

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA  
STASZICA

KRAKÓW

---

# Symulator pożaru lasu

---

*Autorzy:*

Marcin JĘDRZEJCZYK

Sebastian KATSZER

Katarzyna KOSIAK

25 października 2015

## Spis treści

<b>1 Wstęp</b>	<b>2</b>
<b>Cele modelowania pożaru</b>	<b>2</b>
<b>Czynniki środowiskowe</b>	<b>2</b>
<b>Podejścia do modelowania pożaru</b>	<b>2</b>
<b>Sztandarowe modele</b>	<b>2</b>
1.1 Rothermel - szybkość rozchodzenia się linii pożaru . . . . .	3
1.2 Rothermel - szybkość rozprzestrzeniania się pożaru w koronach . . . . .	3
1.3 Van Wagner - intensywność linii ognia . . . . .	3
1.4 Cruz - szybkość rozprzestrzeniania się pożaru w koronach . . . . .	3
1.5 Automaty komórkowe . . . . .	4
<b>2 Poniższego oprócz bibliografii nie potrzebujemy jeszcze na te konsultacje Za-</b> <b>stosowany model</b>	<b>4</b>
<b>Cele symulacji</b>	<b>4</b>
<b>Dane wejściowe</b>	<b>4</b>
<b>Sąsiedztwo</b>	<b>4</b>
<b>Modele paliwowe</b>	<b>4</b>
<b>Cele symulacji2</b>	<b>4</b>
<b>Podsumowanie</b>	<b>4</b>
<b>3 Testy</b>	<b>5</b>
<b>4 Wnioski</b>	<b>5</b>
<b>5 Literatura</b>	<b>5</b>

# 1 Wstęp

Niniejszy dokument stanowi opis zagadnienia symulowania pożarów lasów wraz z prezentacją symulatora rozprzestrzeniania się pożaru lasu opartego na automatach komórkowych.

## Cele modelowania pożaru

Modelowanie pożaru polega na próbie odtworzenia zachowania się ognia i poznaniu jego parametrów w zadanej sytuacji - m.in. szybkości rozprzestrzeniania się, kierunku i ilości wydzielanego ciepła, estymację skutków pożaru. Na parametry te mają oczywiście wpływ ilość, rodzaj i dokładność dostarczonych danych wejściowych, z których najważniejszym jest rodzaj paliwa.

Istniejące modele paliwowe definiują zestawy cech roślinności mających wpływ na ich palność. Najbardziej znane modele pożaru korzystają z głównych systemów klasyfikacji modeli paliwowych takich jak dynamiczne modele Scotta i Burgana czy trzynaście “oryginalnych” modeli paliwowych Andersona i Albiniego, które opisują roślinność w czasie pory suchej, kiedy to stopień zagrożenia pożarowego jest najwyższy. Zwiększa to trafność i przydatność symulacji pożarów podczas organizacji akcji pożarowych.

## Czynniki środowiskowe

Na pożar lasu wpływ mają takie czynniki jak pogoda, charakterystyka paliwa i topografia terenu. Pogoda wpływa na ogień poprzez kierunek i siłę wiatru i wilgotność powietrza.

TODO trochę szerzej o tym

## Podejścia do modelowania pożaru

Od powstania pierwszych modeli pożarów w latach czterdziestych XX wieku minęło wiele czasu, w ciągu którego zaprezentowano kolejne - zróżnicowane pod względem wymaganych danych wejściowych, znaczących czynników i stopnia rozbudowania - modele.

Problemem związanym z modelowaniem tak skomplikowanego zjawiska jak ogień jest rosnąca wraz z ilością branych pod uwagę czynników liczba koniecznych do wykonania obliczeń, a co za tym idzie - potrzeba coraz większej mocy obliczeniowej. Właśnie z powodu względnie długiego czasu symulacji i potrzeby dużej ilości danych wejściowych skomplikowane modele stosuje się częściej w badaniu niż w terenie. W związku z tym w istniejących modelach zastosowano różne uproszczenia, często poświęcając mniej znaczące czynniki na rzecz przyspieszenia obliczeń.

Modele pożaru można podzielić na trzy grupy: empiryczne (model kanadyjski i australijski), semi-empiryczne (automaty komórkowe i Rothermel) i oparte na fizyce (modelowanie ognia koron oraz pełne fizyczne i multifazowe podejście).

## Sztandarowe modele

Poniżej znajduje się krótki przegląd kilku wartych uwagi modeli. Wszystkie wymienione miały znaczącą rolę w rozwoju zagadnienia modelowania pożaru lub są uznawane za najdokładniejsze dla zadanego czasu oczekiwania na rozwiązanie i używane są w najpopularniejszych profesjonalnych programach do symulacji pożaru jak na przykład Farasite, Prometheus czy BEHAVE, które dzięki swojej zdolności do oszacowywania zachowań ognia w czasie rzeczywistym demonstrują wielką użyteczność w terenie.

### 1.1 Rothermel - szybkość rozchodzenia się linii pożaru

Pierwszy matematyczny model dla symulacji pożaru, został opublikowany w 1972 roku przez Richarda Rothermela.

Przybliżone równanie na szybkość rozchodzenia się linii pożaru ma formę:

$$R = \frac{(I_p)_0(1 + \phi_w + \phi_s)}{b\epsilon Q_{ig}}$$

gdzie:

$R$  - szybkość rozchodzenia się linii pożaru [m/min]

$(I_p)_0$  - strumień ciepła dla warunków bezwietrznych [kJ/m<sup>2</sup>/min]

$\rho_b$  - gęstość drewna całkowicie suchego [kg/m<sup>3</sup>]

$\epsilon$  - efektywność ogrzewania

$Q_{ig}$  - ciepło przedzapłonowe [kJ/kg]

$\phi_w$  - współczynnik wiatru

$\phi_s$  - współczynnik nachylenia

### 1.2 Rothermel - szybkość rozprzestrzeniania się pożaru w koronach

Równanie opisujące szybkość rozprzestrzeniania się pożaru w koronach:

$$R_{active} = 3.34(R_{10})_{40\%}$$

gdzie:

$R_{active}$  - szybkość rozprzestrzeniania się pożaru w koronach [m/min]

$R_{10}$  - szybkość rozchodzenia się linii pożaru dla 10. modelu paliwowego i prędkość wiatru na wysokości połowy płomieni równa 40% prędkości wiatru na wysokości 6,1m. [m/min]

### 1.3 Van Wagner - intensywność linii ognia

Van Wagner zaproponował inne podejście do zagadnienia rozprzestrzeniania się pożaru. Równanie opisujące intensywność linii ognia wymaganą do dalszego przeniesienia się ognia:

$$I_{initiation} = \left( \frac{CBH(460 + 25.9FMC)}{100} \right)^{\left(\frac{3}{2}\right)}$$

gdzie:

$I_{initiation}$  - intensywność linii ognia wymaganą do dalszego przeniesienia się ognia [J/m]

CBH - podstawowa wysokość roślinności [m]

FMC- wilgotność roślinności (podłoża i drzew)

### 1.4 Cruz - szybkość rozprzestrzeniania się pożaru w koronach

Zaproponowane w 2002 roku przez Cruza równanie na szybkość rozprzestrzeniania się pożaru w koronach:

$$CROS_A = \beta_1 U_1^{\beta_2} \times CBD^{\beta_3} \times e^{-\beta_4 E_{FFM}}$$

gdzie:

*EFFM* - estymowana wilgotność paliwa

*CBD* - gęstość grupy roślinności [1/m<sup>3</sup>]

$U_{1010} - m$  - prędkość wiatru ponad najwyższą roślinnością [m/min]  $\beta_1, \dots, \beta_4$  - współczynniki regresji

## 1.5 Automaty komórkowe

sds

TODO BARDZO

wspomnieć o tym z czego korzystają te systemy firecostam i behaveplus

## 2 Poniższego oprócz bibliografii nie potrzebujemy jeszcze na te konsultacje Zastosowany model

Automaty komórkowe

sds

### Cele symulacji

dass

### Dane wejściowe

ddf

### Sąsiedztwo

dsd Prędkość wiatru, ukształtowanie terenu. (może wgrywać mapę z wysokościami komórek i ona mogłaby być rozszerzana odpowiednio do rozmiaru!).

### Modele paliwowe

xcx

### Cele symulacji2

xcx

### *f* fancy function podtytuł

## Podsumowanie

### 3 Testy

sd

### 4 Wnioski

sdsd

### 5 Literatura

**Asensio MI, Ferragut L., Simon J.:** Modelling of convective phenomena in forest fire. Rev Real Academia de Ciencias, 2002, 96:299–313

**Bodrožić Ljiljana, Stipaniev Darko, Šerić Marijo:** Forest fires spread modeling using cellular automata approach, University of Split, 21000 Split, Croatia, 2009

**Chad Hoffman:** Fire Behavior Predictions Case Study, University of Idaho, 2007

**Czerpak Tomasz, Maciak Tadeusz:** Modelowanie pożaru lasu. Część 1. Metody i algorytmy modelowania pożaru lasu, Wydział Informatyki, Politechnika Białostocka, 2011

**Kuśkowski Krzysztof:** Automaty Komórkowe, OEN AGH (2000)

**Law A.M., Kelton W.D.:** Simulation Modeling and Analysis, Second Edition, McGraw-Hill 2000

**Ottmar Roger D. et al.:** An Overview of the Fuel Characteristic Classification System - Quantifying, Classifying, and Creating Fuel beds for Resource Planning. Canadian Journal of Forestry Research. 37:2383-2393. 2007

**Rothermel Richard C.:** A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels. USDA Forest Service. Research Paper INT-115. 1972.

**Sayama Hiroki:** Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems, Open SUNY Textbooks, State University of New York at Geneseo, 2015

**Scott Joe H., Burgan Robert E.:** Standard Fire Behavior Fuel Models, USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153., June 2005

**Weise David R., Biging Gregory S.:** A Qualitative Comparison of Fire Spread Models Incorporating Wind and Slope Effects, Research Gate, October 2015

**Wells Gail:** The Rothermel Fire-Spread Study: Still Running Like a Champ, Fire Science Direct, Issue 2, March 2008