

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Modelování a simulace

2020/2021

Varianta číslo 11

Modely přírodních a ekologických katastrof

Žilina, 27.11.2020

Juraj Lazúr (xlazur00)  
Pavol Dubovec (xdubov02)

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
1.1	Autori a zdroje informácií . . . . .	2
1.2	Overenie validity . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Rozbor témy</b>	<b>2</b>
2.1	Popis použitia modelu . . . . .	3
2.2	Popis použitých technológií . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Koncepcia modelu</b>	<b>3</b>
3.1	Získavanie dát nutných pre prácu s modelom . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Implementácia simulačného modelu</b>	<b>4</b>
4.1	Vstupné parametre programu . . . . .	4
4.2	Priebeh simulácie . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Experimenty</b>	<b>5</b>
5.1	Záznamy experimentov . . . . .	5
5.1.1	Záznam experimentu č.1 . . . . .	5
5.1.2	Záznam experimentu č.2 . . . . .	6
5.1.3	Záznam experimentu č.3 . . . . .	7
5.1.4	Záznam experimentu č.4 . . . . .	8
5.1.5	Záznam experimentu č.5 . . . . .	8
5.2	Záver experimentov . . . . .	9
<b>6</b>	<b>Záver</b>	<b>9</b>
	<b>Literatúra</b>	<b>10</b>

# 1 Úvod

Nasledujúca práca vznikla ako projekt do predmetu Modelovanie a simulácie. Spracovávanou témou projektu je téma Modely prírodných a ekologických katastrof. Práca spracováva tému vplyvu teploty ovzdušia a množstva horľavého materiálu na vznik požiarov austrálskych stepí pomocou celulárneho automatu a jeho následnej simulácie. Príloha č. 1 **animacia.gif** obsahuje animáciu vytvorenú zo spojených grafických výstupov, vygenerovaných z príkladu spustenia simulácie v extrémnych podmienkach. Zmyslom navrhnutého a implementovaného modelu a experimentov nad ním vykonaných je zistiť, či má zvyšovanie priemernej teploty vzduchu a množstvo horľavého materiálu, vplyv na ničivosť požiarov v austrálskych stepiach. V reálnych podmienkach by nebolo možné meniť teplotu vzduchu a meniť množstvo horľavého materiálu by bolo finančne nákladné, preto je použitie princípov modelovania a simulácie pre tento problém žiaduce.

## 1.1 Autori a zdroje informácií

Autormi tejto simulačnej štúdie sú:

- Pavol Dubovec, xdubov02@stud.fit.vutbr.cz
- Juraj Lazúr, xlazur00@stud.fit.vutbr.cz

Získané zdroje informácií boli čerpané z odbornej literatúry, z verejne dostupných dát a sú k nahliadnutiu na konci tohto dokumentu.

## 1.2 Overenie validity

Model predpokladá správnosť zdrojových informácií, ktoré boli čerpané zo štúdií o šírení ohňa[2], štatistických údajov o rýchlosti a smere vetra[9], relatívnej vlhkosti[8] a vysušenia pôdy[7] v Austrálii. Na základe týchto informácií, zvolenej teploty a množstva materiálu, ktorý môže zhorieť[10], model simuluje šírenie ohňa a poskytne výsledné údaje ako sa podieľajú tieto vstupné dáta na šírení požiaru v trávnatých oblastiach Austrálskych stepí. Ku každej vstupnej informácii je uvedený zdroj z vedeckej štúdie, a na základe validnosti týchto informácií môžeme predpokladať celkovú validitu modelu.

# 2 Rozbor témy

Základom tejto práce je skúmanie šírenia ohňa. V skutočnosti sa využívajú rôzne druhy modelov pre rôzne druhy vegetácie[2]. Naša práca sa však zameriava na austrálske stepi. V tejto oblasti rovnako existuje niekoľko používaných modelov. Pre túto prácu sme si však zvolili model McArthur verzie 5, pretože predchádzajúce verzie tohto modelu vykazovali odchylky od reálneho priebehu šírenia ohňa. Tento model je podrobne opísaný v časti 3.

Model Mk 5 poskytuje vo výsledku hodnoty GFDI - Index nebezpečenstva šírenia ohňa trávnatých oblastí. Hodnoty tohto indexu sú odstupňované do rôznych kategórií, čo zobrazuje tabuľka 2. Na základe hodnoty tohto indexu je možné určiť pravdepodobnosť akou sa oheň šíri po stepi. Druhú dôležitú informáciu, ktorú nám dokáže index GFDI poskytnúť, je rýchlosť šírenia ohňa.

GDFI	Potenciál na rýchle rozšírenie ohňa v stepi
0-2	Nízky
3-7	Mierny
8-19	Silný
20-49	Veľmi silný
50-99	Vážny
100-149	Extrémny
150+	Katastrofický (Červený kód)

Tabuľka 1: Hodnotenie požiarneho nebezpečenstva[3].

## 2.1 Popis použitia modelu

Model Mk5 pracuje s niekoľkými druhmi dát. Vzhľadom na použitie metódy celulárneho automatu[11][strana 208] pri riešení tohto problému, bolo nevyhnutné vypočítavať index GFDI pre každú bunku celulárneho automatu[11][strana 209]. Preto každá bunka celulárneho automatu potrebuje na základe svojej geografickej polohy presné dáta pre výpočet. Tieto dáta sme získali z máp[9, 8, 7, 6] ich spracovaním do jedného súboru. Podrobná štruktúra dát v tomto súbore je popísaná v kapitole 3.1. Hodnoty tohto indexu sú potom používané pri výpočte pravdepodobnosti, s akou sa oheň šíri naprieč bunkami celulárneho automatu.

## 2.2 Popis použitých technológií

Pre implementáciu celulárneho automatu je vhodné použiť triedne orientovaný jazyk ako napríklad C++[12]. Z tohto dôvodu sme sa rozhodli použiť jazyk C++. To nám umožnilo implementovať bunky celulárneho automatu ako aj automat samotný do tried. Zároveň sme pre niektoré výpočty využili jazyk C pre jeho rýchlosť.

## 3 Koncepcia modelu

Pre prácu sme si zvolili model McArthur (1978) Mk 5 miery šírenia ohňa na pasienkoch[1]. Schéma tohto modelu je znázornená v prílohe 6.

$$GFDI = \begin{cases} 3.35 \times w \times \exp(-0.0897 \times MC + 0.0403 \times U_{10}) & MC < 18.8\% \\ 0.299 \times w \times \exp(-1.686 + 0.0403 \times U_{10})(30 - MC) & 30\% \geq MC \geq 18.8\% \end{cases}$$

Kde:

- $MC = \frac{(97.7 + 4.06 \times RH)}{(T + 6)} - 0.00854 \times RH + \frac{3000}{C} - 30$ 
  - $RH$  – relatívna vlhkosť  $\in \{20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}$  [%]
  - $T$  – atmosferická teplota [ $^{\circ}C$ ]
  - $C$  – štandardná odchylka vysušenia  $\in \{0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40\}$  [%]
- $GFDI$  – odhadnutá rýchlosť šírenia požiaru
- $w$  – prístupné horľavé palivo (pre nedostatok informácií počítané s  $\bar{w} = 2.5$  [ $t/ha$ ])
- $U_{10}$  – rýchlosť vetra meraná vo výške 10 m nad povrchom  $\in \{1, 3, 5, 7, 9, 12.5, 17.5\}$  [ $km/h$ ]

Na základe indexu GFDI, je možné vypočítavať rýchlosť šírenia ohňa[10]  $R$  nasledovne:

$$R = 0,13 GFDI$$

### 3.1 Získavanie dát nutných pre prácu s modelom

Mapy s rôznymi parametrami sme normalizovali na rovnakú veľkosť. Pre získavanie dát sme vytvorili skript na čítanie z mapy. Skript, číta postupne farbu jednotlivých pixelov na jednotlivých mapách. Z prvej mapy, ktorá zobrazuje členenie vegetácie na austrálskom kontinente, sa načítajú len políčka s farbou pixelu, ktorý zodpovedá farbe Feijoa. Táto farba zodpovedá pôvodným trávny porastom a minimálne upraveným pasienkom. Na základe polohy týchto pixelov sú potom z ostatných máp získavané ďalšie údaje. Tieto informácie sa uložia do nového súboru vo formáte txt s názvom „**cordinates.txt**“. Tento súbor má nasledujúcu štruktúru:

$$[[x_1, y_1, RH, WS, WD, C], \dots, [x_k, y_k, RH, WS, WD, C]], kde :$$

- $x$  – x súradnica pixelu s pôvodným trávny porastom a minimálne upraveným pasienkom
- $y$  – y súradnica pixelu s pôvodným trávny porastom a minimálne upraveným pasienkom
- $RH$  – relatívna vlhkosť vzduchu na súradniciach  $x, y$  [8].
  - relatívna vlhkosť - Relatívna vlhkosť je pomer množstva vlhkosti k maximálnemu možnému množstvu pri rovnakej teplote. Označuje sa  $\varphi$  a udáva sa v percentách[5]
- $WS$  – rýchlosť vetra meraná vo výške 10m nad povrchom na súradniciach  $x, y$  [9].
- $WD$  – smer vetra na súradniciach  $x, y$  [9].
- $C$  – vysušenie pôdy na súradniciach  $x, y$  [7]
- $k$  – počet pixelov jednotlivých máp  $x, y$  ( $k = x \times y$ ).

## 4 Implementácia simulačného modelu

Základom implementácie je rozbor simulačného modelu v časti 3.1. Celá implementácia je v jazyku C/C++, pričom pre niektoré funkcie sú využité špeciálne knižnice. Pre spustenie programu je nutný súbor so vstupnými dátami. Priebeh simulácie je následne možné ovplyvňovať zadaním voliteľných vstupných parametrov a ich kombinácií. S ukončením simulácie sú zároveň vypísané štatistiky ako sledovaná plocha, plocha, ktorá stále horí a plocha, ktorá zhorela na viac ako 99%. Grafický priebeh simulácie je možné sledovať po zadaní voliteľného argumentu. V tom prípade je pre každý krok simulácie vygenerovaný obrázok aktuálneho stavu vo formáte .ppm.

### 4.1 Vstupné parametre programu

Simuláciu je možné spustiť bez zadania akýchkoľvek argumentov. V takom prípade pracuje výpočet s hodnotami získanými zo vstupných údajov a s priemernými hodnotami. Priemerné hodnoty v simulácii je možné ovplyvňovať nasledujúcimi voliteľnými argumentmi:

- $g$  : generovanie grafického výstupu pre každý krok simulácie
- $f$  : priemerné množstvo horľavého materiálu v tonách na hektár, predvolená hodnota je 4,9 [10]
- $t$  : priemerná teplota v simulácii, predvolená hodnota je  $26^{\circ}C$ [10]
- $sf$  : počet ohňov založených na začiatku simulácie, predvolená hodnota je 50
- $h$  : doba trvania simulácie v hodinách, predvolená hodnota je 96 hodín

Nasledujúcimi parametrami je možné nahradzovať skutočné hodnoty zo vstupného súboru dát, čím je možné napríklad simulovať extrémne podmienky s vysokým priemerným GFDI indexom.

- $w$  : priemerná rýchlosť vetra v km/h
- $rh$  : relatívna vlhkosť vzduchu
- $c$  : vysušenie pôdy

Príklad spustenie programu potom môže vyzeráť nasledovne:

```
.fims -g -f 3,5 -t 35 -h 115
```

## 4.2 Priebeh simulácie

Prvým krokom je načítanie vstupných dát a výpočet hodnoty GFDI pre každú bunku celulárneho automatu. Každá bunka je reprezentovaná objektom triedy *cell* a uchováva informácie pre konkrétnu časť sledovanej plochy o rozlohe  $4 \times 4, 19 \text{ km}^2$ . Tieto informácie zahŕňajú polohu bunky a údaje dôležité pre výpočet aktuálneho GFDI indexu. Ak sú vstupné údaje úspešne spracované, je prístupné k ďalšiemu kroku simulácie.

Nasleduje náhodné rozmiestnenie počiatočných ohňov na sledovanej ploche. Počet sa odvíja od vstupných argumentov programu. Bunky, na ktorých bol oheň založený sa ukladajú na špeciálny zoznam. Po rozmiestnení ohňov sa spúšťa samotná simulácia, pričom každá iterácia predstavuje zmenu za 1 hodinu.

V každej iterácii sa pre aktuálne horiace bunky vypočítava nový GFDI index. Na základe neho je možné určiť rýchlosť s akou sa oheň šíri s pomocou vzťahu  $R = 0,13 * GFDI[2]$ . S použitím tejto informácie sa vypočítava, koľko plochy bunky za poslednú hodinu zhorelo. S využitím tohto údaje sa prepočítava aktuálna miera prehorania bunky.

Pri určitej miere zhorenia bunky sa vypočítava pravdepodobnosť, s akou sa oheň rozšíri do okolitých buniek. V našej implementácii využívame Moorov typ okolia[11][strana 210], preto vykonávame výpočet pre 8 buniek. Táto pravdepodobnosť závisí na dvoch faktoroch. Prvým je GFDI index bunky, ktorá môže potencionálne vzbĺknuť. Na základe rozdelenia v tabuľke 2 sa pravdepodobnosť zvyšuje úmerne k zvyšujúcemu sa GFDI indexu. Druhým faktorom je smer vetra a teda smer šírenia ohňa.

Po vykonaní určeného počtu iterácií, vygenerovania zmien za počet hodín, simulácia končí a vypíšu sa štatistiky. Prípadný grafický výstup sa vygeneruje pre každú iteráciu zvlášť. Tie zahŕňujú nasledujúce údaje:

- celkovú sledovanú plochu [ $\text{km}^2$ ]
- plochu, ktorá stále horí [ $\text{km}^2$ ]
- plocha, ktorá zhorela [ $\text{km}^2$ ]

## 5 Experimenty

Cieľom experimentov je zistiť, či a prípadne akým spôsobom má vplyv zvyšovania teploty vzduchu a množstva horľavého materiálu na rozsah požiarov. Počas vykonávania experimentov je zachovaný rovnaký počet počiatočných ohňov a doba trvania experimentu 96 hodín. Taktiež nie sú menené údaje získané zo vstupných máp.

### 5.1 Záznamy experimentov

#### 5.1.1 Záznam experimentu č.1

```
.fims
```

---GRASSLAND FIRE SIMULATION---

---Starting simulation---

Loading file cordinates.txt

File successfully loaded

---Set up fires---

[ 100% ] [ ##### ]

---Processing simulation---

[ 100% ] [ ##### ]

---Simulation completed---

---STATS---

Observed cells: 142958

Observed area: 2395976.080 kilometers square

Average starting GFDI index: 3.22605

Still burning: 103 cells

Still burning: 0.0190838%

Burned area: 0.0529653%

Burned area: 1269.037 kilometers square

Prvý experiment pracuje na základe vstupných dát a predvolených hodnôt. Výsledok zobrazuje nízky potenciál šírenia ohňa, avšak aj napriek tomu sa oheň rozšíril mimo budníek s počiatočným ohňom. Avšak celková zasiahnutá oblasť nie je veľká.

### 5.1.2 Záznam experimentu č.2

*.fims -f 10*

---GRASSLAND FIRE SIMULATION---

---Starting simulation---

Loading file cordinates.txt

File successfully loaded

---Set up fires---

[ 100% ] [ ##### ]

---Processing simulation---

[ 100% ] [ ##### ]

---Simulation completed---

---STATS---

Observed cells: 142958  
Observed area: 2395976.080 kilometers square

Average starting GFDI index: 6.58378

Still burning: 894 cells  
Still burning: 0.159913%

Burned area: 0.465446%  
Burned area: 11151.969 kilometers square

Druhý experimentom sme sa snažili overiť vypočítanú, že zvýšením priemernej hodnoty horľavého materiálu vzrastie rozsah požiarov. Z výsledkov je patrné, že zvýšenie horľavého materiálu o 50%, zvýšilo zasiahnutú oblasť desaťnásobne.

### 5.1.3 Záznam experimentu č.3

*./ims -t 45*

---GRASSLAND FIRE SIMULATION---

---Starting simulation---

Loading file cordinates.txt  
File successfully loaded

---Set up fires---

[ 100% ] [ ##### ]

---Processing simulation---

[ 100% ] [ ##### ]

---Simulation completed---

---STATS---

Observed cells: 142958  
Observed area: 2395976.080 kilometers square

Average starting GFDI index: 4.31858

Still burning: 165 cells  
Still burning: 0.0317885%

Burned area: 0.08363%  
Burned area: 2003.755 kilometers square

Podstatou tretieho experimentu bolo zvýšenie priemernej teploty vzduchu. Z výsledkov simulácie vyplýva, že zvýšenie priemernej teploty, neprinieslo rovnako ničivý efekt ako zvýšenie množstva horľavého materiálu.



#### 5.1.4 Záznam experimentu č.4

*.fims -t 45 -f 15*

---GRASSLAND FIRE SIMULATION---

---Starting simulation---

Loading file cordinates.txt  
File successfully loaded

---Set up fires---

[ 100% ] [ ##### ]

---Processing simulation---

[ 100% ] [ ##### ]

---Simulation completed---

---STATS---

Observed cells: 142958  
Observed area: 2395976.080 kilometers square

Average starting GFDI index: 13.2202

Still burning: 4116 cells  
Still burning: 0.532443%

Burned area: 2.34672%  
Burned area: 56226.954 kilometers square

Zvýšení množství horlavého materiálu a zároveň teploty, spôsobilo markantnejší nárast zasiahnutej plochy. Rovnako narástol aj počet buniek, na ktorých po skončení simulácie stále horelo.

#### 5.1.5 Záznam experimentu č.5

*.fims -t 45 -f 2,5*

---GRASSLAND FIRE SIMULATION---

---Starting simulation---

Loading file cordinates.txt  
File successfully loaded

---Set up fires---

[ 100% ] [ ##### ]

---Processing simulation---

[ 100% ] [ ##### ]

---Simulation completed---

---STATS---

Observed cells: 142958

Observed area: 2395976.080 kilometers square

Average starting GFDI index: 1.76269

Still burning: 50 cells

Still burning: 0.00973691%

Burned area: 0.0252384%

Burned area: 604.706 kilometers square

Podstatou piateho experimentu bolo overenie našej hypotézy, že pri súčasnom zvýšení teploty a znížení množstva horľavého materiálu sa znížila celková plocha zasiahnutá ohňom. Z výsledku simulácie vyplýva, že zníženie množstva horľavého materiálu o 50%, znížilo rozsah oblasti zasiahnutej ohňom o 70%.

## 5.2 Závery experimentov

Všetky experimenty boli vykonané nad vstupnými dátami mesiaca november, ktorý patrí medzi počiatočné mesiace austrálskej sezóny požiarov. Ich rozsah sa teda zameriava na menej ničivú časť sezóny. Z tohto dôvodu sú výsledky našich experimentov rozsahom obmedzené. Avšak vyplýva z nich, že znížením množstva horľavého materiálu aj pri zvyšujúcej sa teplote je možné zmenšiť rozsah požiarov.

## 6 Záver

Experimentami sme dokázali, že množstvo horľavého materiálu je kľúčovou vlastnosťou, ktorú je možné určitým spôsobom ovplyvniť. Keďže je možné očakávať, že vplyvom skleníkového efektu a globálneho otepľovania bude teplota rásť[4], je jednou z možností prevencie proti šíreniu požiarov stepných oblastí možná kultivácia týchto oblastí. Kultivácia by mohla vo výraznej miere prispieť k dosiahnutiu stabilnejšej a udržateľnejšej situácií austrálskych požiarov.

## Literatúra

- [1] Noble IR, Bary GAV, Gill AM *McArthur's fire danger meters expressed as equations*. Australian Journal of Ecology 5, 201-203, 1978
- [2] Miguel G. Cruz, James S. Gould, Martin E. Alexander, Andrew L. Sullivan, W. Lachlan McCaw, Stuart Matthews *A guide to rate of fire spread models for Australian vegetation*. AFAC 2015
- [3] "New Warning System Explained". Country Fire Authority, [https://en.wikipedia.org/wiki/McArthur\\_Forest\\_Fire\\_Danger\\_Index#cite\\_note-Country\\_Fire\\_Authority-1](https://en.wikipedia.org/wiki/McArthur_Forest_Fire_Danger_Index#cite_note-Country_Fire_Authority-1)
- [4] National Climate Assessment: 21st Century Temperature Scenarios <https://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=4029>
- [5] Vlhkosť vzduchu [https://sk.wikipedia.org/wiki/Vlhkosť\\_vzduchu](https://sk.wikipedia.org/wiki/Vlhkosť_vzduchu)
- [6] Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences, Integrated Vegetation Cover dataset 2009, used under CC BY 2.5, [https://soe.environment.gov.au/sites/default/files/report2016/land/SoE2016-Land-web-resources/image/soe2016\\_lan\\_fig26\\_abares\\_vegetation\\_extent-01.png](https://soe.environment.gov.au/sites/default/files/report2016/land/SoE2016-Land-web-resources/image/soe2016_lan_fig26_abares_vegetation_extent-01.png)
- [7] Temporal standard deviation of estimated degree of curing (DOC) map from 4 July 2002 to 26 June 2011, [https://www.researchgate.net/figure/Temporal-standard-deviation-of-estimated-degree-of-curing-DOC-map-from-4-July-2002-to-fig5\\_316055478](https://www.researchgate.net/figure/Temporal-standard-deviation-of-estimated-degree-of-curing-DOC-map-from-4-July-2002-to-fig5_316055478)
- [8] Relative humidity maps at 9 am in November and December in Australia, [https://www.researchgate.net/figure/Relative-humidity-maps-at-9-am-in-November-and-December-in-Australia\\_fig3\\_242579931](https://www.researchgate.net/figure/Relative-humidity-maps-at-9-am-in-November-and-December-in-Australia_fig3_242579931)
- [9] Monthly wind velocity over Australia, [http://www.bom.gov.au/jsp/ncc/climate\\_averages/wind-velocity/index.jsp?period=nov#maps](http://www.bom.gov.au/jsp/ncc/climate_averages/wind-velocity/index.jsp?period=nov#maps)
- [10] Miguel G. Cruz, Andrew L. Sullivan, James S. Gould, Richard J. Hurley and Matt P. Plucinski *Got to burn to learn: the effect of fuel load on grassland fire behaviour and its management implications*. International Journal of Wildland Fire 27(11) 727-741, 1 October 2018
- [11] Petr Peringer, Martin Hrubý *Modelování a simulace*. <http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [12] Zbyněk Křivka *Principy objektově-orientovaného programování*. [https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/cfs.php?file=%2Fcourse%2FIPP-IT%2Flectures%2F2019-2020%2F02-04\\_IPP\\_OOJ-Krivka.pdf&cid=13338](https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/cfs.php?file=%2Fcourse%2FIPP-IT%2Flectures%2F2019-2020%2F02-04_IPP_OOJ-Krivka.pdf&cid=13338)

