

Matematicko-počítačové modelovanie šírenia lesných požiarov

Ambroz Martin, Balažovjeh Martin, Mikula Karol

Motivácia

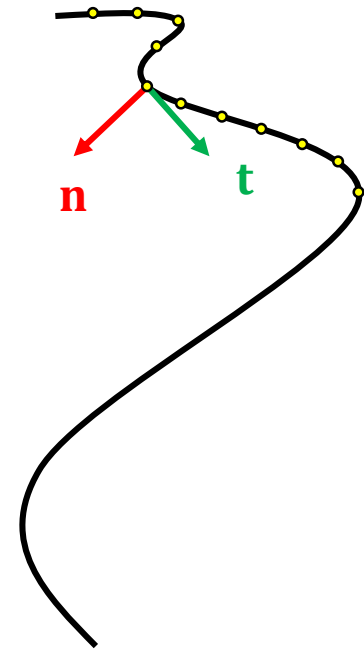
- vývoj existujúceho matematického modelu (Balažovjeh, Mikula, Petrášová, Urban, 2012)
 - približovanie modelu k realite
 - zachovanie jednoduchosti modelu
- spolupráca s Hasičským a záchranným zborom SR
 - ladenie modelu na základe reálnych dát
 - vyžitie modelu v praxi pri záchrannej činnosti

Pohybová rovnica krivky

$$\mathbf{x}_t = \beta \mathbf{n} + \alpha \mathbf{t}$$

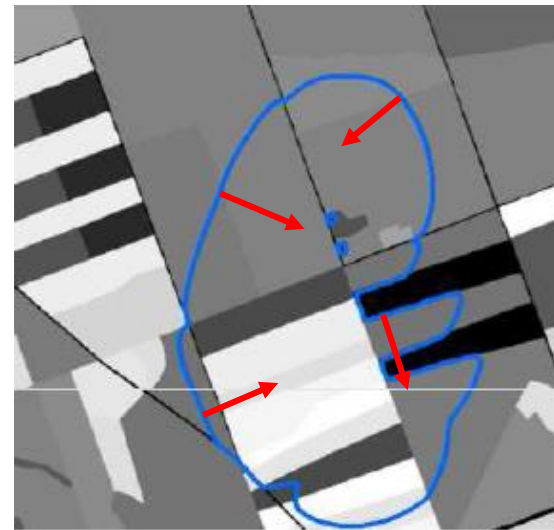
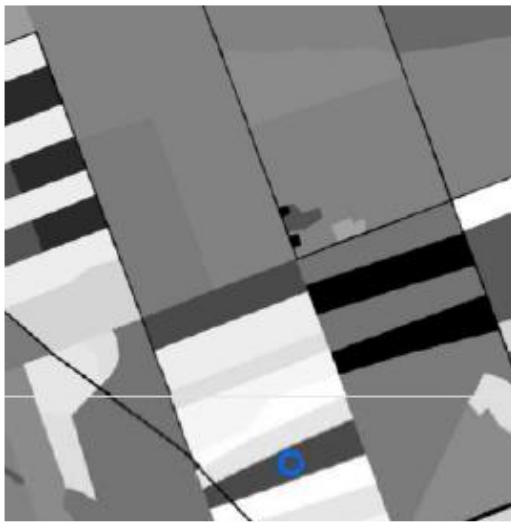
β – rýchlosť v normálovom smere

α – rýchlosť v tangenciálnom smere



Matematický model

Skalárna funkcia f (palivová mapa)



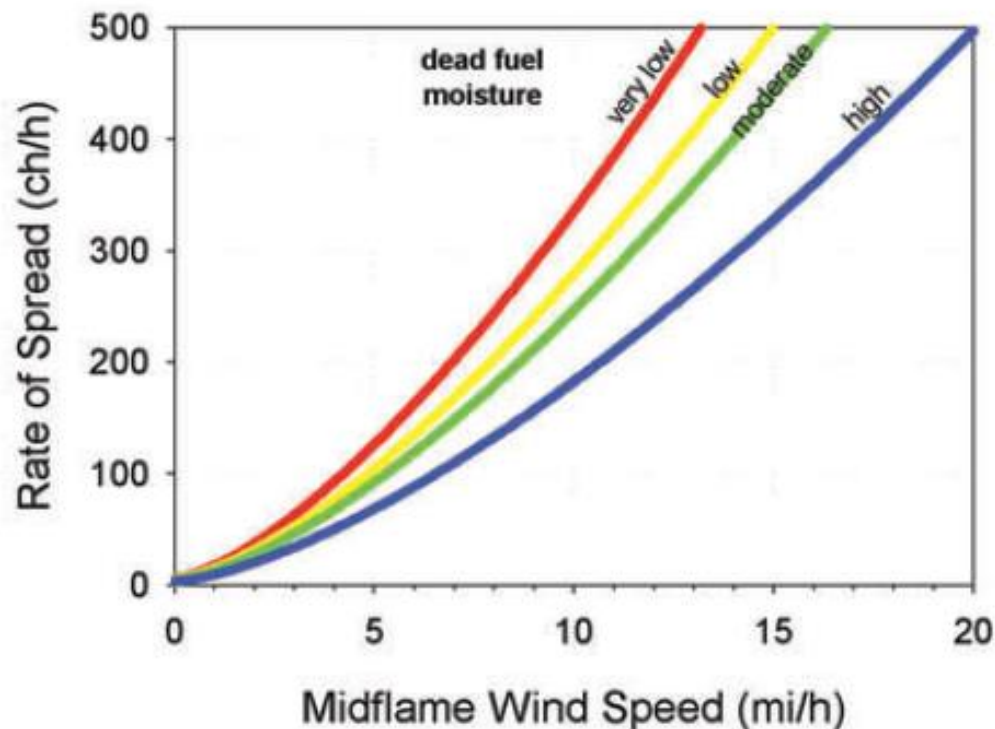
Teda:

$$\beta = -f$$

Matematický model

Smer a veľkosť vetra daná vektorom \mathbf{v}

Závislosť medzi rýchlosťou šírenia požiaru a rýchlosťou vetra je exponenciálna



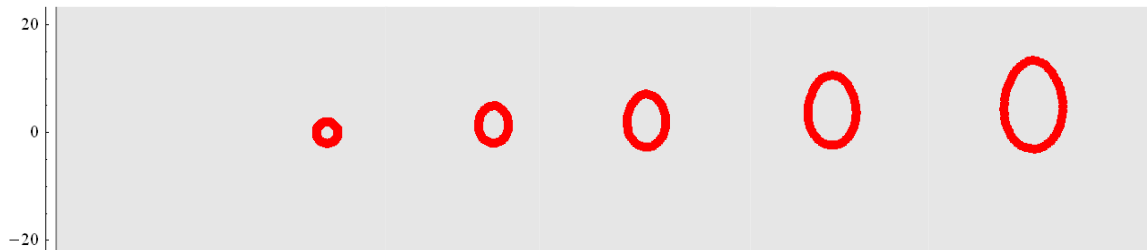
Matematický model

Teda:

$$\beta = -f e^{-\lambda_w(\mathbf{v} \cdot \mathbf{N})}$$

Kde: λ_w je veľkosť vplyvu vetra

– \mathbf{N} je vonkajšia jednotková normála

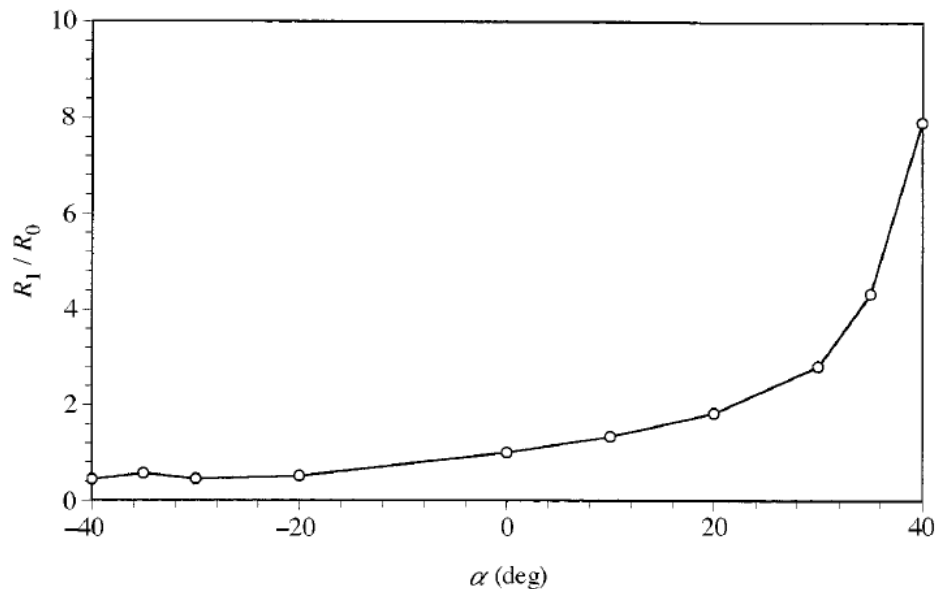


Matematický model

Model terénu – skalárna funkcia T

Smer a veľkosť stúpania získame pomocou ∇T

Závislosť medzi rýchlosťou šírenia požiaru a veľkosťou stúpania je exponenciálna

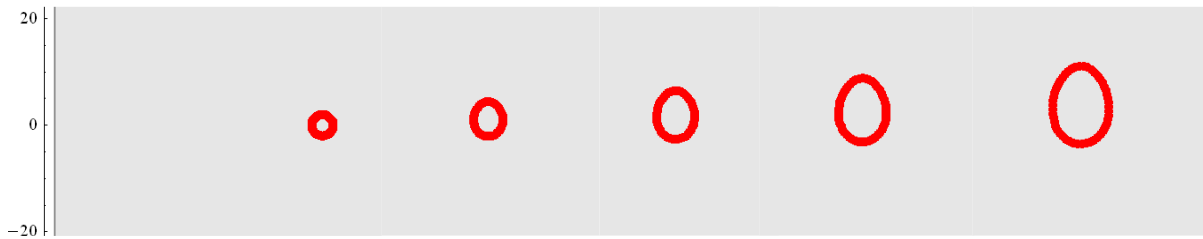


Matematický model

Teda:

$$\beta = -f e^{-\lambda_w(\mathbf{v} \cdot \mathbf{N})} e^{-\lambda_s(\nabla T \cdot \mathbf{N})}$$

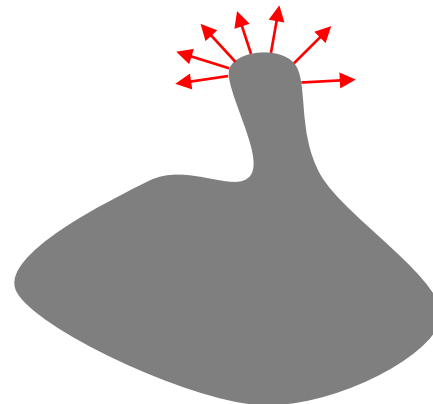
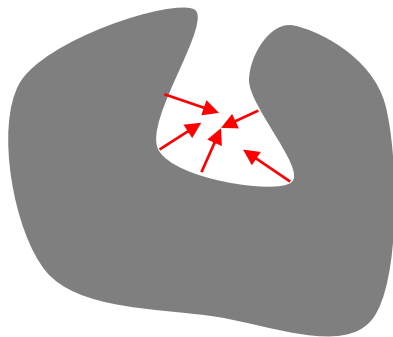
Kde: λ_s je vel'kost' vplyvu sklonu



Matematický model

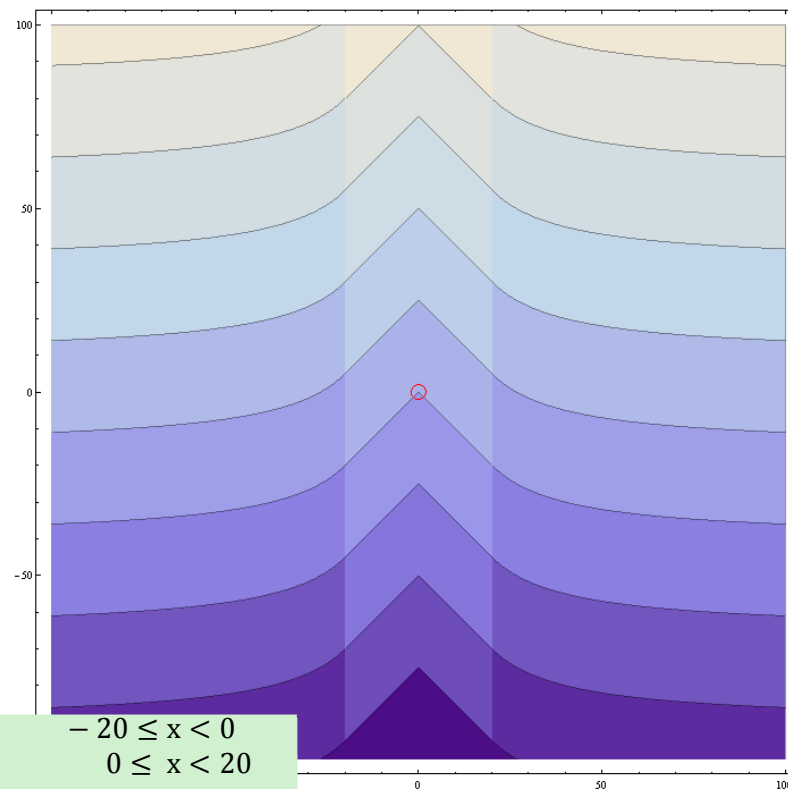
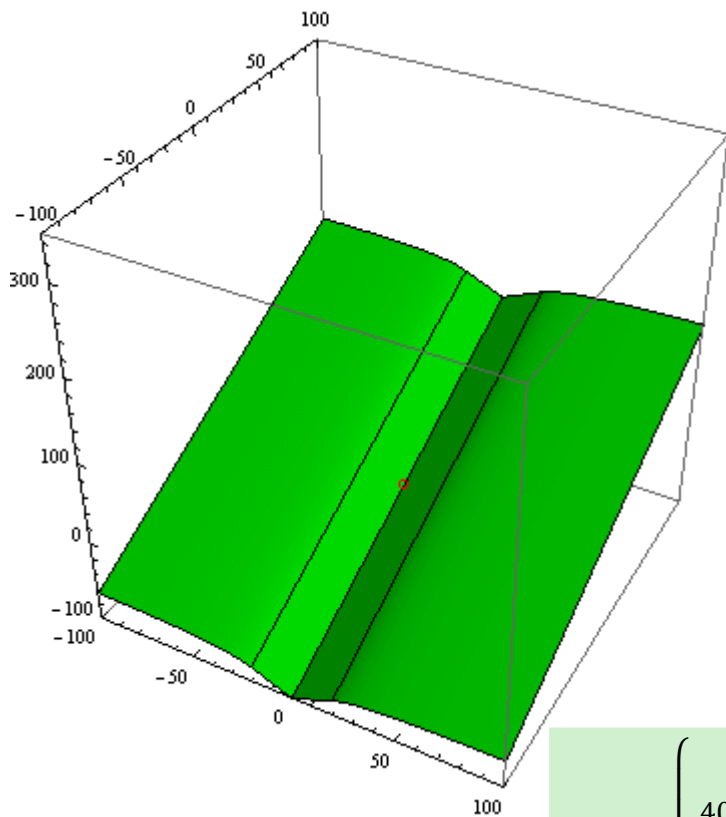
fyzikálny pohľad – oheň sa šíri vďaka prenosu tepla
front požiaru zahrieva nezhočené palivo
nerovnomerné zahrievanie vplyvom krivosti frontu

$$\beta = -f e^{-\lambda_w(\mathbf{v} \cdot \mathbf{N})} e^{-\lambda_s(\nabla T \cdot \mathbf{N})} (1 - \delta k)$$



Experiment

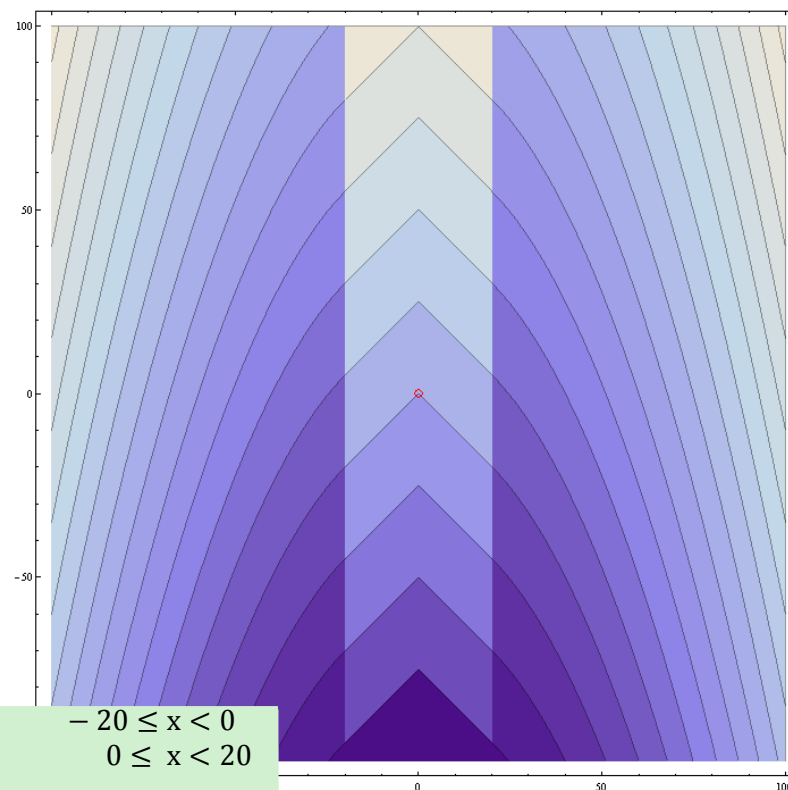
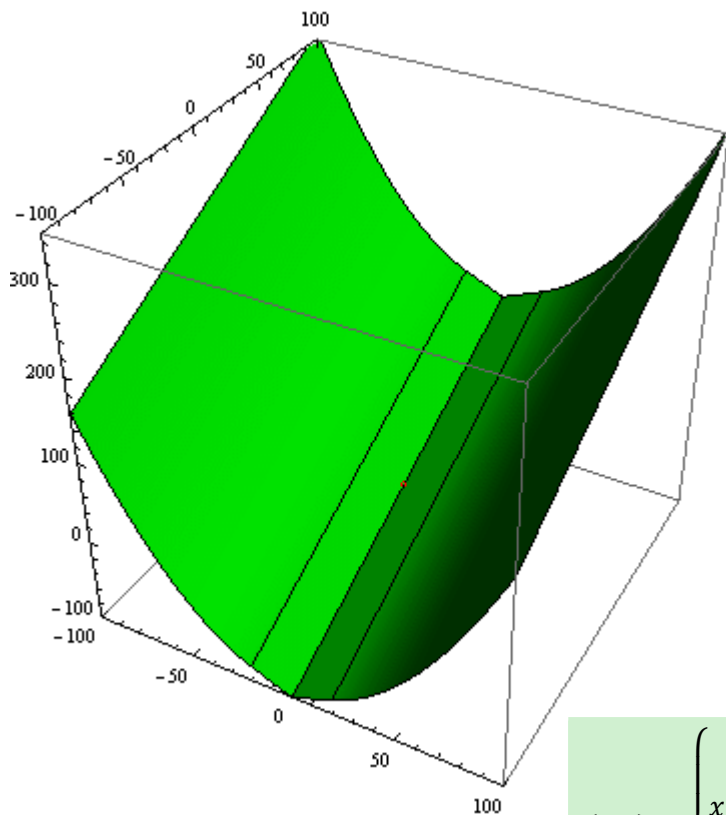
Demonštrácie vplyvu parametrov (sklonu)



$$f(x,y) = \begin{cases} x + y, & -20 \leq x < 0 \\ -x + y, & 0 \leq x < 20 \\ \frac{400}{x} + y + 40 & -100 \leq x < -20 \\ -\frac{400}{x} + y + 40 & 20 \leq x < 100 \end{cases}$$

Experiment

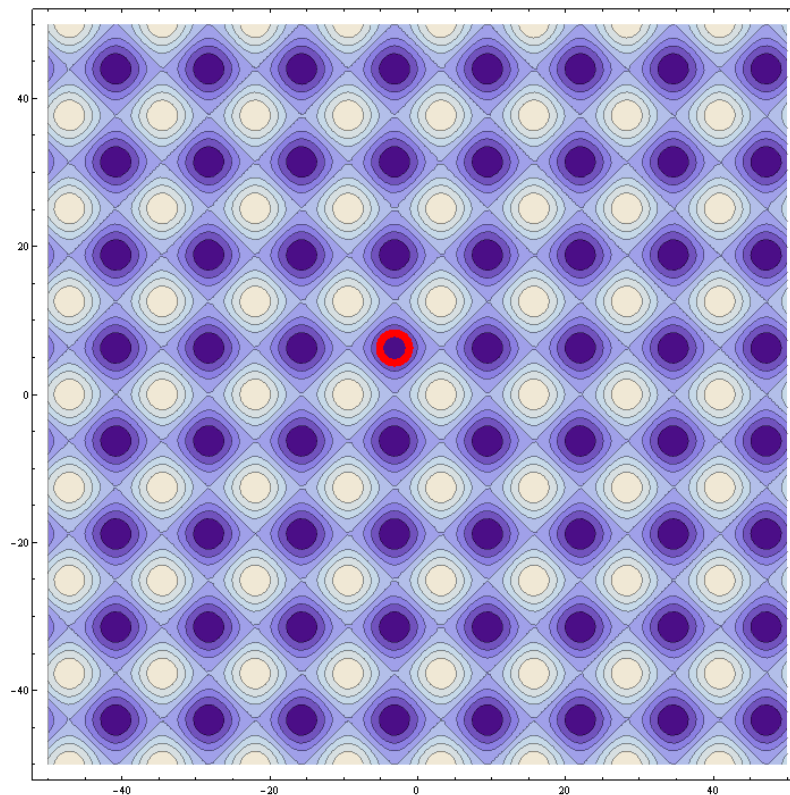
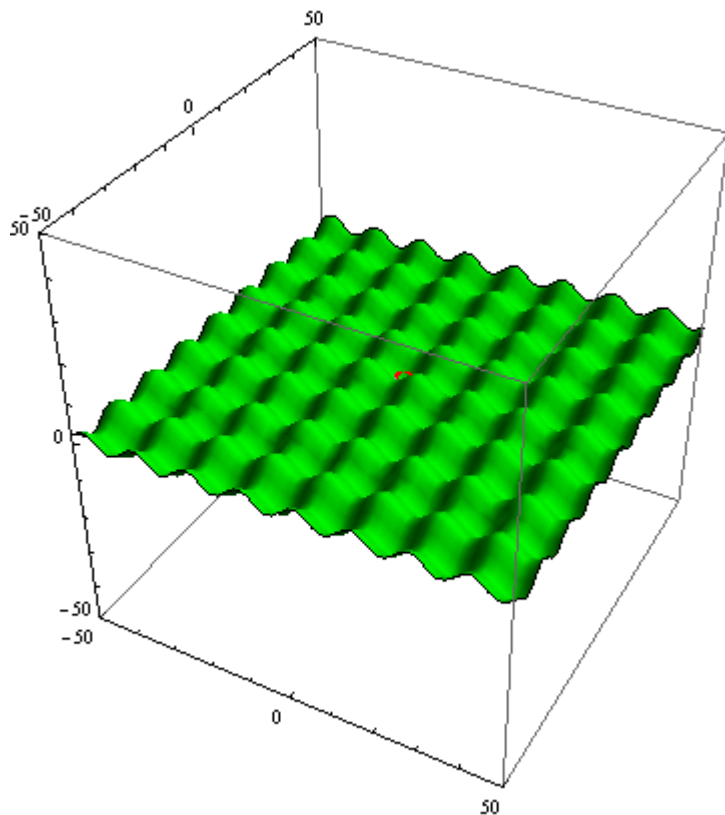
Demonštrácie vplyvu parametrov (sklonu)



$$f(x,y) = \begin{cases} x + y, & -20 \leq x < 0 \\ -x + y, & 0 \leq x < 20 \\ \frac{x^2}{40} + y + 10, & -100 \leq x < -20 \\ \frac{x^2}{40} + y + 10, & 20 \leq x < 100 \end{cases}$$

Experiment

Demonštrácie vplyvu parametrov (sklonu)



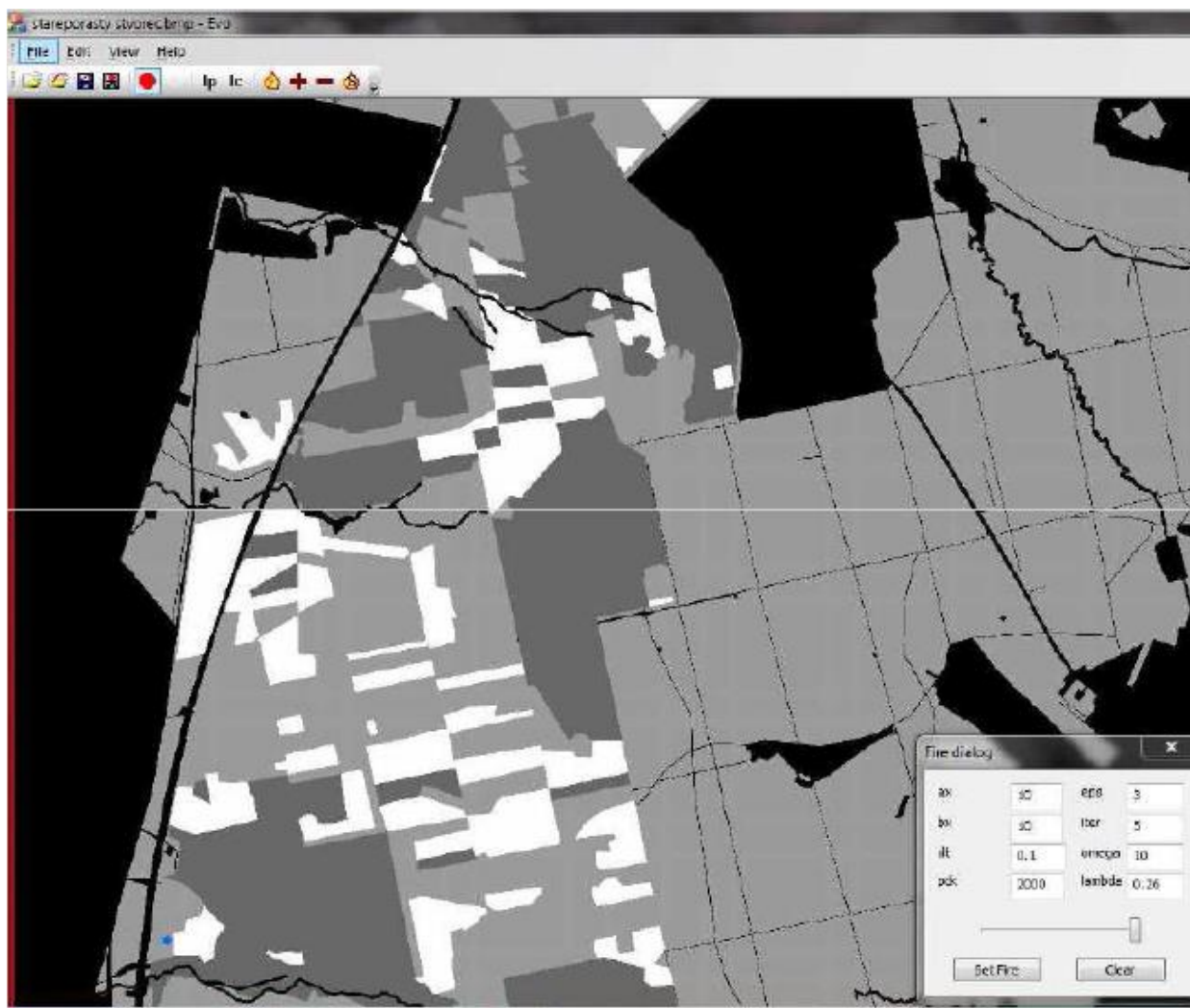
$$f(x, y) = 8 \sin\left(\frac{x}{2}\right) + 8 \cos\left(\frac{x}{2}\right)$$

Simulácia Záhorie

- Záhorie 29.8.1992 - veľký požiar pozdĺž diaľnice D2 z Bratislavy do Brna
- prevažne borovicový porast - maximálna normálová rýchlosť pohybu frontu za bezvetria je 1 meter za minútu
- priemerná rýchlosť vetra bola 6 metrov za sekundu, smer vetra 85 stupňov od x-ovej osi
- za 24 hodín = $24 \times 60 = 1440$ minút sa požiar dostal k vodnej ploche Tančibok
- výpočtové parametre modelu: $\lambda = 0.26$, $\delta = 3$, $\tau = 0.1$ minúty

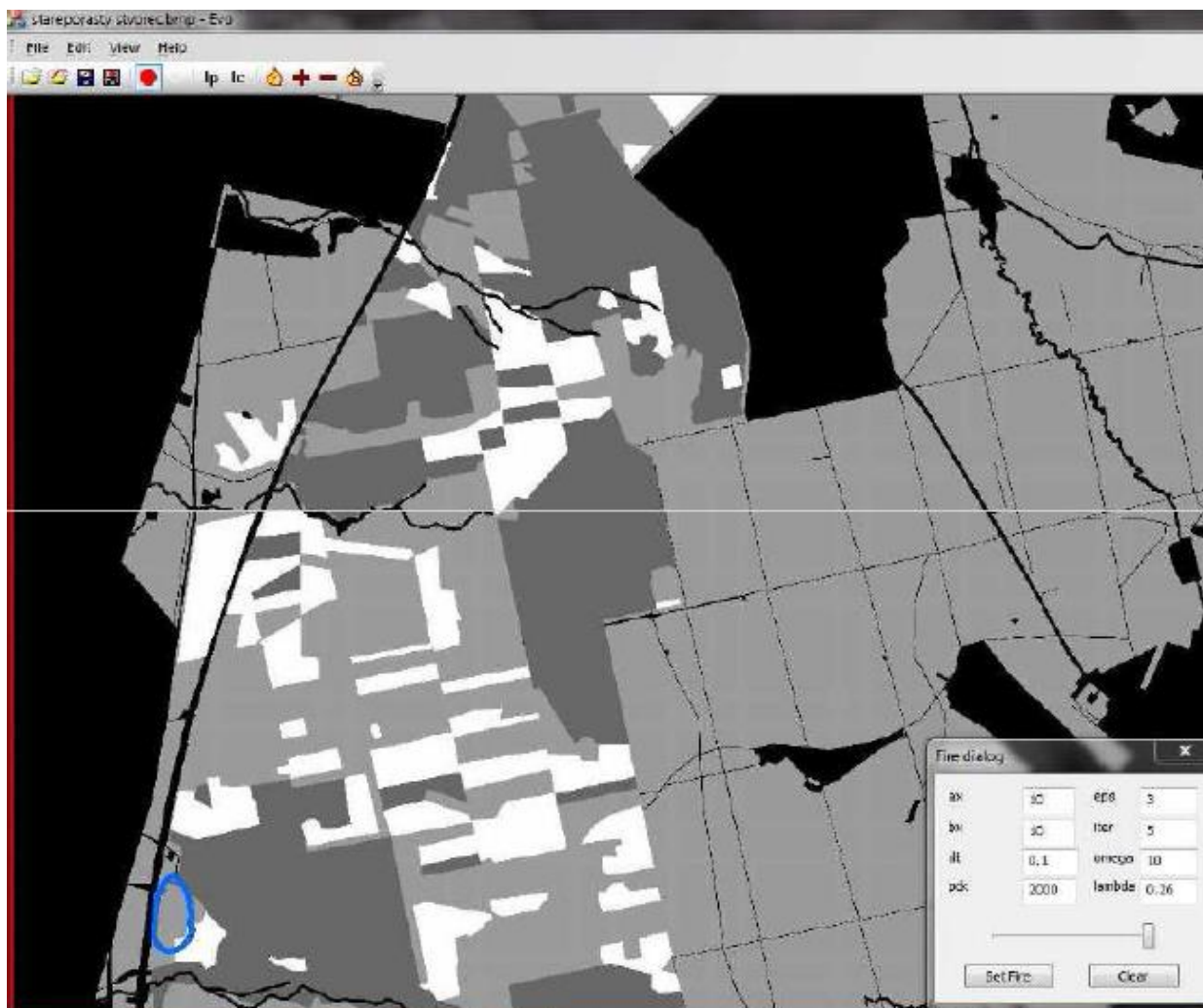
Simulácia Záhorie

0 čas. krokov



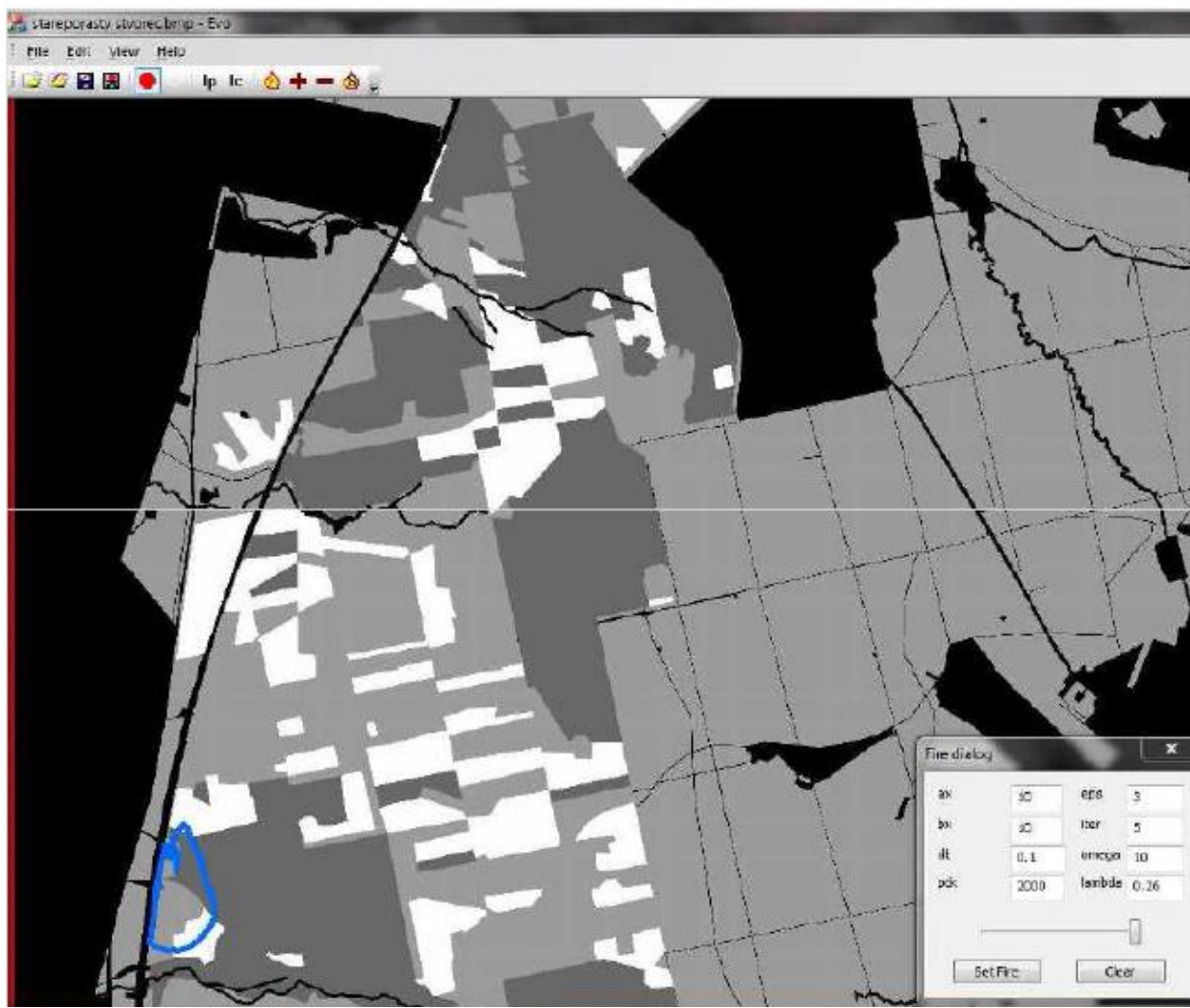
Simulácia Záhorie

2 000 čas. krokov



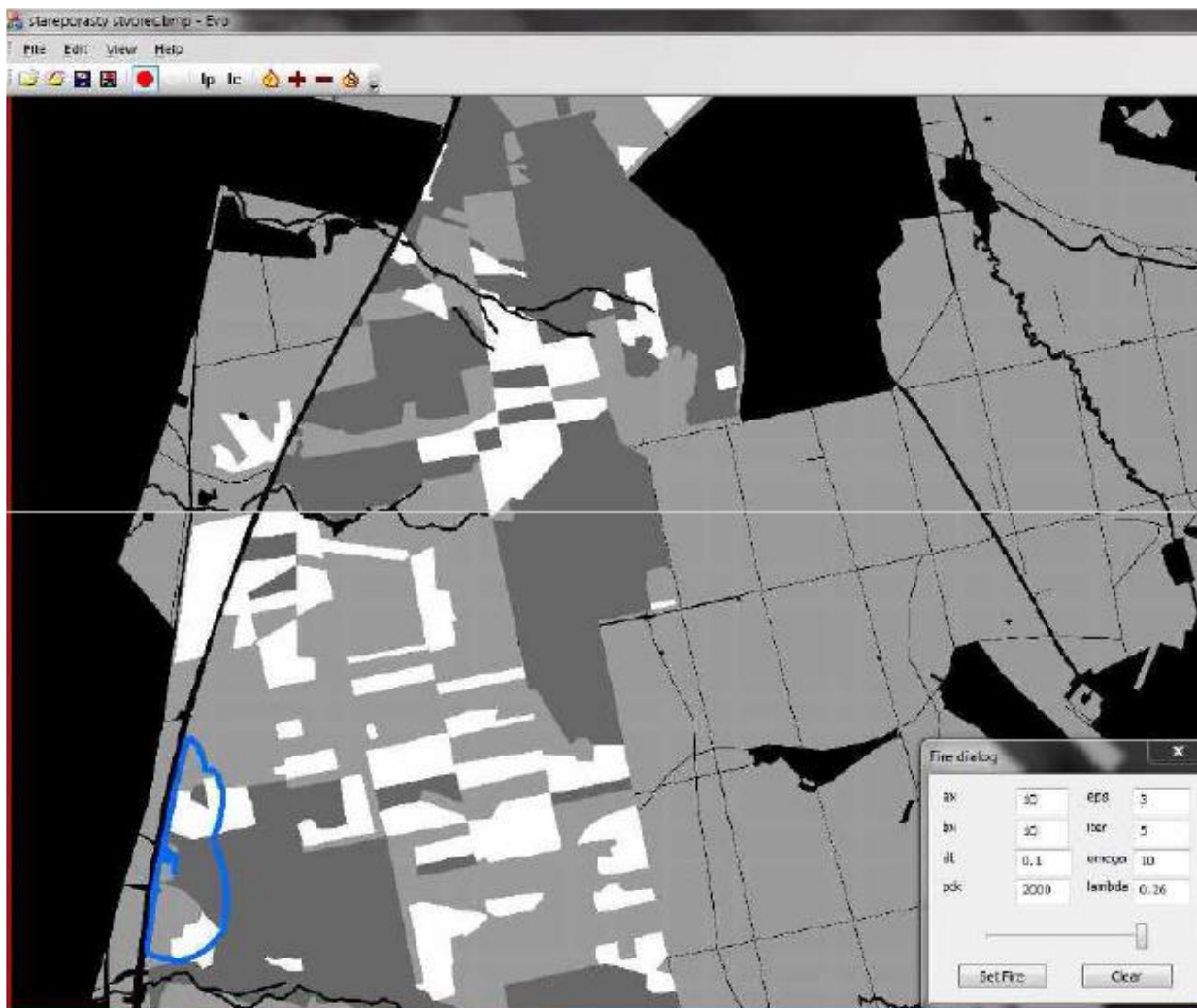
Simulácia Záhorie

4 000 čas. krokov



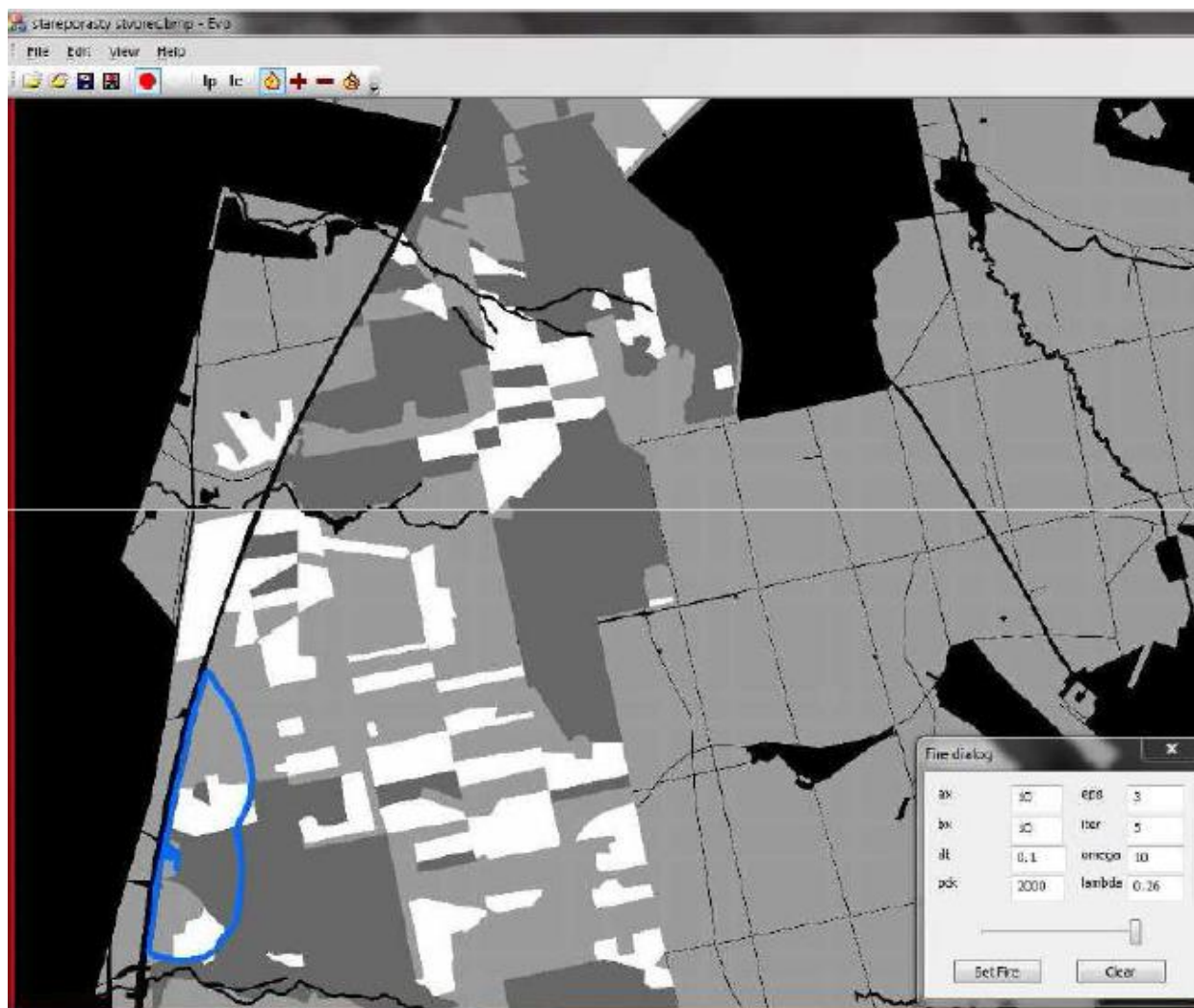
Simulácia Záhorie

6 000 čas. krokov



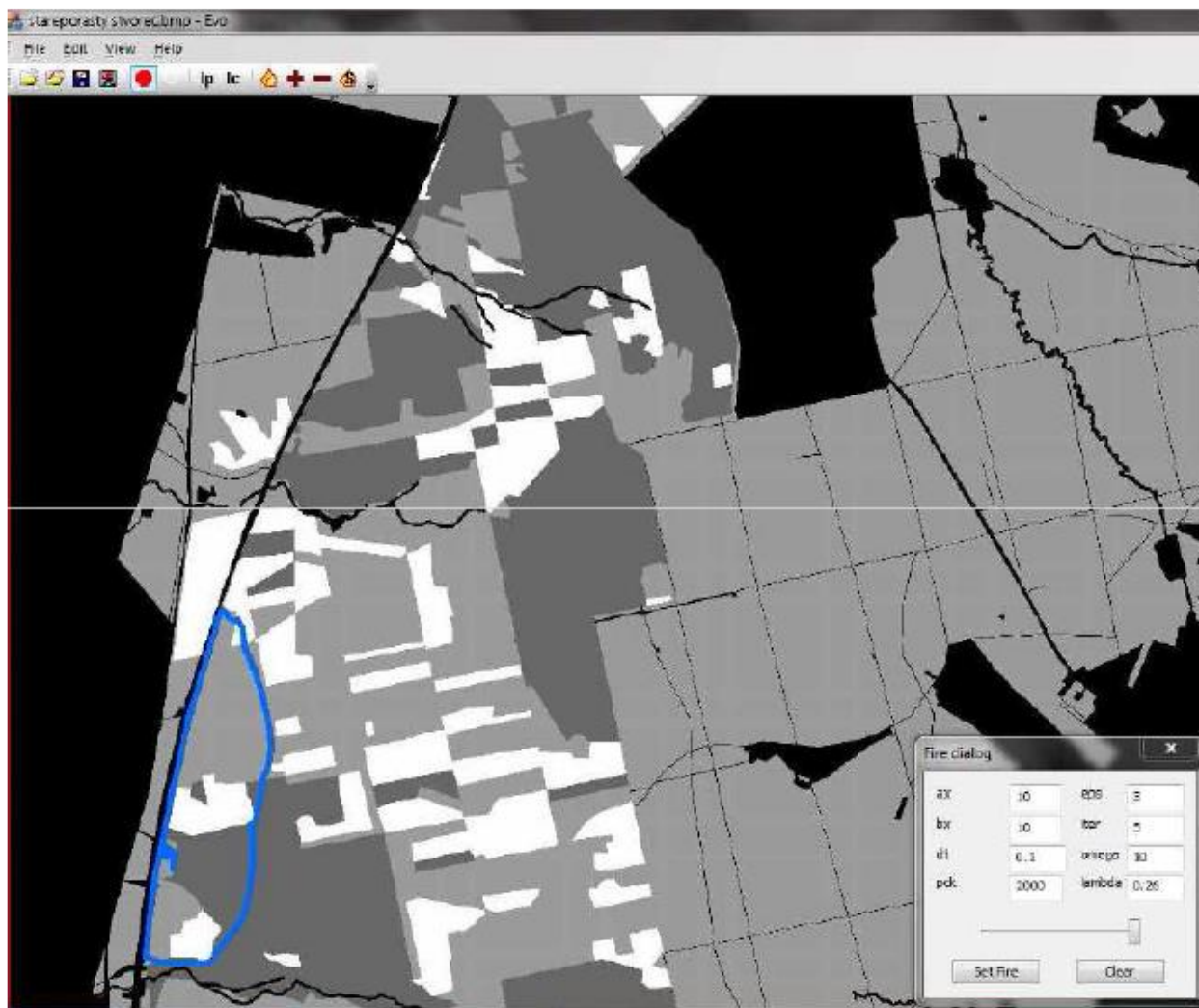
Simulácia Záhorie

8 000 čas. krokov



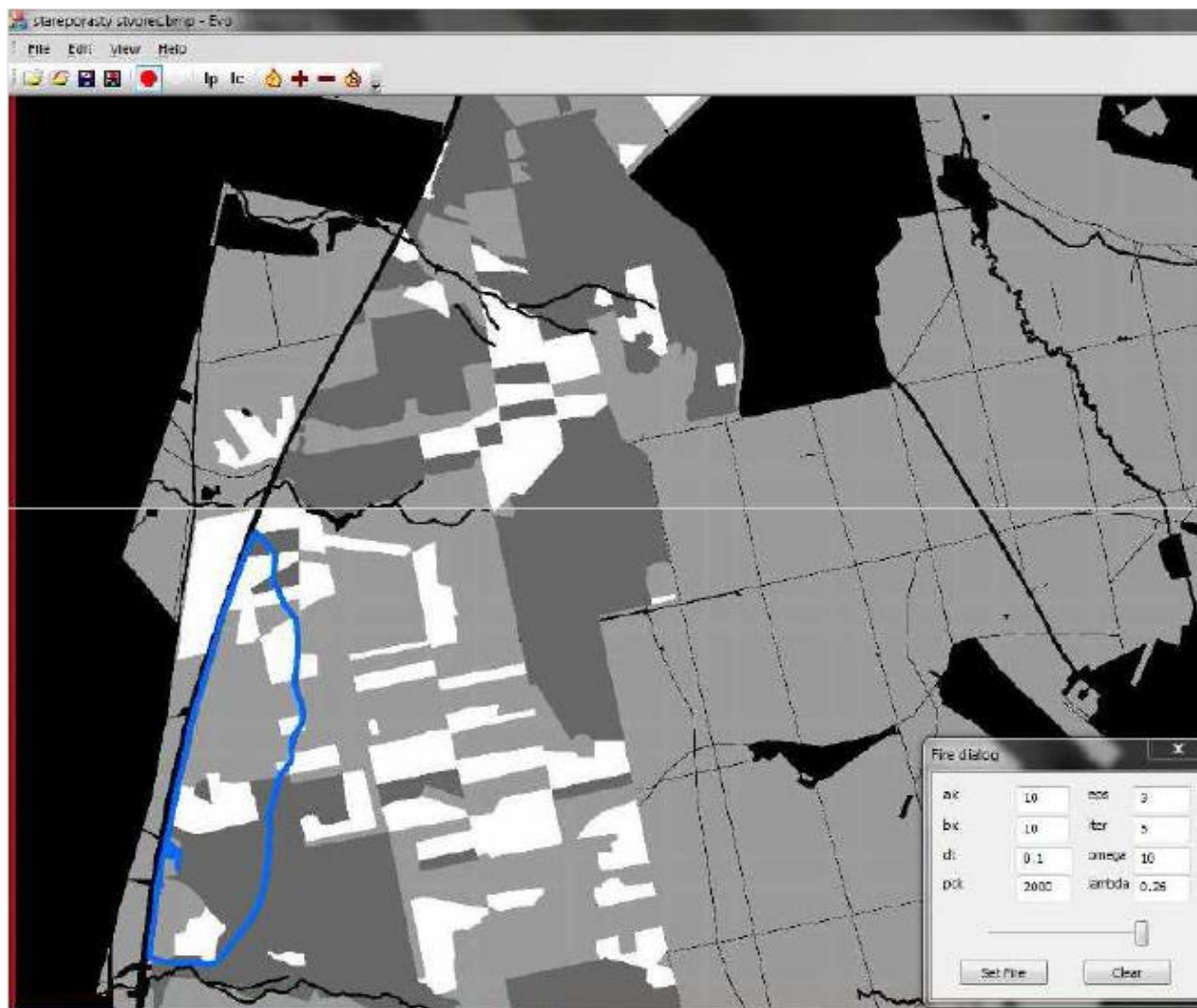
Simulácia Záhorie

10 000 čas. krokov



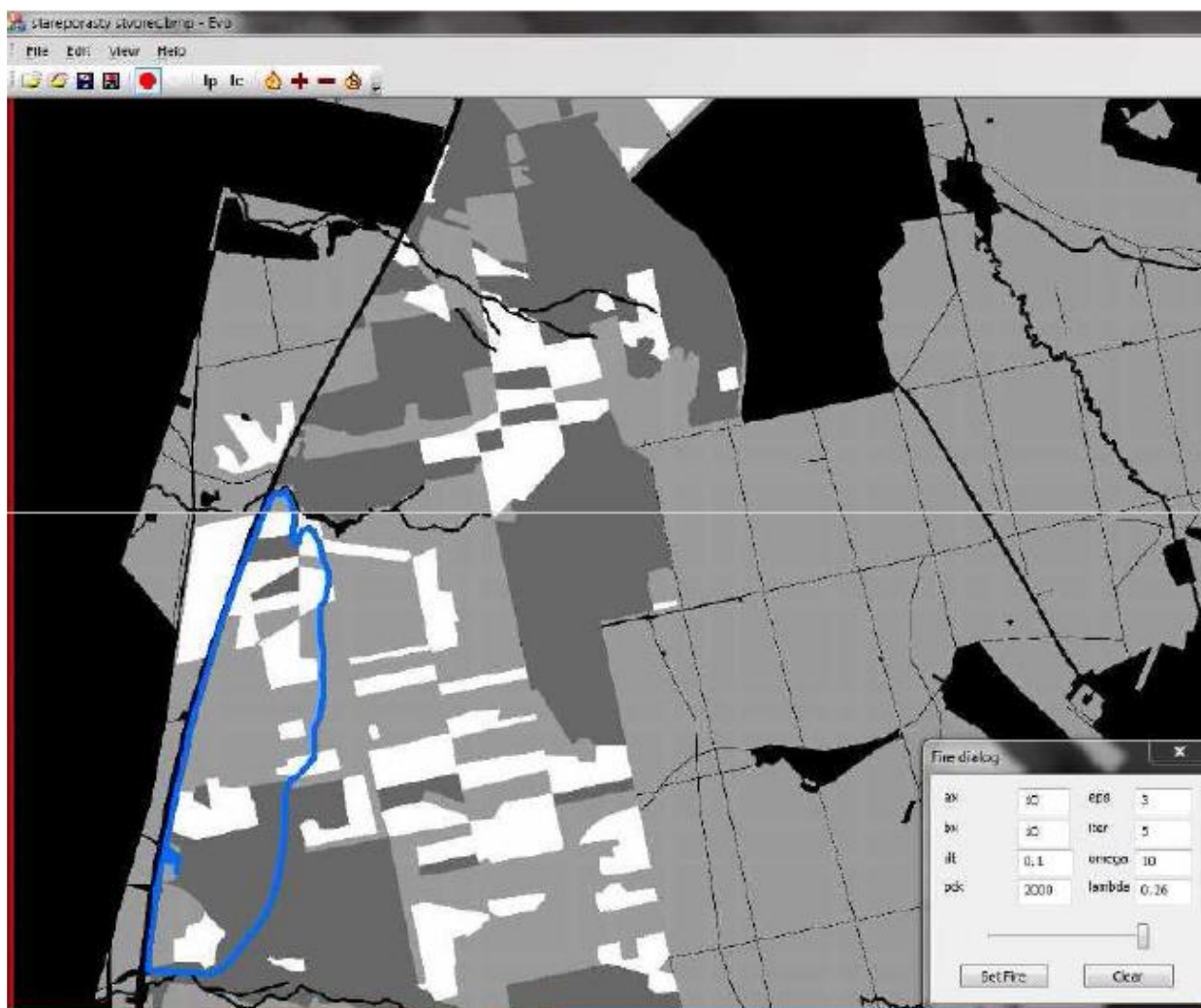
Simulácia Záhorie

12 000 čas. krokov



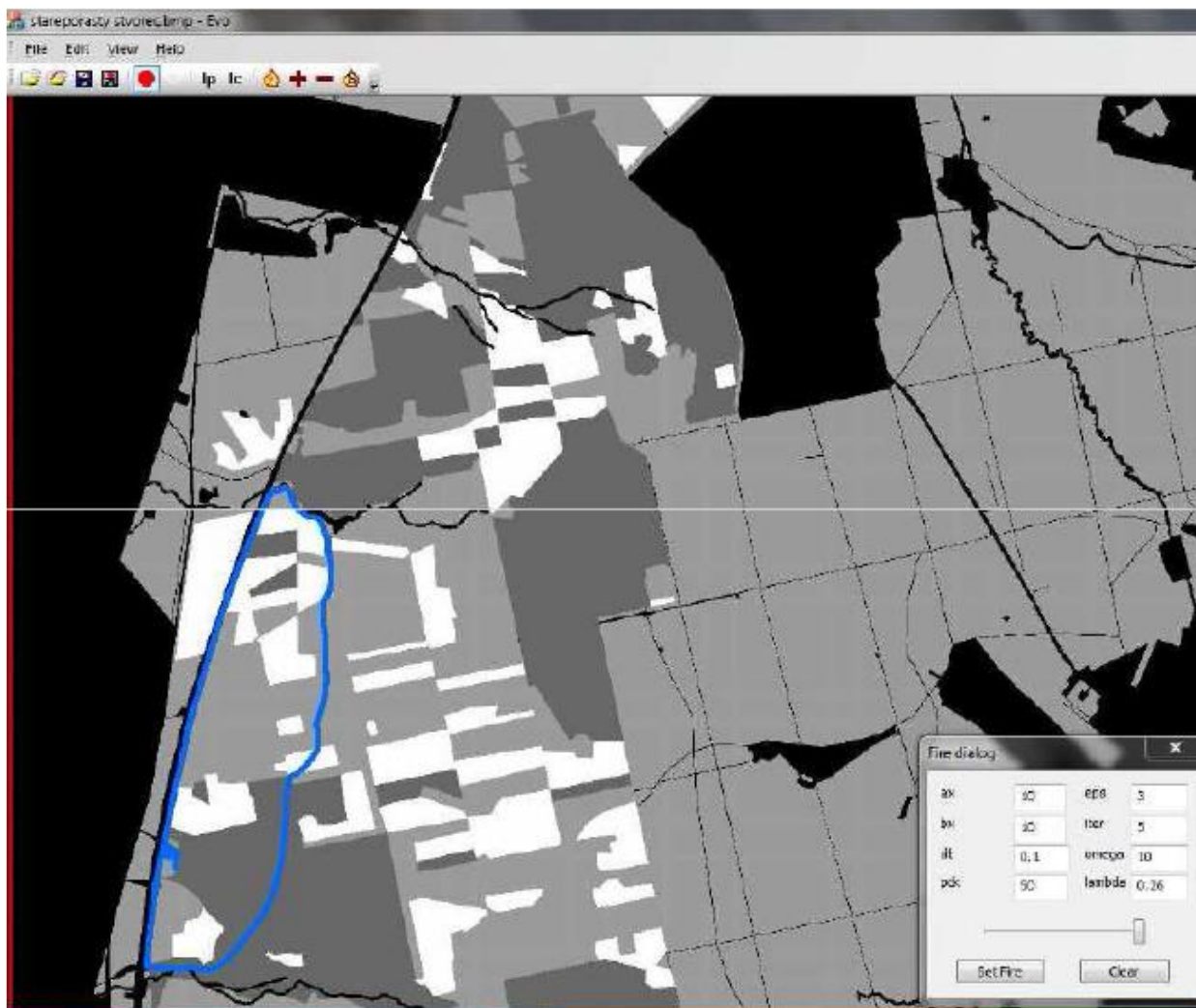
Simulácia Záhorie

14 000 čas. krokov



Simulácia Záhorie

14 400 čas. krokov



Simulácia Lešť

Cvičenie: požiar vo vojenskom výcvikovom stredisku na Lešti

Videozáznam z bezpilotnej kvadroptéry

Simulácia

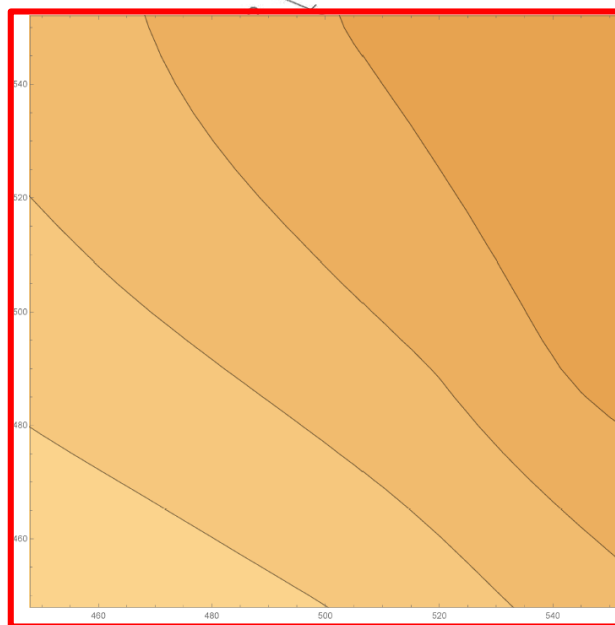
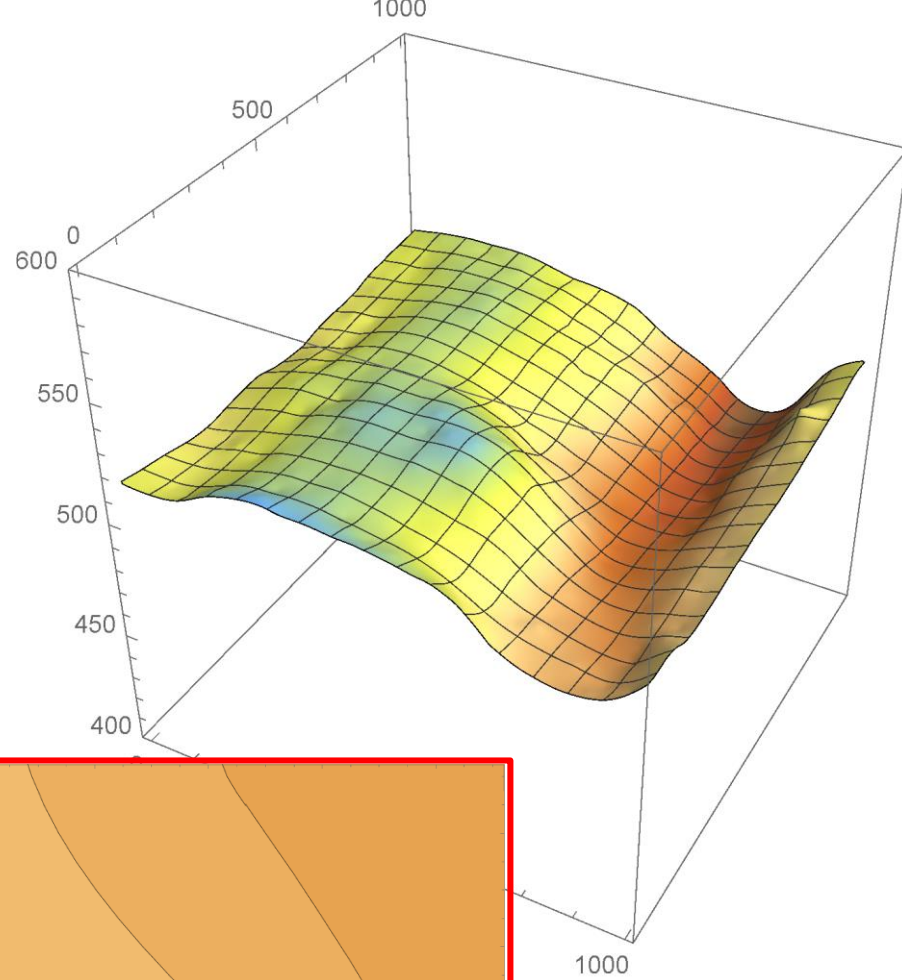
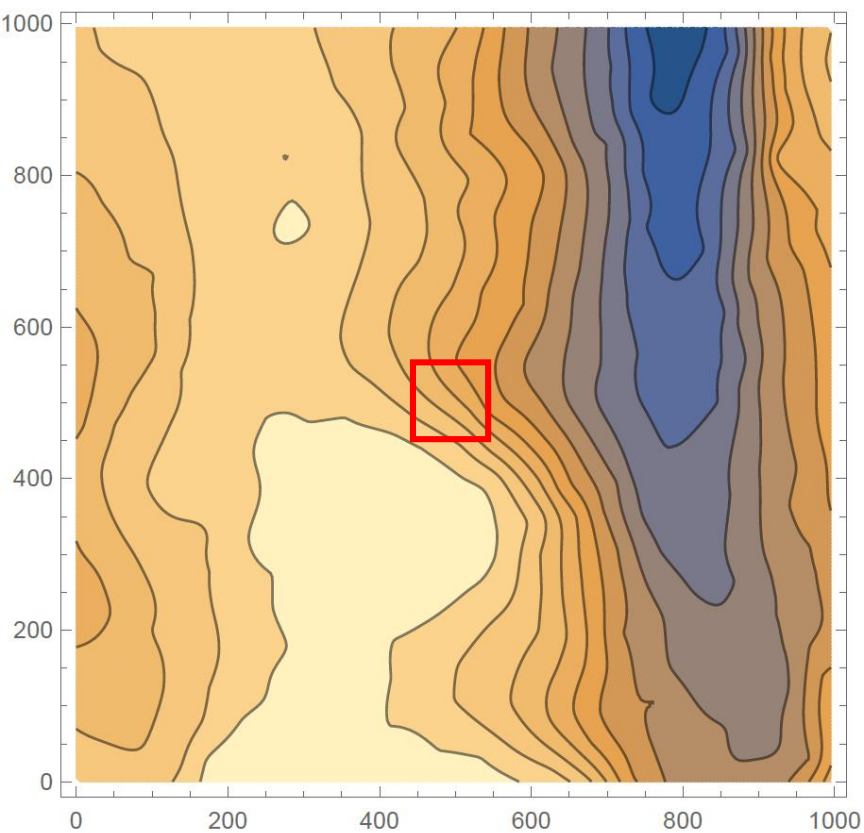
Vstupné údaje do modelu:

- rýchlosť odhorievania $0,88 \text{ m.min}^{-1}$
 - palivo homogénne - 100 cm vysoká tráva
- smer a rýchlosť vetra

• 0:00 – 0:08	235°	300 m.min^{-1}
• 0:08 – 0:23	260°	300 m.min^{-1}
• 0:23 – 1:15	235°	300 m.min^{-1}
• 1:15 – 2:15	235°	240 m.min^{-1}
- model terénu

Simulácia

- model terénu



Priemerná Hausdorfova vzdialenosť

Čas [s]	Priemerná Hausdorfova vzdialenosť [m]	Čas [s]	Priemerná Hausdorfova vzdialenosť [m]
60	0,253740	100	0,513999
65	0,351216	105	0,575606
70	0,430662	110	0,612234
75	0,431102	115	0,617257
80	0,352557	120	0,642133
85	0,340982	125	0,565586
90	0,451086	130	0,569624
95	0,523957	135	0,666523

Priemerná hodnota priemernej Hausdorfovej vzdialenosti = 0,493415

Ďakujem za pozornosť