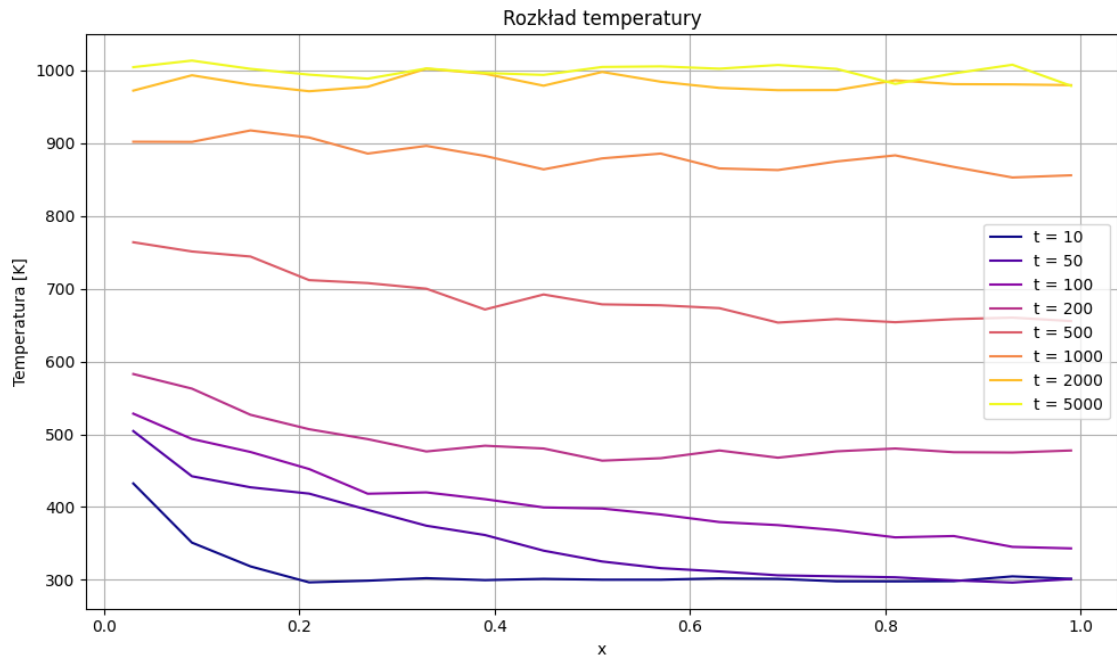
Rys 6. Położenie końcowe cząstek.

3.3. Rozkład Maxwella z grzaniem na brzegu

W tym wariantcie symulacji założono początkowy rozkład Maxwella dla cząstek, początkową temperaturę układu 300 K oraz warunek Dirichleta na lewym brzegu obszaru: 1000 K. Na rysunkach 7, 8 przedstawiono rzuty wzdłuż osi OX (warunki są izotropowe względem OY). Można zaobserwować stabilizację warunków (ciśnienia oraz temperatury) układu już po około 2000 kroków, jak również zdominowanie całego układu przez cząstki o temperaturze 1000 K (początkowo było 300 K).



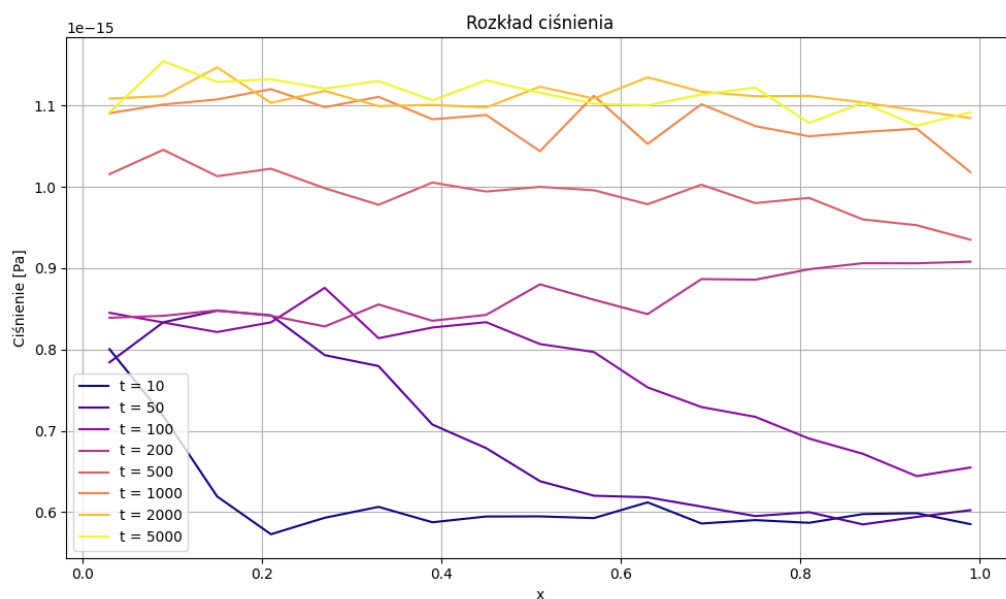
Rys 7. Rozkład ciśnienia.



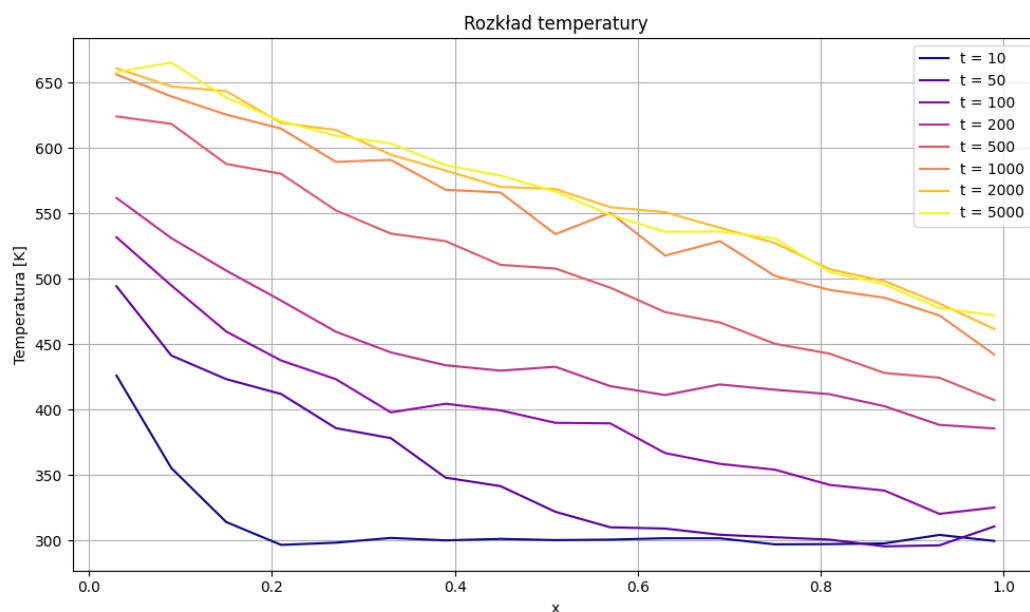
Rys 8. Rozkład temperatury.

3.4. Rozkład Maxwella z warunkami Dirichleta

W tym wariancie na prawym brzegu obszaru nałożono warunek Dirichleta: ustalono temperaturę 300 K. Na rysunkach 9, 10 przedstawiono rzuty wzdłuż osi OX. Widoczna jest stabilizacja ciśnienia w układzie, ale nie temperatury. Pomimo braku bardziej widocznych zmian pomiędzy iteracją nr 2000 a 5000, lewa strona układu nie osiągnęła wartości brzegowej 1000 K- nastąpiła stabilizacja na około 650 K, z kolei prawa strona ustabilizowała się na około 450 K (względem brzegu 300 K).



Rys 9. Rozkład ciśnienia.



Rys 10. Rozkład temperatury.

4. Wnioski

Pomimo wizualnej weryfikacji wyników, właściwym narzędziem do oceny ich poprawności byłoby przeprowadzenie testu np. χ^2 do oceny zgodności z oczekiwanym rozkładem Maxwella. Prawdopodobnie również można ograniczyć długość symulacji do około 5000 kroków. Za ciekawy wynik uznano wyniki obecne na rysunku 10 w porównaniu do rysunku 9. Osiągnięcie (w miarę) jednorodnego ciśnienia w całym układzie bez jednorodnej temperatury jako stanu stabilnego oznacza również niejednorodny rozkład gęstości cząstek w układzie. Interesujące jest również fakt ustalenia układu z dość znaczącym skokiem pomiędzy brzegami układu a cząstkami w nieznacznej odległości.