

# Forest Fire Simulation

Marek Dominik, Proć Michał, Zborowski Piotr

Kraków 2024

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>2</b>
1.1	Opis problemu . . . . .	2
1.2	Ogólny opis modelu . . . . .	2
1.3	Parametry . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Wzory</b>	<b>6</b>
2.1	Szybkość niszczenia materiału . . . . .	7
2.2	Przenoszenie ognia na następną komórkę . . . . .	7
2.3	Rozchodzenie się ognia w górę i w dół . . . . .	8
2.4	Temperatura w komórce w czasie . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Obecny stopień symulacji</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>11</b>

# 1 Wstęp

## 1.1 Opis problemu

Model „Forest Fire Simulation” jest wykorzystywany do badania rozprzestrzeniania się ognia w lesie za pomocą prostego, dyskretnego automatu komórkowego. Głównym celem tego modelu jest analiza, jak różne konfiguracje terenu oraz warunki zewnętrzne wpływają na dynamikę i rozmiar pożaru lasu.

W modelu tym las jest reprezentowany przez siatkę komórkową, gdzie każda komórka symbolizuje określony obszar terenu. Komórki mają swoje określone parametry, opisane w dalszej części sprawozdania. Symulacja rozpoczyna się z przynajmniej jedną komórką w stanie palącym się, co inicjuje proces rozprzestrzeniania ognia.

Kluczowym aspektem jest określenie, jak ogień przenosi się z jednej komórki na drugą, zależnie od stanu sąsiednich komórek oraz dodatkowych czynników, takich jak warunki pogodowe czy rodzaj terenu. Symulacja ta pozwala na obserwację, jak szybko ogień się rozprzestrzenia, jakie obszary są najbardziej narażone na pożary, oraz jak zmiany w konfiguracji terenu mogą wpłynąć na ograniczenie skutków katastrof.

## 1.2 Ogólny opis modelu

Model będzie wykorzystywał automat komórkowy o sąsiedztwie Moore’a. Ogień może rozprzestrzeniać się zarówno poziomo - po podłożu lub w wyższych częściach lasu lub pionowo - w górę lub w dół, osobno w każdej komórce. Ponadto ogień może się rozprzestrzeniać z jakimś zadanyim prawdopodobieństwem na komórki nie graniczące bezpośrednio z obecnym obszarem pożaru ale znajdujące się na kierunku w którym wieje wiatr. Kolejnym aspektem symulacji jest możliwość wystąpienia zjawiska opadów deszczu na pewnym obszarze z pewnym zmiennym prawdopodobieństwem. Pojawienie się owego zjawiska skutkuje osłabieniem lub całkowitym wygaszeniem pożaru na obszarze objętym opadami deszczu. Ściółka i runo leśne mają zdolność odradzania się cyklicznie co pewną ilość dni, na obszarach nie objętych pożarem. Drzewa spalają się z różną szybkością w zależności od typ – iglaste palą się szybciej niż liściaste. Symulacja ogółem, jak i każda komórka będzie opisana przez szereg znajdujących się poniżej parametrów. Do implementacji wybraliśmy język Java.

## 1.3 Parametry

Parametry komórki:

- **elevation** - wysokość bezwzględna komórki
- **litter** - określa czy na danej komórce znajduje się ściółka bądź niska trawa
- **floor** - określa czy na danej komórce znajduje się runo leśne

- **understory** - określa czy na danej komórce znajduje się podszyt
- **coniferous** - określa czy na komórce znajdują się drzewa iglaste
- **deciduous** - określa czy na komórce znajdują się drzewa liściaste
- **height** - maksymalna wysokość warstwy leśnej występującej na danej komórce (liczona od poziomu **elevation**)

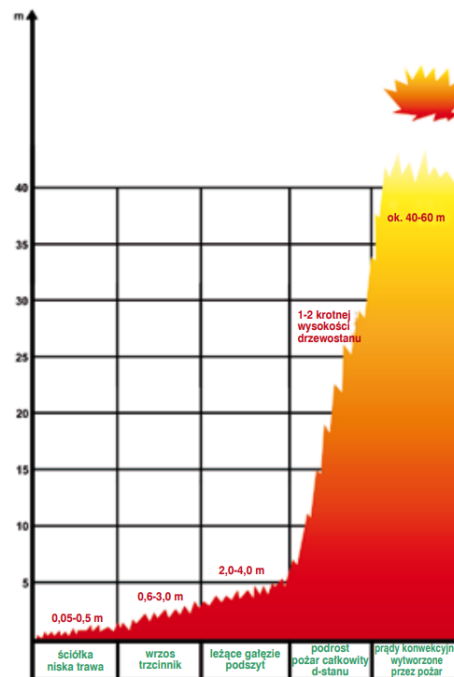
Każdą komórkę, np. z drzewami, dzielić będziemy na określoną z góry liczbę "poziomów np. 10 - aby uwzględnić różnice w spalaniu na różnych wysokościach.

- **state[]** - reprezentuje ilość niespalonego materiału na danym zakresie wysokości warstwy leśnej komórki
- **temperature[]** - przechowuje informacje o temperaturze na danej wysokości warstwy leśnej komórki

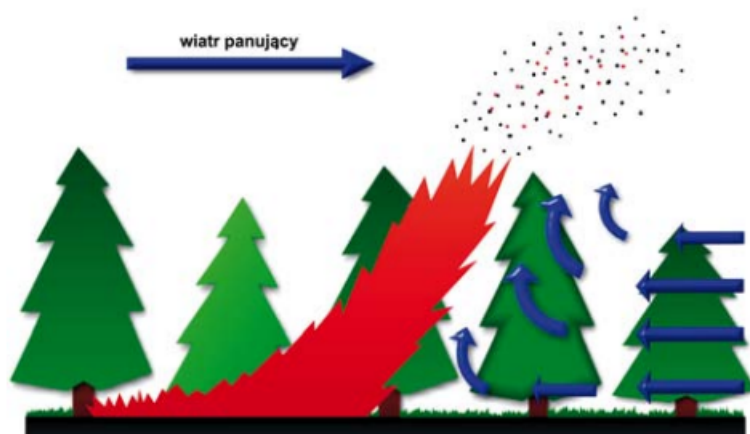
Parametry modelu:

- **mapWidth** - wysokość mapy
- **mapHeight** - szerokość mapy
- **mediumConiferousHeight** - średnia wysokość drzewostanu iglastego
- **mediumDeciduousHeight** - średnia wysokość drzewostanu liściastego
- **mediumUnderstoryHeight** - średnia wysokość podszytu
- **mediumFloorHeight** - średnia wysokość runa leśnego
- **mediumConiferousHeightVariance** - wariancja średniej wysokości drzew iglastych
- **mediumDeciduousHeightVariance** - wariancja średniej wysokości drzew liściastych
- **mediumFloorHeightVariance** - wariancja średniej wysokości podszytu
- **mediumFloorHeightVariance** - wariancja średniej wysokości runa leśnego
- **windVelocity** - prędkość wiatru
- **windDirection** - kierunek wiatru
- **mediumTreeAge** - średni wiek drzewostanu
- **mediumTreeAgeVariance** - wariancja średniego wieku drzew
- **mediumMoisture** - średnia wilgotność

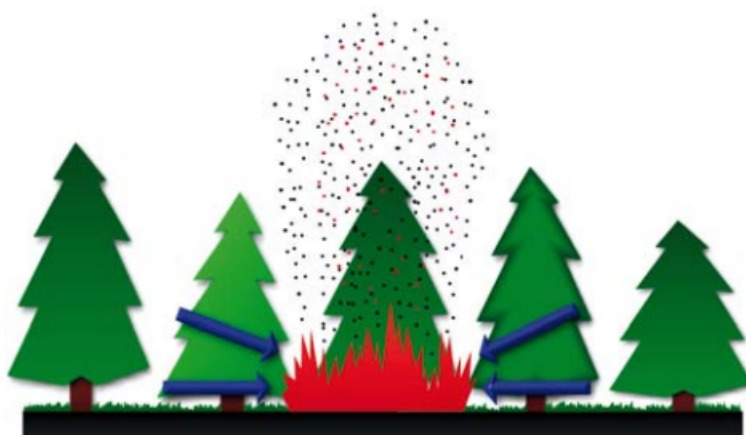
- **mediumMoistureVariance** - wariancja średniej wilgotności
- **treeBurningTemperature** - temperatura spalania dla drzewostanu
- **understoryBurningTemperature** - temperatura spalania dla podszytu
- **floorBurningTemperature** - temperatura spalania dla runa leśnego
- **litterBurningTemperature** - temperatura spalania dla ściółki
- **overcast** - zachmurzenie
- **atmosphericPressure** - ciśnienie atmosferyczne
- **maxFireTemperature** - graniczna temperatura dla ognia



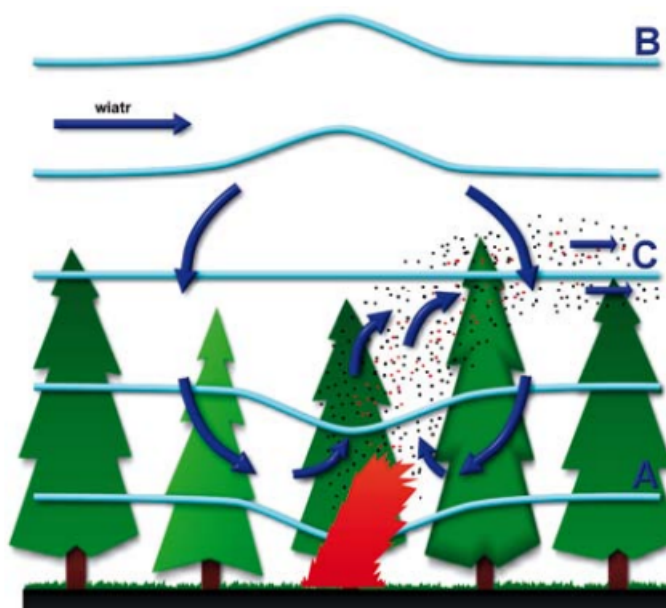
Rysunek 1: Wykres rozkładu wysokości ognia



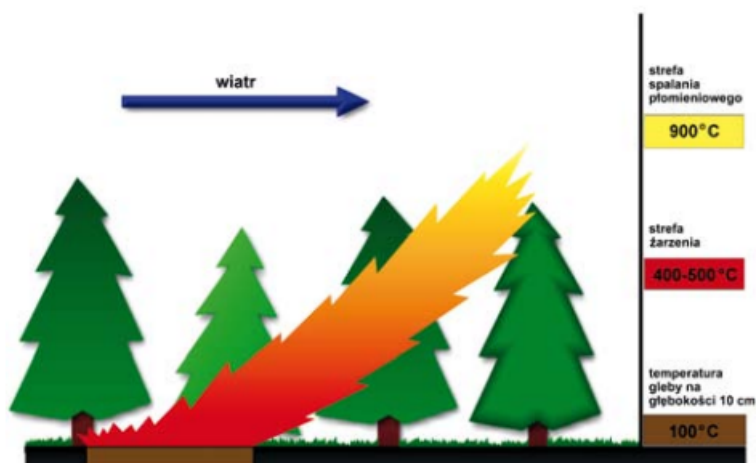
Rysunek 2: Wymiana gazowa z udziałem wiatru



Rysunek 3: Wymiana gazowa bez udziałem wiatru



Rysunek 4: Rozkład powierzchni izobarycznych



Rysunek 5: rozkład\_temperatury\_z\_uzględnieniem\_wpływu\_wiatru

## 2 Wzory

Te wzory zostaną uzupełnione w dalszej części prac nad modelem z użyciem materiałów z bibliografii.

## 2.1 Szybkość niszczenia materiału

Szybkość niszczenia materiału będzie zależna od temperatury zapłonu, a ta od wilgotności, stosujemy więc wzór

$$actual Burning Temperature = burning Temperature * e^{k * humidity / standard Humidity}$$

Gdzie ujemny współczynnik  $k$  należy wyznaczyć eksperymentalnie.

Przyjmujemy liniowy wzrost szybkości spalania wraz ze wzrostem stosunku  $temperature / actual Burning Temperature$

$$state_{t+1} = state_t * (1 - m * temperature / actual Burning Temperature) \quad (1)$$

jeśli  $temperature < actual Burning Temperature$ . Współczynnik  $m$  wyznaczamy eksperymentalnie. Wszystkie współczynniki wyznaczamy osobno dla każdego materiału.

## 2.2 Przenoszenie ognia na następną komórkę

Szacujemy jak bardzo ogień "przechyla się" zależnie od prędkości wiatru.

$$\phi = 90 * (1 - sigmoid(w * windVelocity)) \quad (2)$$

Wykorzystujemy funkcję sigmoid ponieważ przyjmuje wartości od 0 do 1 dla nieujemnych argumentów. Współczynnik  $w$  wyznaczamy eksperymentalnie.

Mając kąt pod jakim przechyla się ogień w komórce A, dla komórki B, w której kierunku wieje wiatr, przenosimy temperaturę szczytu ognia na poziom w komórce B (z prawdopodobieństwem  $p$ ), który odpowiada wysokości

$$elevation_A + height_A * \sin(\phi) \quad (3)$$

jeśli

$$height_A * \cos(\phi) > distance / 2 \quad (4)$$

gdzie  $distance$  to szerokość komórki (w tej samej jednostce co  $height$  i  $elevation$ ), a dla komórek sąsiadujących tylko jednym punktem szerokość komórki pomnożona przez pierwiastek z 2.  $height_A$  oznacza wysokość najwyższego palącego się punktu, niekoniecznie całą wysokość komórki.

Dla przenoszenia ognia po podłożu ( $temperature[0]$ ) przyjmujemy statycznie jednolitą prędkość we wszystkie kierunki, a więc jeśli na komórce A występuje ogień to z prawdopodobieństwem  $p / \sqrt{(elevation_A - elevation_B)^2 + distance^2}$  przeniesie się na komórkę B - w przypadku komórek sąsiadujących tylko jednym punktem z prawdopodobieństwem  $p / \sqrt{2(elevation_A - elevation_B)^2 + distance^2}$ , gdzie  $p$  wyznaczamy eksperymentalnie.

### 2.3 Rozchodzenie się ognia w górę i w dół

Analogicznie ogień w górę przechodzi z prawdopodobieństwem  $p_1$ , a w dół z prawdopodobieństwem  $p_2$ , przy czym współczynniki wyznaczamy eksperymentalnie dla różnych materiałów.

### 2.4 Temperatura w komórce w czasie

Przyjmujemy że temperatura ognia rośnie o stały procent, ale jej wzrost ograniczony jest przez *state* - czyli ile materiału zostało - temperatura rośnie dopóki owy stały procent jest większy niż spadek wynikający ze spalania materiału.

$$temperature_{t+1} = temperature_t * (1 + b) * state \quad (5)$$

gdzie  $b$  wyznaczamy eksperymentalnie.

Gdy dana komórka już się aktywnie nie spala temperatura wraca do normalnego poziomu zgodnie ze wzorem

$$temperature_{t+1} = \max(40.0, temperature_t * (1 - b)) \quad (6)$$

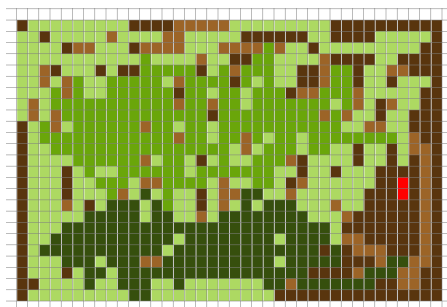
## 3 Obecny stopień symulacji

Na ten moment implementujemy rozchodzenie się ognia wszerek na płaskim terenie. Wprowadziliśmy wybieranie typów terenu: 0 - brak materiału łatwopalnego, 1-3 - kolejne warstwy leśne, 4 - drzewa iglaste, 5 - drzewa liściaste. Zaimplementowaliśmy także zmienianie się temperatury w czasie, na ten moment przy współczynniku  $b = 0.05$ . Spalanie zaimplementowaliśmy na razie bez uwzględnienia wilgotności, przy współczynniku  $U_m = 0.01$  i temperaturze zapłonu 400. Po przejściu ognia przez komórkę zmienia ona kolor na szary, widzimy że ogień raczej nie wraca na miejsca spalone przez niskie wartości *state*. Źródło ognia póki co implementujemy losowo, z prawdopodobieństwem 1/100 że dana komórka ma na którejś wysokości temperaturę 500. Poniżej prezentujemy przykładowe stadia spalania.

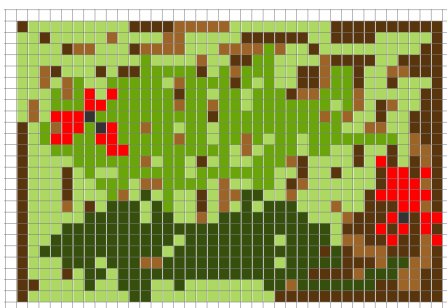
Następnie zaimplementowaliśmy rozchodzenie ognia w górę i w dół, wpływ wilgotności na rozchodzenie ognia, w rozchodzeniu wszerek uwzględniliśmy różnice w wysokości (zmodyfikowaliśmy także wzór) oraz dodano rozchodzenie z wiatrem. Źródło ognia jest teraz wybierane ręcznie, dodano także zmianę koloru ognia zależnie od temperatury.

W kolejnym kroku zlinkowaliśmy pola GUI z symulacją oraz zaimplementowaliśmy zapis i wczytywanie ustawień. Zaimplementowano także spadek temperatury w spalonych już polach - z prędkością  $1 - burningTemperature$  wraca do poziomu domyślnej temperatury (na ten moment - 40.0).

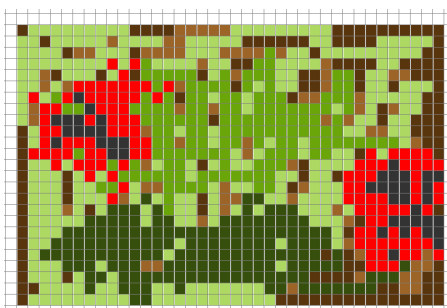




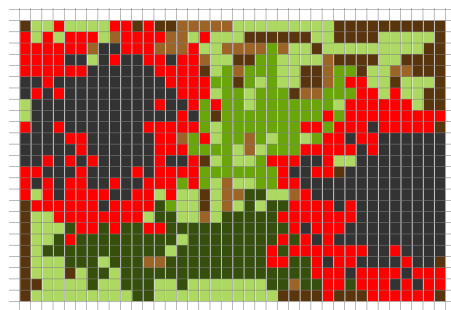
Rysunek 6: Stadium 1.



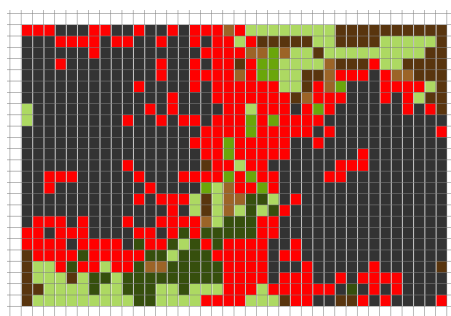
Rysunek 7: Stadium 2.



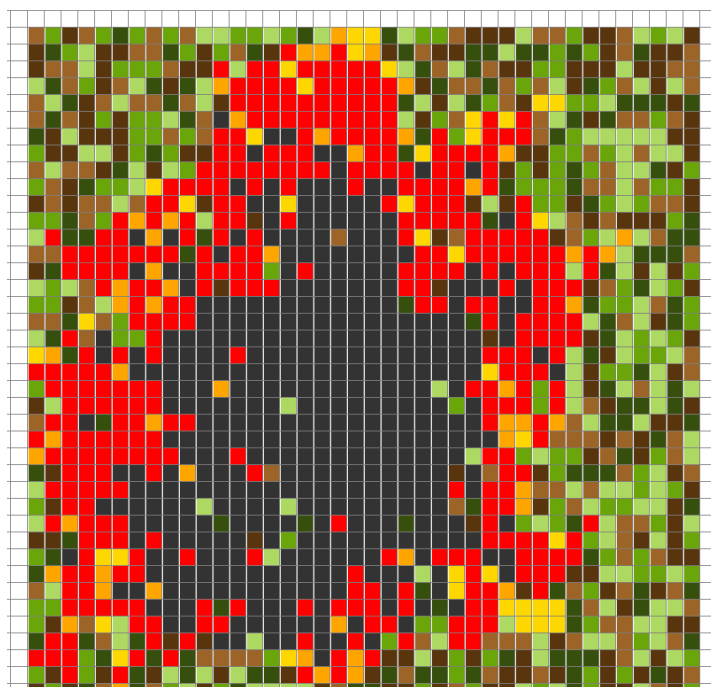
Rysunek 8: Stadium 3.



Rysunek 9: Stadium 4.



Rysunek 10: Stadium 5.



Rysunek 11: Symulacja po modyfikacjach.

## 4 Bibliografia

Karol Wiler, Paweł Wcisło, [Ochrona lasów przed pożarami](#), Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, str. 212-225.

Patricia L. Andrews, [The Rothermel Surface Fire Spread Model and Associated Developments: A Comprehensive Explanation](#), United States Department of Agriculture

Yiqing Xu et al., [Modeling Forest Fire Spread Using Machine Learning-Based Cellular Automata in a GIS Environment](#), Nanjing University

Redakcja klimatyzacja.pl, [Rozwój pożaru i wytworzenie dymu](#)

Mouctar Kamara, Said Mohamed, [Estimation of aboveground biomass, stand density, and biomass growth per year in the past using stand reconstruction technique in black spruce and Scots pine in boreal forest](#)