

**Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica w Krakowie**

---

Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki



**PRACA INŻYNIERSKA**

**DOROTA WOJTAŁOW, JACEK ZŁYDACH**

**SYMULACJA ROZPRZESTRZENIANIA SIĘ DYMU I OGNIA W  
OPARCIU O NIEHOMOGENICZNE AUTOMATY KOMÓRKOWE**

PROMOTOR:  
dr inż. Jarosław Wąs

Kraków 2010

### **OŚWIADCZENIE AUTORA PRACY**

OŚWIADCZAM, ŚWIADOMY ODPOWIEDZIALNOŚCI KARNEJ ZA POŚWIADCZENIE NIEPRAWDY, ŻE NINIEJSZĄ PRACĘ DYPLOMOWĄ WYKONAŁEM OSOBIŚCIE I SAMODZIELNIE, I NIE KORZYSTAŁEM ZE ŹRÓDEŁ INNYCH NIŻ WYMNIENIONE W PRACY.

.....

PODPIS



**DOROTA WOJTAŁOW, JACEK ZŁYDACH**

**SIMULATION OF FIRE AND SMOKE BY USING  
NON-HOMOGENEOUS CELLULAR AUTOMATA**

**SUPERVISOR:**  
**Jarosław Wąs Ph.D**

**Krakow 2010**

Serdecznie dziękujemy ...

## Spis treści

<b>1. Wstęp</b>	6
1.1. Temat pracy	6
1.2. Geneza tematu	6
1.3. Realizacja projektu	6
1.4. Struktura pracy	6
<b>2. Teoria</b>	8
2.1. Czym jest ogień	8
2.2. Proces spalania	8
2.3. Propagacja ciepła	8
2.3.1. Przewodnictwo	8
2.3.2. Konwekcja	9
2.3.3. Radiacja	9
2.3.4. Przenikanie ciepła	9
2.3.5. Radiacja	9
<b>3. Projekt</b>	11
3.1. Główne założenia	11
3.2. Architektura aplikacji	11
3.2.1. Moduł: Controller	12
3.2.2. Moduł: Scene	12
3.2.3. Model	12
3.3. Moduły	12
3.4. Obiekty	12

# 1. Wstęp

## 1.1. Temat pracy

Tematem pracy jest stworzenie symulacji rozprzestrzeniania się dymu i ognia w oparciu o niehomogeniczne automaty komórkowe. Zakres pracy obejmuje stworzenie symulacji rozchodzenia się dymu i ognia na podstawie automatów komórkowych wraz z jej wizualizacją, a także walidację stworzonego modelu. Celem pracy jest pokazanie możliwości niehomogenicznych automatów komórkowych jako narzędzia umożliwiającego odzwierciedlenie rzeczywistego rozprzestrzeniania się dymu i ognia podczas pożaru.

## 1.2. Geneza tematu

W dobie wszechobecnej urbanizacji i ciągłego budownictwa, wraz ze wzrostem świadomości dotyczącej bezpieczeństwa pożarowego oraz zaangażowania w jego zagwarantowaniu pojawiła się potrzeba możliwości modelowania i obserwacji rozprzestrzeniania się ognia w zamkniętych budynkach. Wspomniane symulacje pożarów wykazują szereg zastosowań. Są z powodzeniem wykorzystywane w śledztwach. Dają możliwość odtworzenia przebiegu zdarzeń i porównania z wynikami oględzin. Umożliwiają zbadanie prototypu budynku pod kątem gwarancji bezpieczeństwa pożarowego. Ułatwiają projektowanie systemów oddymiania. W połączeniu z modelami ewakuacji ludzi stanowią kompleksowy system ułatwiający tworzenie bezpiecznych budowli.

W ostatnich latach powstał szereg programów umożliwiających wizualizację symulacji rozchodzenia ognia. Opracowane dotychczas rozwiązania swoje działanie opierają na metodach numerycznej dynamiki płynów (ang. Computational Fluid Dynamics). Niewątpliwą zaletą numerycznego podejścia jest dokładność wyników. Głównymi wadami jest złożoność obliczeń i stopień komplikacji modelu. Niehomogeniczne automaty komórkowe umożliwiają znaczne uproszczenie modelu. Uproszczenie modelu powoduje z kolei redukcję złożoności obliczeń czyniąc automaty komórkowe szczególnie dogodną metodą w przypadku tworzenia prototypów oraz symulacji czasu rzeczywistego.

## 1.3. Realizacja projektu

Praca została zrealizowana jako wolnostojąca aplikacja komputerowa napisana w języku Java. Do renderowania grafiki trójwymiarowej została użyta biblioteka graficzna Java3D. Aplikacja została przetestowana z wykorzystaniem biblioteki JUnit4.

## 1.4. Struktura pracy

Praca składa się z [ilusi] rozdziałów. W pierwszym rozdziale znajdują się podstawy teoretyczne, związane zarówno z modelowanymi zjawiskami fizycznymi jak i użytym algorytmem. Rozdział Modele symulacji zawiera propozycje zweryfikowanych modeli rozprzestrzeniania się dymu i ognia zaprojektowanych w oparciu o niehomogeniczne automaty komórkowe. Rozdział Implementacja przedstawia

sposób realizacji projektu, napotkane problemy oraz ich rozwiązania. Opisuje możliwości graficznego interfejsu użytkownika oraz sposób korzystania z niego.

## 2. Teoria

Kluczowym elementem, niezbędnym do prawidłowego zamodelowania pożaru jest zrozumienie czym jest ogień, poznanie zjawisk jakim podlega. Niniejszy rozdział zawiera krótki wstęp teoretyczny, przedstawiający zjawiska fizyczne niezbędne do zrozumienia istoty pożaru i prawidłowego jego zamodelowania.

### 2.1. Czym jest ogień

### 2.2. Proces spalania

### 2.3. Propagacja ciepła

Jak zostało wspomniane w rozdziale ?? jednym z czynników niezbędnych do podtrzymania ognia jest ciepło. Ciepło podczas pożaru jest propagowane na trzy różne sposoby:

- Przewodnictwo
- Konwekcja
- Radiacja

#### 2.3.1. Przewodnictwo

Przewodnictwo ciepła jest procesem, który polega na wymianie ciepła pomiędzy nierównomiernie ogrzаныmi ciałami będącymi w kontakcie. Zachodzi ono we wszystkich stanach skupienia: ciałach stałych, cieczach i gazach, jednak sposób i skala tego zjawiska jest bardzo zróżnicowana. Najczęściej mówimy o przewodnictwie w ciałach stałych. W cieczach i gazach występuje ono niezmiernie rzadko i polega na zderzeniach cząsteczek podlegających nieorganizowanym, przypadkowym ruchom i ich dyfuzji. W ciałach stałych przenoszenie ciepła odbywa się na dwa sposoby:

- dzięki drganiom atomów
- poprzez ruch elektronów

Celem omawianego przewodnictwa jest osiągnięcie równowagi cieplnej. Podczas przewodnictwa ciepło jest zawsze przenoszone od ciała o większej temperaturze do ciała o niższej. Zgodnie z zasadą zachowania energii, głoszącą że w układzie izolowanym suma wszystkich energii jest stała, ilość energii uzyskanej przez ciało chłodniejsze jest równa ilości energii oddanej przez cieplejszy obiekt. Energia przenoszona jest wraz z ruchem cząsteczek wewnętrznych. Nie wszystkie ciała przewodzą ciepło w takim sam sposób. Zależność między ilością ciepła przewodzonego przez ciało, a jego zmianą temperatury najlepiej opisuje prawo Fouriera. Przyjmuje ono następującą postać:

$$q(r, t) = -k * gradT \quad (2.1)$$



Materiał	Temp. [C]	Wspł. przewodnictwa [ $W/(m * K)$ ]
Beton	20	0.84-1.3
Drewno	-	0.1-0.17
Szkło crown	20	0.22-0.29
Azbest	20	0.16-0.37
Guma wulkanizowana	20	0.22-0.29
Miedź	20	400
Stal	20	10
Ołów	20	30

Tablica 2.1: Współczynniki przewodnictwa materiałów

gdzie:  $k$  - współczynnik przewodzenia ciepła [ $W/(m * K)$ ]  $T$  - temperatura [ $K$ ]  $q$  - natężenie strumienia ciepła [ $W/(m^2)$ ] Prawo Fouriera oznacza, że gęstość strumienia ciepła przekazywana w jednostce czasu przez jednostkową powierzchnię jest proporcjonalna do gradientu temperatury. Minus we wzorze wynika ze wspomnianego wyżej kierunku przepływu ciepła: od ciała cieplejszego do zimniejszego. Strumień ciepła jest mierzony w kierunku zgodnym z jego przepływem, zatem przyrost temperatury będzie miał wartość ujemną.

Do dobrych przewodników należą przede wszystkim:

- metale - do najlepszych należą srebro, miedź, złoto, aluminium

Źle przewodzą ciepło:

- drewno
- papier
- ciecze
- gazy

Zła przewodność cieczy i gazów wynika z istoty procesu przewodnictwa w tych stanach skupienia. Za wysoką wartość współczynnika przewodnictwa odpowiada ruch elektronów. Dlatego też, we wszystkich dielektrykach wartość ta przyjmuje wartości z przedziału  $[0,001 - 3][W/(m * K)]$ , podczas gdy w metalach może sięgać ona nawet  $400[W/(m * K)]$ .

Na uwagę zasługuje też fakt, że przewodność metali maleje wraz ze wzrostem ich temperatury. Tabela ?? zawiera współczynniki przewodnictwa przykładowych materiałów, które zostały wykorzystane przy testowaniu algorytmu symulacji.

### 2.3.2. Konwekcja

### 2.3.3. Radiacja

Radiacja, czyli inaczej promieniowanie jest to sposób rozchodzenia ciepła w postaci fal elektromagnetycznych. Najważniejszym aspektem przewodnictwa ciepła przez promieniowanie jest możliwość wymiany ciepła między ciałami nie stykającymi się. W bardzo niskich temperaturach ilość przekazywanego przy pomocy radiacji ciepła jest tak mała, że zjawisko to może być pomijane. Wzrost znaczenia promieniowania następuje wraz ze wzrostem temperatury ciał wymieniających ciepło. Przyjmuje się, że radiacja zachodzi dla ciał o temperaturach wyższych od  $0^\circ$  Kelvin. Promieniowanie jest rodzajem wymiany energii, która nie wymaga żadnego nośnika. Każde ciało emituje fale. W normalnych warunkach większość promieniowania zachodzi przy udziale fal podczerwonych. Należy jednak pamiętać że w radiacji mogą brać udział także fale świetlne czy ultrafioletowe. Poza emisją promieniowania każde ciało reaguje także na fale wysyłane przez innych. Dla każdego ciała jesteśmy w stanie określić wartości trzech współczynników opisujących reakcję ciała na wiązkę promieniowania. Należą do nich:

- Absorpcyjność czyli pochłanianie
- Refleksyjność czyli odbijalność
- Przepuszczalność

Radiacja następuje we wszystkich kierunkach aż do momentu zablokowania drogi promieni przez ciało pochłaniające je. W przypadku jednej powierzchni zamkniętej w innej zakłada się, że wewnętrzna powierzchnia nie opromienia samej siebie". Innymi słowy całe promieniowanie ciała wewnętrznego przechodzi do powierzchni zewnętrznej. W drugim kierunku następuje tylko częściowe przejście energii z ciała zewnętrznego do wewnątrz. Większość ciał stałych o rozmiarach większych od kilku mikrometrów nie przepuszcza promieniowania. Na wspomnianej głębokości pod powierzchnią ciała następuje całkowita absorpcja promieniowania cieplnego. Ponadto ciała stałe mogą przepuszczać fale tylko o określonej długości. Przykładem jest szkło, które przepuszcza jedynie fale świetlne. Ilość promieniowania emitowanego przez ciała szare można obliczyć ze wzoru ??

$$Q_{emit} = \sigma * \varepsilon * A_s * T_s^4 \quad (2.2)$$

gdzie  $\varepsilon \in (0, 1)$  - emisyjność powierzchni.  $\sigma = 1$  - dla ciała doskonale czarnego. Określa jak bardzo dane ciało jest podobne do ciała doskonale czarnego.  $\sigma = 5.67 * 10^{-8} [W/(m^2 * K^4)]$  - stała promieniowania  $A_s [m^2]$  - powierzchnia  $T_s [K]$  - temperatura

Rozważając wymianę ciepła przez promieniowanie poza pochłanianością, refleksyjnością i przepuszczalnością należy wziąć pod uwagę wzajemną orientację powierzchni oraz. Wszystkie te czynniki wpływają na komplikację promieniowania.

#### 2.3.4. Przenikanie ciepła

$$Q = c * m * \Delta T \quad (2.3)$$

gdzie:

- $c$  - ciepło właściwe  $[J/(kg * K)]$ , jego wartość oznacza ile ciepła należy dostarczyć aby ogrzać 1kg substancji o wartość 1K.
- $m$  - masa ciała  $[kg]$
- $T$  - temperatura  $[K]$

## 3. Projekt

Głównym celem projektu jest stworzenie i weryfikacja modelu rozprzestrzeniania się ognia wykorzystując niehomogeniczne automaty komórkowe. Nacisk z pracy został położony na opracowanie algorytmu najdokładniej oddającego rzeczywistość. Aplikacja, nazwa Sparkle została zaprojektowana tak, aby zapewnić użytkownikowi wysoką ergonomię pracy i łatwość nauki. Podczas projektowania i implementacji szczególna uwaga została poświęcona dalszym możliwościom rozbudowy programu.

### 3.1. Główne założenia

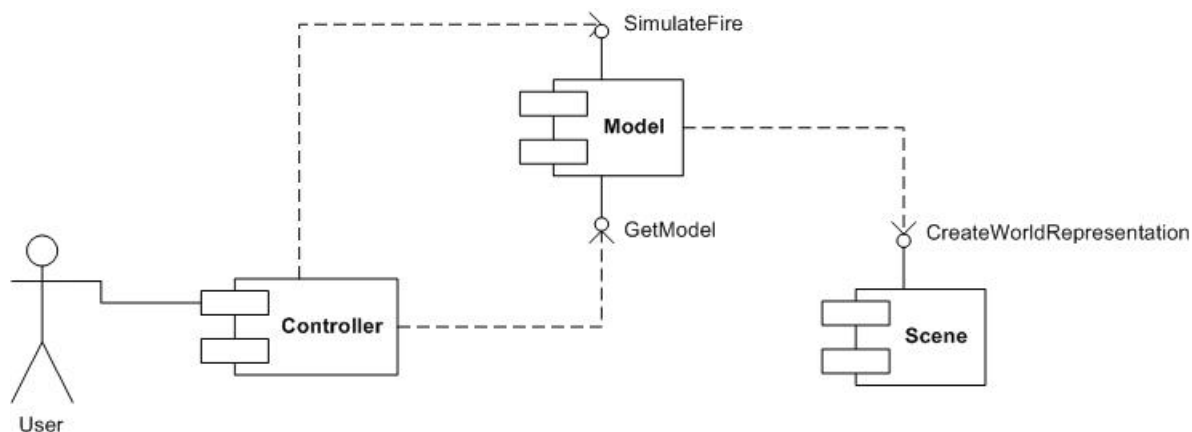
- Projekt obejmuje zarówno stworzenie modelu rozprzestrzeniania pożaru jak i uproszczonej wizualizacji oraz graficznego interfejsu użytkownika (GUI).
- Interfejs aplikacji powinien umożliwiać edycję budynku w którym przeprowadzana jest symulacja: dodawanie elementów konstrukcji, określanie materiałów z których zostały stworzone.
- Użytkownik powinien mieć możliwość określenia źródła ognia: zarówno jego miejsca jak i temperatury początkowej.
- Aplikacja powinna umożliwiać także kontrolę nad symulacją: możliwość zatrzymania symulacji, wznowienia, rozpoczęcia od początku, a także dostosowanie tempa symulacji umożliwiającego obserwację zjawisk fizycznych.
- Dodatkowym elementem jest zapis wyników w postaci rozkładu temperatury do pliku, umożliwiający dogłębną analizę rezultatów.
- Wizualizacja powinna obejmować zarówno rozkład temperatury jak i rozprzestrzenianie się dymu.

### 3.2. Architektura aplikacji

Aplikacja została podzielona na trzy główne moduły:

- Controller - odpowiada za interakcję z użytkownikiem, dostarcza GUI umożliwiające kontrolę symulacji
- Model - przechowuje model symulacji, realizuje algorytmy rozprzestrzeniania ognia
- Scene - odpowiada za wizualizację wyników

Zależności pomiędzy poszczególnymi komponentami przedstawia diagram komponentów 3.1. Zapewnienie bardzo prostych zależności między modułami pozwala niezależnie rozwijać kolejne części aplikacji, w łatwy sposób podmieniać i modyfikować ich zachowanie. Inną zaletą zastosowanego modelu jest łatwość testowania poszczególnych części aplikacji niezależnie.



Rysunek 3.1: Architektura aplikacji

Przedstawiony model powstał na bazie jednego z najpopularniejszych modeli tworzenia aplikacji wykorzystujących graficzny interfejs użytkownika: Model-View-Controller. Elementem różniącym przedstawiony powyżej model od tradycyjnej architektury Model-View-Controller jest rozdzielenie elementów GUI pomiędzy dwa moduły:

- Scene przedstawiającą wyniki aplikacji oraz
- Controller posiadający zestaw narzędzi dostarczających kontrolę użytkownikowi.

Dodatkowo w module Controller zostały połączone elementy widoku wraz z obsługującymi je listenerami.

### 3.2.1. Moduł: Controller

Moduł kontroler odpowiada za komunikację między użytkownikiem a silnikiem aplikacji. Jego podstawowym zadaniem jest dostarczenie łatwego w obsłudze, graficznego interfejsu użytkownika, oraz obsługi akcji użytkownika. Wspomniana obsługa akcji może obejmować zarówno zebranie danych ich przetworzenie i dostarczenie do modelu, pobranie z modelu danych jak i zapis lub kontrolę symulacji. Funkcjonalności dostarczane przez moduł Controller przedstawia diagram 3.2

### 3.2.2. Moduł: Scene

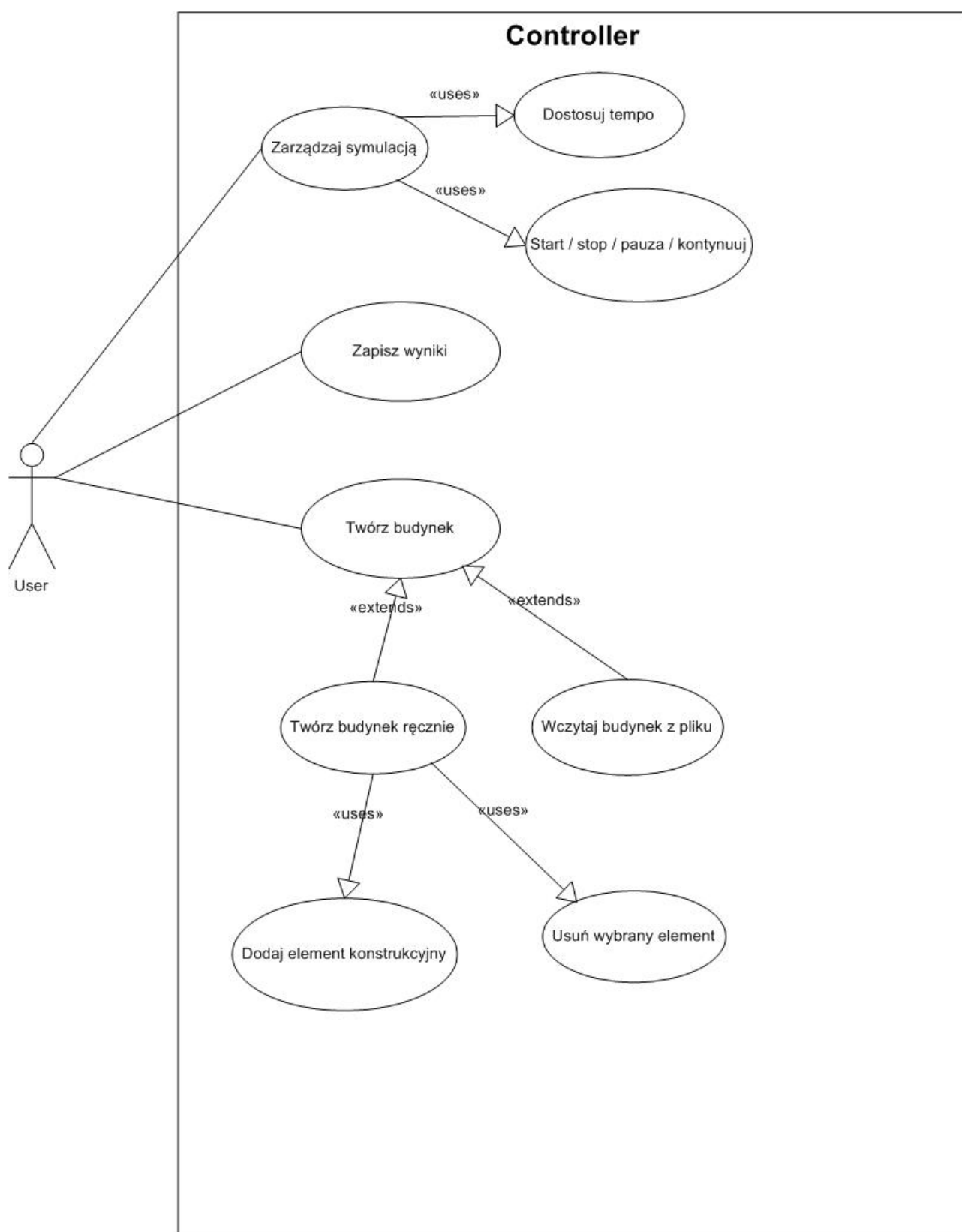
Jedynym zadaniem sceny jest graficzne przedstawienie dostarczonego modelu. Całkowite uniezależnienie widoku od innych modułów umożliwia późniejszą jego modyfikację.

### 3.2.3. Model

Został zastosowany przypadek aktywnego modelu, który potrafi zmieniać swój stan nie tylko w wyniku akcji użytkownika ale także samoczynnie. Aktywność modelu w przypadku symulacji polega na automatycznym uaktualnianiu swojego stanu co pewien, określony okres czasu, a także powiadamianie widoku o zachodzących zmianach.

## 3.3. Moduły

## 3.4. Obiekty



Rysunek 3.2: Przypadki użycia

## **Bibliografia**