

Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa

Konwekcja swobodna w OpenFOAM

Marta Krauze

2 czerwca 2022

Wykonano w OpenFOAM-v1806.

Na podstawie William A. Hay "A low-Mach number solver for variable density flows".

Spis treści

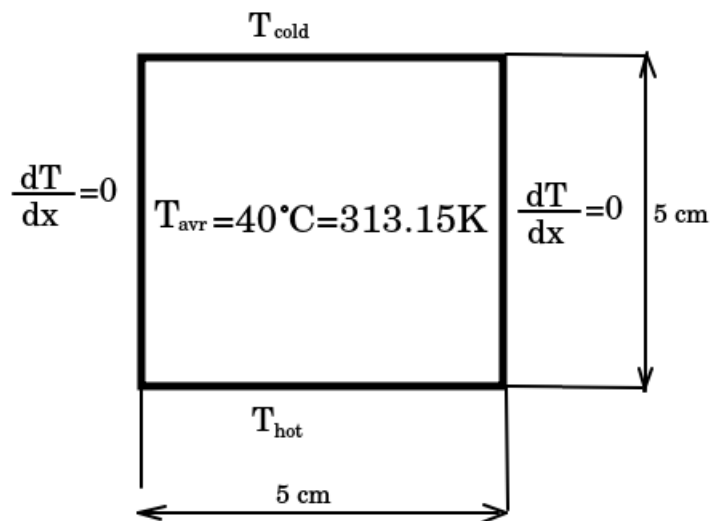
1	Wstęp	3
2	Opis modelu	3
3	Wyniki	4
3.1	Konwekcja swobodna $\Delta T = 15[K]$	4
3.2	Konwekcja swobodna $\Delta T = 5[K]$	6
3.3	Konwekcja swobodna na księżycu	8
4	Podsumowanie	10
5	Tutorial	10

1 Wstęp

Konwekcja swobodna jest to rodzaj wymiany ciepła spowodowany samoistnym ruchem płynu. W powietrzu ruch ten występuje, ponieważ zimniejsze cząteczki o większej gęstości opadają pod wpływem grawitacji, a cieplejsze o mniejszej gęstości unoszą się do góry.

2 Opis modelu

Rozważane zagadnienie jest dwuwymiarowe. Powietrze o liczbie Prandtla $Pr = 0.71$ jest umieszczone pomiędzy dolną gorącą ścianką, a górną zimną. Boczne ścianki są adiabatyczne, co oznacza, że gradient temperatury na nich wynosi 0. Do symulacji użyto solvera lowMachBouyantPimpleFoam zaproponowanego przez Williama A. Hay.



Rysunek 1: Rozpatrywane zagadnienie

Założenia:

- Powietrze jest traktowane jak gaz doskonały
- Ruch płynu jest nieturbulentny, prędkość konwekcji swobodnej jest mała, więc założenie adekwatne
- Mała liczba Macha
- Zerowy gradient temperatury przez ścianki boczne

Rozważono trzy przypadki:

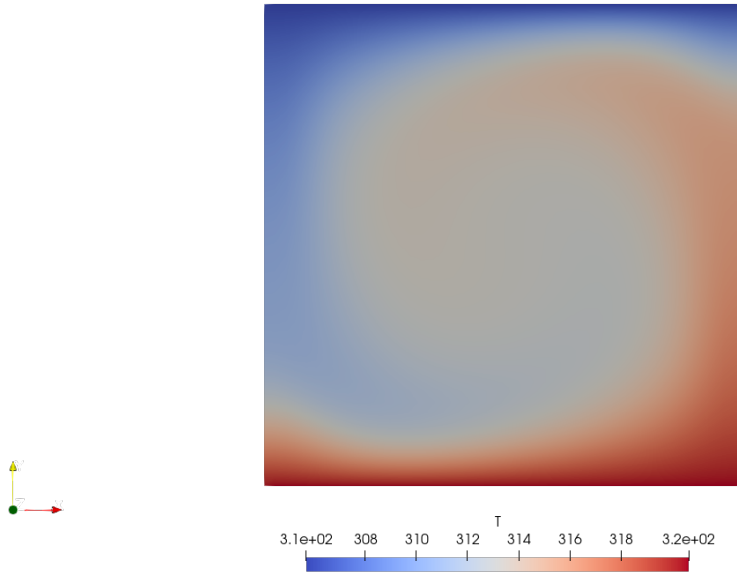
1. $T_{cold} = 32.5^{\circ}C = 305.65K$, $T_{hot} = 47.5^{\circ}C = 320.65K$, $g = 9.81[m/s^2]$, $Ra = 1.4 \cdot 10^5$
2. $T_{cold} = 37.5^{\circ}C = 310.65K$, $T_{hot} = 42.5^{\circ}C = 315.65K$, $g = 9.81[m/s^2]$, $Ra = 4.8 \cdot 10^4$
3. $T_{cold} = 32.5^{\circ}C = 305.65K$, $T_{hot} = 47.5^{\circ}C = 320.65K$, $g = 1.622[m/s^2]$ - przyspieszenie grawitacyjne na księżycu, $Ra = 2.4 \cdot 10^4$

Liczbę Rayleigha liczono ze wzoru 1, przyjmując $\nu = 17 \cdot 10^{-6}[m^2/s]$, $\alpha = 2.4 \cdot 10^{-5}[m^2/s]$, $\beta = 3.2 \cdot 10^{-3}[1/K]$, $L = 0.05[m]$.

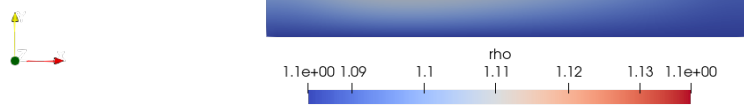
$$Ra = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu\alpha} \quad (1)$$

3 Wyniki

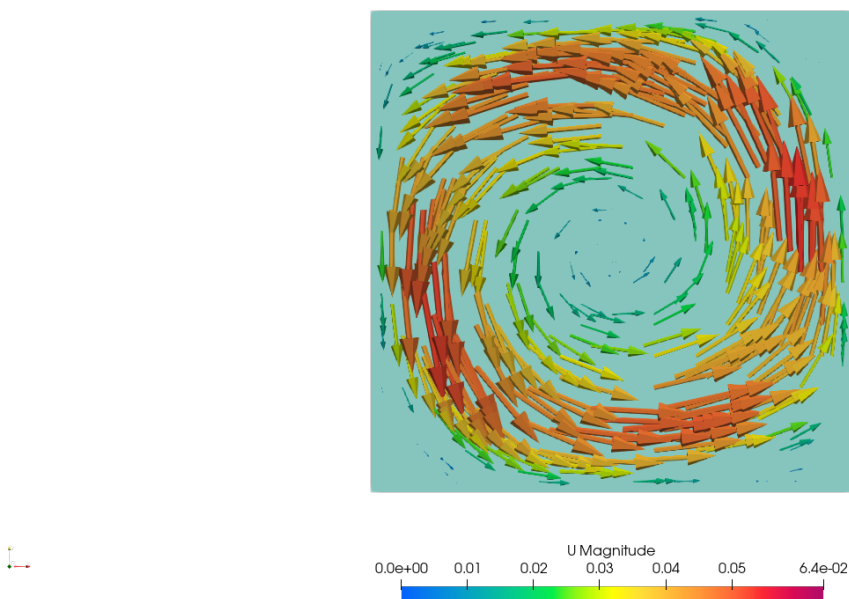
3.1 Konwekcja swobodna $\Delta T = 15[K]$



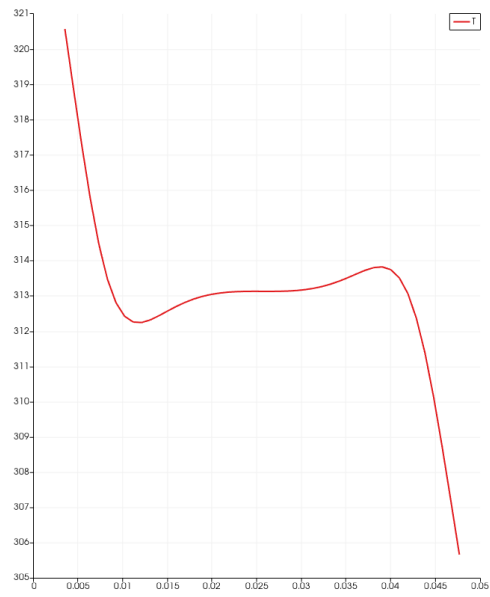
Rysunek 2: Kontur temperatury



Rysunek 3: Kontur gęstości

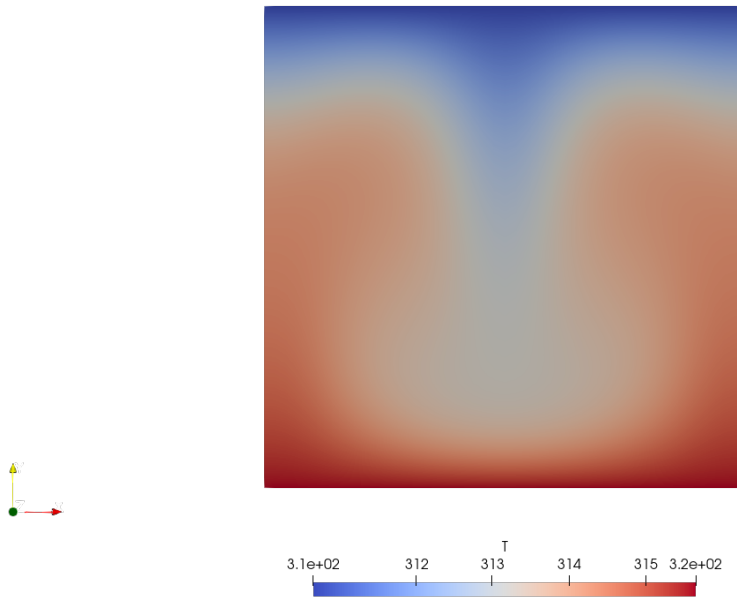


Rysunek 4: Wektory prędkości

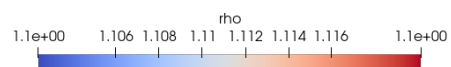
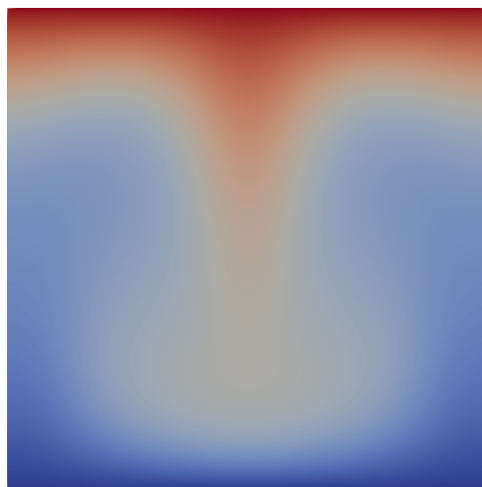


Rysunek 5: Wykres temperatury wzdłuż środka obszaru

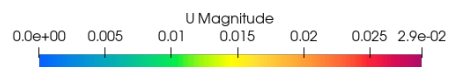
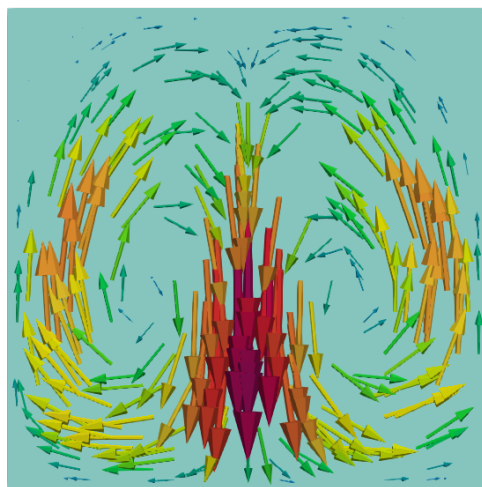
3.2 Konwekcja swobodna $\Delta T = 5[K]$



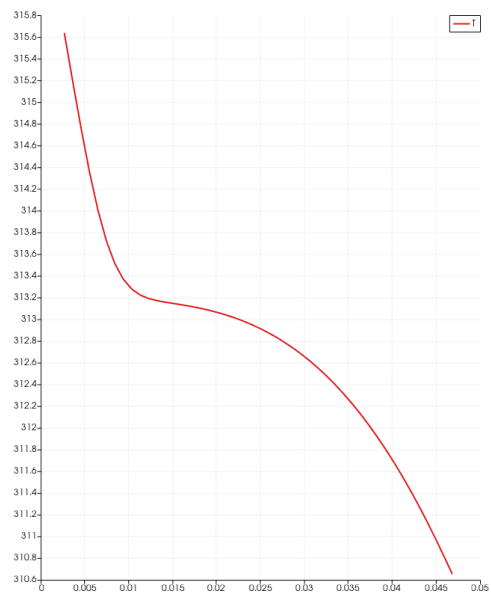
Rysunek 6: Kontur temperatury



Rysunek 7: Kontur gęstości

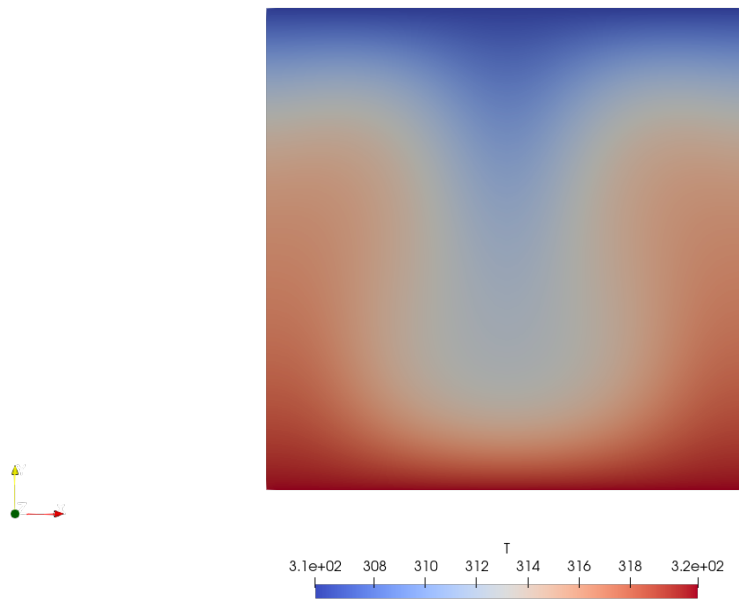


Rysunek 8: Wektory prędkości

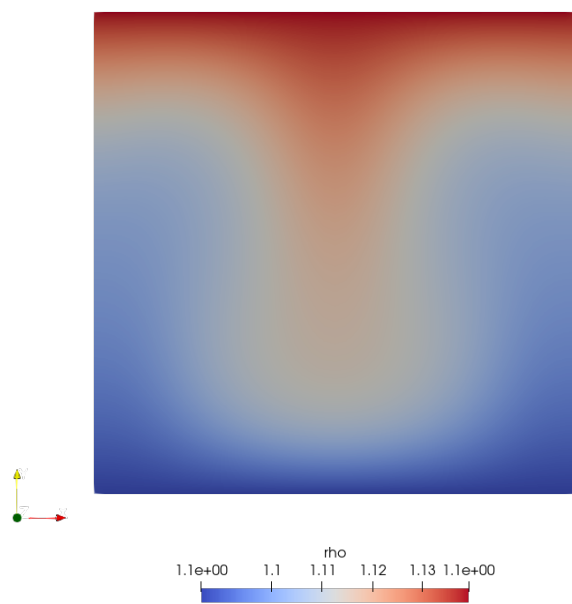


Rysunek 9: Wykres temperatury wzdłuż środka obszaru

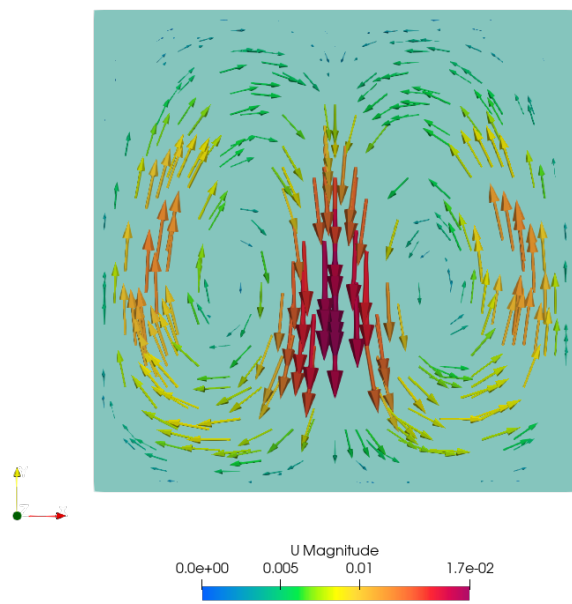
3.3 Konwekcja swobodna na księżycu



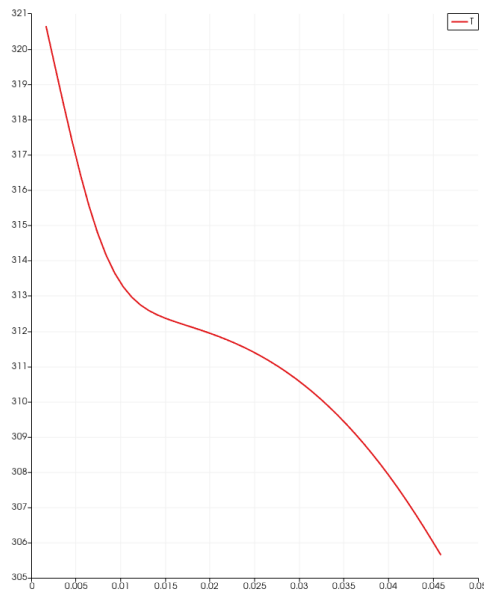
Rysunek 10: Kontur temperatury



Rysunek 11: Kontur gęstości



Rysunek 12: Wektory prędkości



Rysunek 13: Wykres temperatury wzdłuż środka obszaru

4 Podsumowanie

Wizualizacje ukazują, że pod wpływem konwekcji swobodnej dochodzi do cyrkulacji powietrza między cieplejszą a zimniejszą ścianką. Przy większej różnicy temperatur powietrze uzyskuje większą prędkość. Na księżycu, gdzie przyspieszenie grawitacyjne jest mniejsze, efekt konwekcji swobodnej jest słabszy, powietrze krąży z mniejszą prędkością.

5 Tutorial

Aby wykonać pierwszą z symulacji wystarczy postępować zgodnie z tutorialiem Williama A. Hay - link: [Tutorial](#). Należy pamiętać, że tutorial może nie działać przy użyciu innej wersji OpenFOAMa.

Aby zmienić różnicę temperatur ΔT pomiędzy ściankami górną i dolną należy:

- Skopiować katalog zagadnienia i zmienić jego nazwę

```
cp -r rayleighBenard2DTestCase rayleighBenard2DTestCase_dt5
```

- Wejść do katalogu 0 i zedytować plik T , zmieniając temperaturę górnej i dolnej ścianki

```
cd rayleighBenard2DTestCase_dt5/0
vim T
```

```

    floor
    {
        type            fixedValue;
        value            uniform 315.65;
    }
    ceiling
    {
        type            fixedValue;
        value            uniform 310.65;
    }

```

- Zmienić wartości referencyjne w katalogu *constant* w pliku *flowProperties*

```

cd ..
cd constant
vim flowProperties

```

```

// Reference temperature
deltaTRef      5;

// Reference density
rhoRef         1.1272;

// Reference freefall velocity (beta*deltaT*g*H)^0.5
URef           0.088589;

// Reference Rayleigh
RaRef          4.8e4;

```

- Zmeszować i uruchomić solver

```

cd ..
blockMesh
lowMachBouyantPimpleFoam

```

- Wyświetlić wyniki w Paraview

```

touch case.foam

```

```
paraview case.foam
```

Aby zmienić przyspieszenie grawitacyjne należy:

- Skopiować katalog zagadnienia i zmienić jego nazwę

```
cp -r rayleighBenard2DTestCase rayleighBenard2DTestCase_mo
```

- Wejść do katalogu *constant* i zedytować plik *g*, zmieniając wartość przyspieszenia grawitacyjnego

```
cd rayleighBenard2DTestCase_mo/constant  
vim g
```

```
value          (0 -1.622 0);
```

- Zmienić wartości referencyjne w katalogu *constant* w pliku *flowProperties*

```
vim flowProperties
```

```
// Reference freefall velocity (beta*deltaT*g*H)^0.5  
URef          0.062392;  
  
// Reference Rayleigh  
RaRef         2.4e4;
```

- Zmeszować i uruchomić solver

```
cd ..  
blockMesh  
lowMachBouyantPimpleFoam
```

- Wyświetlić wyniki w Paraview

```
touch case.foam  
paraview case.foam
```