



# Symulacja lotu rakiety **Soyuz**

**Autorzy:**

Paweł Rok, Michał Kołodyński, Igor Płoszaj

**Opiekun projektu:**

Michał Grendysz

## Wstęp

Celem projektu było stworzenie symulacji komputerowej wprowadzenia na orbitę rakiety kosmicznej.

## Metodologia

Do stworzenia symulacji użyto języka programowania Python. Skorzystano z danych rakiety Soyuz i zasymulowano jej lot. Na początku rozważono wszystkie siły działające na raketę podczas lotu oraz wypisano potrzebne wzory.

## Siły działające na raketę (rys.1)

- $\mathbf{v}$  - prędkość całkowita
- $\mathbf{v}_r$  - prędkość radialna
- $\mathbf{v}_t$  - prędkość tangencjalna
- $\mathbf{T}$  - siła ciągu
- $\mathbf{F}_g$  - siła grawitacji
- $\mathbf{F}_o$  - siła oporu powietrza
- $\mathbf{R}$  - odległość od środka Ziemi
- $\lambda$  - długość geograficzna od miejsca startu
- $\phi$  - kąt między wektorem ciągu a osią rakiety
- $\theta$  - kąt między promieniem wodzącym a osią rakiety

## Wzory

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{T}{I_{sp} \cdot g_0}$$

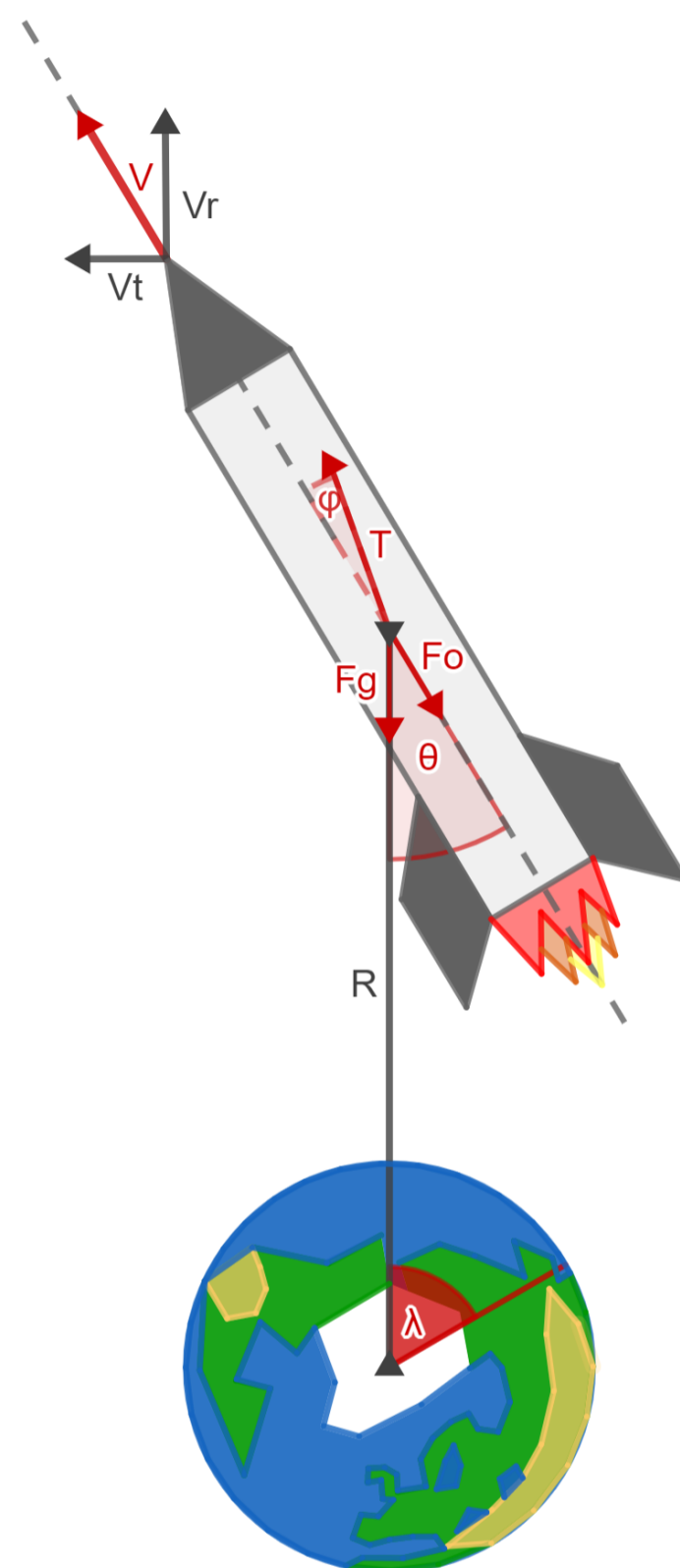
$$\theta = \arccos\left(\frac{v_r}{\sqrt{v_r^2 + v_t^2}}\right)$$

$$a_r = \frac{\sum F_r \cos(\theta - \phi) \cdot T(R) - \frac{GMm}{R^2} - \cos(\theta) \cdot \frac{(v_r^2 + v_t^2)\rho(R)}{2} SC_d}{m}$$

$$a_t = \frac{\sum F_t \sin(\theta) \cdot \frac{(v_r^2 + v_t^2)\rho(R)}{2} SC_d + \sin(\theta - \phi) \cdot T(R)}{m}$$

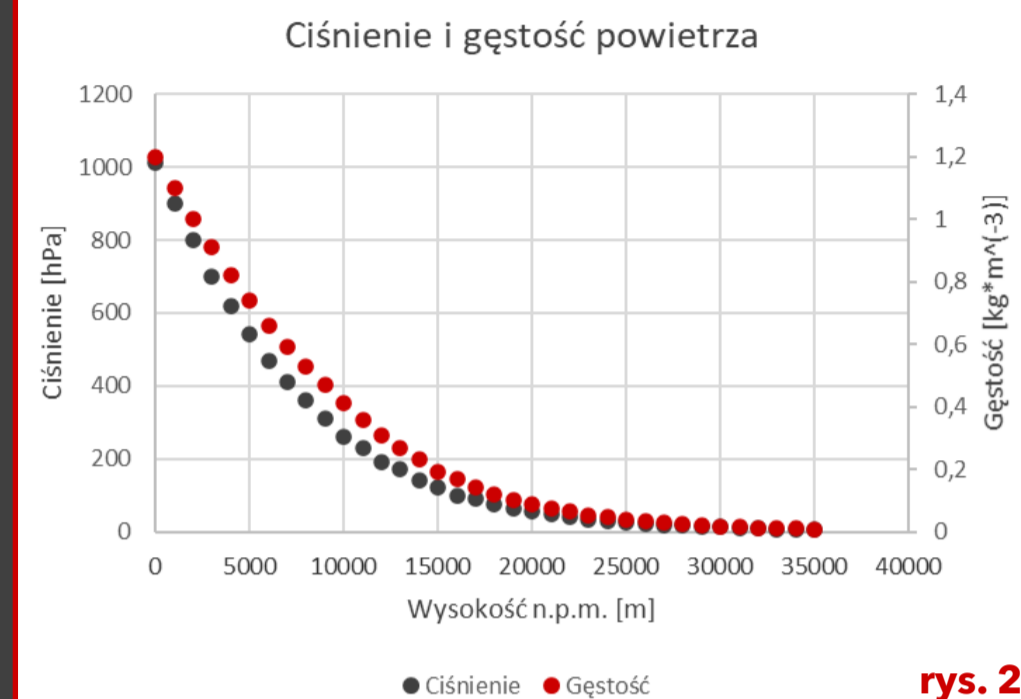
- $\Delta m$  - różnica masy
- $\Delta t$  - różnica czasu
- $g_0$  - przyspieszenie ziemskie
- $G$  - stała grawitacji
- $M$  - masa Ziemi
- $m$  - masa rakiety
- $I_{sp}$  - impuls właściwy
- $a_r$  - przysp. radialne
- $a_t$  - przysp. tangencjalne
- $S$  - powierzchnia czołowa
- $C_d$  - współczynnik oporu aerodynamicznego

## Schemat sił i oddziaływań



rys. 1

## Zastosowany model atmosfery



rys. 2

## Założenia projektu

- Wektor prędkości lotu rakiety pozostaje równoległy z osią podłużną rakiety
- Przyjęty zostaje model międzynarodowej atmosfery standardowej różniący się od atmosfery rzeczywistej (rys. 2)
- Rozważona zostaje jedynie grawitacja Ziemi, która jest stała
- Brak siły nośnej rakiety
- Brak momentu aerodynamicznego
- Rakieta traktowana jest jako punkt materialny
- Punkt startu znajduje się na wysokości 0 m n.p.m.
- W symulacji nie uwzględnia się ruchu obrotowego Ziemi