

# Politechnika Warszawska

Wydział Mechaniczny energetyki i Lotnictwa

## Obliczenia inżynierskie w chmurze

Projekt

**Zrównoleglenie symulacji inżynierskich metodą Monte Carlo w środowisku kontenerowym na przykładzie deorbitacji asteroid.**

Wykonał: Bartłomiej Sobieraj

321301

# 1.Cel projektu

Celem projektu było zaprojektowanie i wdrożenie systemu rozproszonych obliczeń inżynierskich w środowisku chmury publicznej.

Praktycznym zastosowaniem systemu była analiza ryzyka uderzenia obiektów kosmicznych (asteroid) w Ziemię przy użyciu metody Monte Carlo. Projekt miał na celu zbadanie wpływu materiału budulcowego asteroidy na prawdopodobieństwo jej przetrwania podczas przejścia przez atmosferę, wykorzystując konteneryzację do zrównoleglenia procesu obliczeniowego.

## 2. Wykorzystane technologie i środowisko

Do realizacji zadania wykorzystano następujące programy:

- **Chmura:** Microsoft Azure, maszyna wirtualna
- **System operacyjny:** Linux Ubuntu 24.04
- **Jednostka obliczeniowa:** Standard D2s v3
- **Konteneryzacja:** Docker
- **Język programowania:** Python 3.9 + biblioteka NumPy
- **Transfer plików:** Fillezilla

### ^ Podstawowe elementy

Grupa zasobów ( <a href="#">przenieś</a> )	: <a href="#">chmura</a>	System operacyjny	: Linux (ubuntu 24.04)
Stan	: Uruchomione	Rozmiar	: Standard D2s v3 (2 procesory wirtualne vcpu, 8 GiB pamięci)
Lokalizacja	: Poland Central (Strefa 1)	Publiczny adres IP podst...	: <a href="#">74.248.232.90</a>
Subskrypcja ( <a href="#">przenieś</a> )	: <a href="#">Azure for Students</a>		<a href="#">Liczba skojarzonych publicznych adresów IP: 1</a>
Identyfikator subskrypcji	: ea6610f1-4b5a-4278-9d86-593d2dbc89d9	Sieć/podsieć wirtualna	: <a href="#">chmura-vnet/default</a>
Strefa dostępności	: 1	Nazwa DNS	: <a href="#">Nieskonfigurowano</a>
		Stan kondycji	: —
		Godzina utworzenia	: 8.01.2026, 09:27 UTC

Tani ([zaktualizuj](#)) • [Dodaj tani](#)

Rysunek 1.Maszyna wirtualna w Azure



## 4. Implementacja w chmurze

Aplikacja została skonteneryzowana, aby zapewnić izolację środowiska i łatwą skalowalność. Stworzono obraz asteroid-sim na bazie python:3.9-slim.

Kluczowym elementem implementacji było wykorzystanie zmiennych środowiskowych do sterowania logiką kontenera z zewnątrz, bez konieczności modyfikacji kodu źródłowego.

Zastosowane parametry uruchomieniowe:

- MATERIAL\_TYPE: Definiuje badany materiał (1=Lód, 2=Kamień, 3=Żelazo).
- SIMULATIONS: Liczba iteracji Monte Carlo (ustawiono na 100 000).

## 5. Przebieg eksperymentu

W ramach maszyny wirtualnej Azure uruchomiono równolegle trzy instancje kontenera, symulujące różne scenariusze materiałowe. Pozwoliło to na trzykrotne skrócenie czasu potrzebnego na uzyskanie wyników w porównaniu do przetwarzania sekwencyjnego.

```
bsobieraj@chmura:~/asteroida_projekt$ sudo docker run -d --name symulacja_lod -e MATERIAL_TYPE=1 -e SIMULATIONS=100000 -e SIM_ID="LOD" asteroid-sim
e3aaafbe97a0016cb9a23cee4a4667dd9a7cacbb43dd9ab4c060adfa51a9519
bsobieraj@chmura:~/asteroida_projekt$ sudo docker run -d --name symulacja_kamien -e MATERIAL_TYPE=2 -e SIMULATIONS=100000 -e SIM_ID="KAMIEŃ" asteroid-sim
891c06a237e890eeb903eb93eba04e487dd8fc86364fa610e651ded830357e35
bsobieraj@chmura:~/asteroida_projekt$ sudo docker run -d --name symulacja_zelazo -e MATERIAL_TYPE=3 -e SIMULATIONS=100000 -e SIM_ID="ZELAZO" asteroid-sim
57dec445f999def8e98b8436d045bd2df12d25b3ac5e6fcb70ace64ef055b93b
bsobieraj@chmura:~/asteroida_projekt$ sudo docker ps
CONTAINER ID   IMAGE          COMMAND                  CREATED        STATUS        PORTS          NAMES
bsobieraj@chmura:~/asteroida_projekt$ sudo docker ps -a
CONTAINER ID   IMAGE          COMMAND                  CREATED        STATUS        PORTS          NAMES
57dec445f999   asteroid-sim   "python main.py"        About a minute ago   Exited (0)    About a minute ago   symulacja_zelazo
891c06a237e8   asteroid-sim   "python main.py"        About a minute ago   Exited (0)    About a minute ago   symulacja_kamien
e3aaafbe97a0   asteroid-sim   "python main.py"        2 minutes ago       Exited (0)    2 minutes ago       symulacja_lod
bsobieraj@chmura:~/asteroida_projekt$
```

Rysunek 3. Lista kontenerów po wykonaniu obliczeń

## 6. Wyniki i analiza

Po zakończeniu obliczeń pobrano logi z poszczególnych kontenerów. Uzyskano następujące wyniki ryzyka uderzenia w powierzchnię Ziemi.

```
bsobieraj@chmura:~/asteroida_projekt$ sudo docker logs symulacja_lod
[LOD] ROZPOCZYNAM ANALIZĘ INŻYNIERSKĄ...
[LOD] Model: Wytrzymałość na ciśnienie dynamiczne (Ram Pressure)
[LOD] Materiał: LÓD (Kometa) | Gęstość: 1000.0 | Wytrzymałość: 1.0 MPa
[LOD] --- WYNIKI ---
[LOD] Przetworzono przypadków: 100000 w czasie 0.05s
[LOD] -> Wybuchy w atmosferze (bezpieczne): 100000
[LOD] -> Uderzenia w Ziemię (KRATER): 0
[LOD] -> Średnia energia uderzenia: 2918.41 kT TNT
[LOD] RYZYKO UDERZENIA W GRUNT: 0.00%
```

Rysunek 4. Wyniki obliczeń dla Lodu

```
bsobieraj@chmura:~/asteroida_projekt$ sudo docker logs symulacja_kamien
[KAMIEN] ROZPOCZYNAM ANALIZĘ INŻYNIERSKĄ...
[KAMIEN] Model: Wytrzymałość na ciśnienie dynamiczne (Ram Pressure)
[KAMIEN] Materiał: KAMIEN (Asteroida) | Gęstość: 2600.0 | Wytrzymałość: 10.0 MPa
[KAMIEN] --- WYNIKI ---
[KAMIEN] Przetworzono przypadków: 100000 w czasie 0.03s
[KAMIEN] -> Wybuchy w atmosferze (bezpieczne): 100000
[KAMIEN] -> Uderzenia w Ziemię (KRATER): 0
[KAMIEN] -> Średnia energia uderzenia: 7618.76 kT TNT
[KAMIEN] RYZYKO UDERZENIA W GRUNT: 0.00%
```

Rysunek 5. Wyniki obliczeń dla kamienia

```
[ZELAZO] ROZPOCZYNAM ANALIZĘ INŻYNIERSKĄ...
[ZELAZO] Model: Wytrzymałość na ciśnienie dynamiczne (Ram Pressure)
[ZELAZO] Materiał: ŻELAZO (Meteoryt) | Gęstość: 7800.0 | Wytrzymałość: 200.0 MPa
[ZELAZO] --- WYNIKI ---
[ZELAZO] Przetworzono przypadków: 100000 w czasie 0.03s
[ZELAZO] -> Wybuchy w atmosferze (bezpieczne): 90191
[ZELAZO] -> Uderzenia w Ziemię (KRATER): 9809
[ZELAZO] -> Średnia energia uderzenia: 22780.57 kT TNT
[ZELAZO] RYZYKO UDERZENIA W GRUNT: 9.81%
```

Rysunek 6. Wyniki obliczeń dla żelaza

### **Scenariusz A: Lód (Komet)**

- Wytrzymałość: 1 MPa
- Wynik ryzyka: 0.00%
- Wniosek: Obiekty lodowe ulegają całkowitej sublimacji lub rozpadowi pod wpływem ciśnienia atmosferycznego.

### **Scenariusz B: Kamień (Asteroida)**

- Wytrzymałość: 10 MPa
- Wynik ryzyka: 0.00%
- Wniosek: Przy średniej prędkości wejścia (18 km/s), ciśnienie dynamiczne przekracza wytrzymałość skały, powodując jej eksplozję w powietrzu.

### **Scenariusz C: Żelazo (Meteoryt żelazny)**

- Wytrzymałość: 200 MPa
- Wynik ryzyka: ~10.00%
- Wniosek: Żelazo jest jedynym materiałem wykazującym odporność pozwalającą na dotarcie do gruntu. Mimo wysokiej wytrzymałości, aż 90% obiektów uległo zniszczeniu ze względu na ekstremalne prędkości wejścia generujące ciśnienia powyżej 200 MPa. Te 10%, które przetrwało, stanowiło obiekty o niższej prędkości początkowej.