

PROJEKT: SMOKE DYNAMICS 3D

KOD KURSU: 120-ISI-1S-777

**PRZEDMIOT: SYMULACJA SYSTEMÓW DYSKRETYCH
(SSD)**

Autorzy projektu

Radosław Barszczak

Michał Burda

Paweł Froń

Opiekun projektu

Dr inż. MARCIN PIEKARCZYK



EAIiB / Katedra Informatyki Stosowanej
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w
Krakowie
Kraków, Polska

20 stycznia 2024 r.

Spis treści

1	WPROWADZENIE	1
2	ZASADY DZIAŁANIA SYMULACJI	2
2.1	Model matematyczny	2
2.2	Dyskretyzacja i kroki czasowe	3
2.3	Warunki początkowe i brzegowe	3
3	MODEL DZIAŁANIA APLIKACJI	4
3.1	Ogólny opis aplikacji	4
3.2	Schemat blokowy działania aplikacji	4
3.3	Obliczenia symulacyjne	5
3.4	Interfejs użytkownika	5
4	PODSUMOWANIE	6
	Bibliografia	7

1. WPROWADZENIE

Modelowanie przepływu dymu jest kluczowe w wielu dziedzinach, takich jak inżynieria bezpieczeństwa, projektowanie systemów wentylacyjnych, analiza ryzyka pożarowego oraz architektura wnętrz. Zrozumienie dynamiki rozprzestrzeniania się dymu w pomieszczeniach jest niezbędne do efektywnego projektowania przestrzeni bezpiecznych w przypadku pożaru. Celem tego raportu jest przedstawienie wybranego modelu formalnego oraz implementacja dyskretnej symulacji przepływu dymu. Symulacja ta umożliwia badanie dynamiki przepływu w oparciu o parametry takie jak temperatura, prędkość przepływu powietrza, ciśnienie oraz różnice gęstości.

2. ZASADY DZIAŁANIA SYMULACJI

W tej sekcji omówimy zasady działania symulacji rozprzestrzeniania się dymu w pomieszczeniu przy użyciu modelu dyskretnego. Nasza symulacja opiera się na zdyskretyzowanych równaniach Naviera-Stokesa, które opisują zachowanie cieczy w oparciu o podstawowe prawa fizyki płynów.

2.1 Model matematyczny

Symulacja rozprzestrzeniania się dymu w pomieszczeniu opiera się na zdyskretyzowanych równaniach Naviera-Stokesa [1], które stanowią fundament w opisie dynamiki płynów i gazów. Główne równanie, opisujące zmiany prędkości przepływu w funkcji czasu i przestrzeni, przedstawia się następująco:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + \beta(\mathbf{T} - T_0) \mathbf{g} + \mathbf{f} \quad (2.1)$$

gdzie:

- \mathbf{u} to prędkość przepływu cieczy,
- p to ciśnienie,
- ν to lepkość dynamiczna,
- ρ to gęstość cieczy,
- β to współczynnik rozszerzalności cieplnej
- \mathbf{T} to temperatura dymu
- T_0 to temperatura otoczenia
- \mathbf{g} to wektor przyspieszenia grawitacyjnego
- \mathbf{f} to siły zewnętrzne działające na ciecz np. od wentylatorów lub przepływów wymuszonych.

Równania te są rozwiązywane numerycznie przy użyciu metod dyskretyzacji, co umożliwia ich przybliżone rozwiązanie w kolejnych krokach czasowych. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie dokładnych symulacji rozprzestrzeniania się dymu w dynamicznie zmieniającej się przestrzeni, uwzględniając różne czynniki, takie jak temperatura, ciśnienie i siły zewnętrzne.

2.2 Dyskretyzacja i kroki czasowe

W modelu dyskretnym czas jest podzielony na małe, skończone kroki, co umożliwia dokładną analizę rozprzestrzeniania się dymu w kolejnych momentach czasowych. Na każdym z tych kroków obliczane są nowe wartości prędkości, ciśnienia i temperatury w przestrzennej siatce, która odwzorowuje symulowany obszar.

Symulacja postępuje etapami, krok po kroku, w czasie, iteracyjnie aktualizując parametry fizyczne w każdym punkcie siatki. Proces ten trwa aż do osiągnięcia założonego limitu czasowego lub stanu równowagi, w którym wartości wszystkich zmiennych stabilizują się. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest uzyskanie szczegółowych wyników, które odzwierciedlają dynamiczne zmiany w przepływie dymu w zależności od warunków początkowych i zewnętrznych.

2.3 Warunki początkowe i brzegowe

Warunki początkowe i brzegowe są kluczowe dla prawidłowego działania symulacji. W naszej symulacji przyjęto następujące warunki:

- Warunki początkowe: prędkość początkowa dymu wynosi $u_0 = 0.3 \text{ m/s}$, ciśnienie początkowe $p_0 = 101325 \text{ Pa}$, temperatura początkowa dymu wynosi $T_0 = 20^\circ\text{C}$.
- Warunki brzegowe: na wlocie prędkość dymu jest ustalana na stałą wartość, co oznacza przepływ stacjonarny o określonej prędkości, a na wylocie zastosowano swobodny wypływ dymu.

Dzięki tym założeniom, symulacja jest w stanie odwzorować rzeczywiste zachowanie dymu w zamkniętym układzie.

3. MODEL DZIAŁANIA APLIKACJI

W tej sekcji zostanie szczegółowo omówiony model działania planowanej aplikacji do symulacji rozchodzenia się dymu. Przedstawione będą kluczowe komponenty systemu oraz metody implementacji. Opis obejmie główne funkcje aplikacji, wykorzystywane narzędzia do jej budowy oraz sposób wizualizacji wyników symulacji. Dodatkowo zaprezentowany zostanie schemat blokowy ilustrujący przepływ danych oraz interakcje pomiędzy poszczególnymi komponentami aplikacji.

3.1 Ogólny opis aplikacji

Aplikacja będzie działać na wirtualnej maszynie Javy, co zapewni spójne działanie niezależnie od platformy, na której zostanie uruchomiona. Użytkownik zyska możliwość sterowania przebiegiem symulacji poprzez konfigurację następujących parametrów:

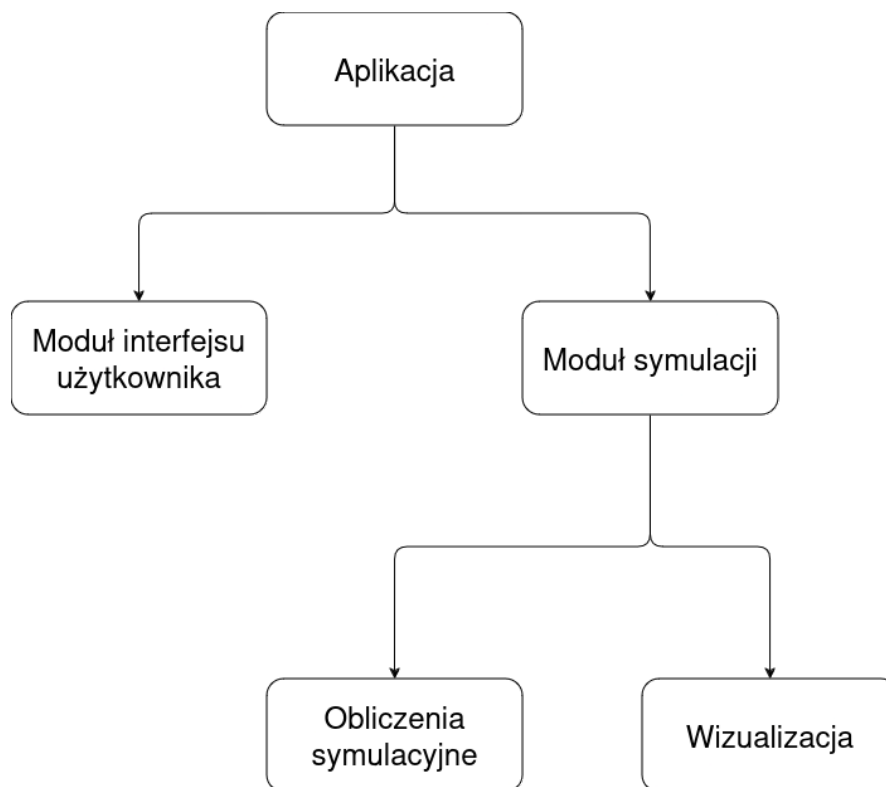
- temperatura powietrza w pomieszczeniu,
- kierunek przepływu powietrza,
- obecność i rozmieszczenie obiektów w pomieszczeniu.

Aplikacja zostanie stworzona w języku Java z wykorzystaniem następujących bibliotek:

- **Apache Commons Math** - do wykonywania obliczeń matematycznych,
- **Java3D** - do renderowania grafiki 3D,
- **JavaFX** - do stworzenia interfejsu użytkownika.

3.2 Schemat blokowy działania aplikacji

Na rys. 3.1 przedstawiony jest schemat blokowy, który ilustruje działanie aplikacji. Schemat uwzględnia kluczowe moduły tj. interfejsu użytkownika i symulacji.



Rysunek 3.1: Schemat blokowy przedstawiający działanie aplikacji.

Źródło: Opracowanie własne

3.3 Obliczenia symulacyjne

Aplikacja w każdym kroku czasowym będzie przeprowadzać obliczenia dotyczące stanu gazu w pomieszczeniu oraz prezentować wizualizację na ekranie. Proces obliczeniowy obejmie określenie prędkości i ciśnienia gazu w siatce symulacyjnej z wykorzystaniem opisanej wcześniej metody. Do realizacji obliczeń zostanie zastosowana biblioteka Apache Commons Math, natomiast za renderowanie grafiki będzie odpowiadał framework Java3D.

3.4 Interfejs użytkownika

Aplikacja umożliwi użytkownikowi kontrolę temperatury i kierunku przepływu powietrza, a także dodawanie przeszkód w pomieszczeniu. Użytkownik będzie mógł na bieżąco obserwować wyniki symulacji oraz w dowolnym momencie ją zatrzymać i wznowić.

4. PODSUMOWANIE

Symulacja przepływu dymu oparta na dyskretnym modelu Naviera-Stokesa umożliwi dokładne odwzorowanie zachowań gazów w zamkniętych przestrzeniach, uwzględniając kluczowe parametry takie jak temperatura, ciśnienie oraz prędkość przepływu powietrza. W przyszłości planujemy rozszerzenie modelu o uwzględnienie przepływów turbulentnych oraz interakcji gazów z elementami strukturalnymi, takimi jak ściany i przeszkody w pomieszczeniu. Dalszy rozwój symulacji pozwoli na jeszcze dokładniejsze prognozy w kontekście projektowania systemów wentylacyjnych oraz oceny ryzyka w sytuacjach zagrożenia pożarowego.

Bibliografia

- [1] C.-L. Navier, *Memoire sur les lois du mouvement des fluides*. Paris: Imprimerie Royale, 1822, seminal work on fluid dynamics and foundation for Navier-Stokes equations.