

**Numerické modelovanie
šírenia lesných požiarov**

Martin Balažovjeh, Ladislav Halada, Karol Mikula,
Filip Pafčo, Mária Petrášová, Jozef Urbán

úvod

Lesné požiare v súčasnosti zanechávajú po sebe veľké materiálne škody a aj straty na ľudských životoch.



Preto sa hľadajú spôsoby,
ako simulovať šírenie lesných požiarov na počítači.

úvod

V súčasnosti už existujú softvéry na simuláciu lesných požiarov



nie každý je dostatočne realistický alebo efektívny

úvod

Hranica požiaru je reprezentovaná uzavretou krivkou

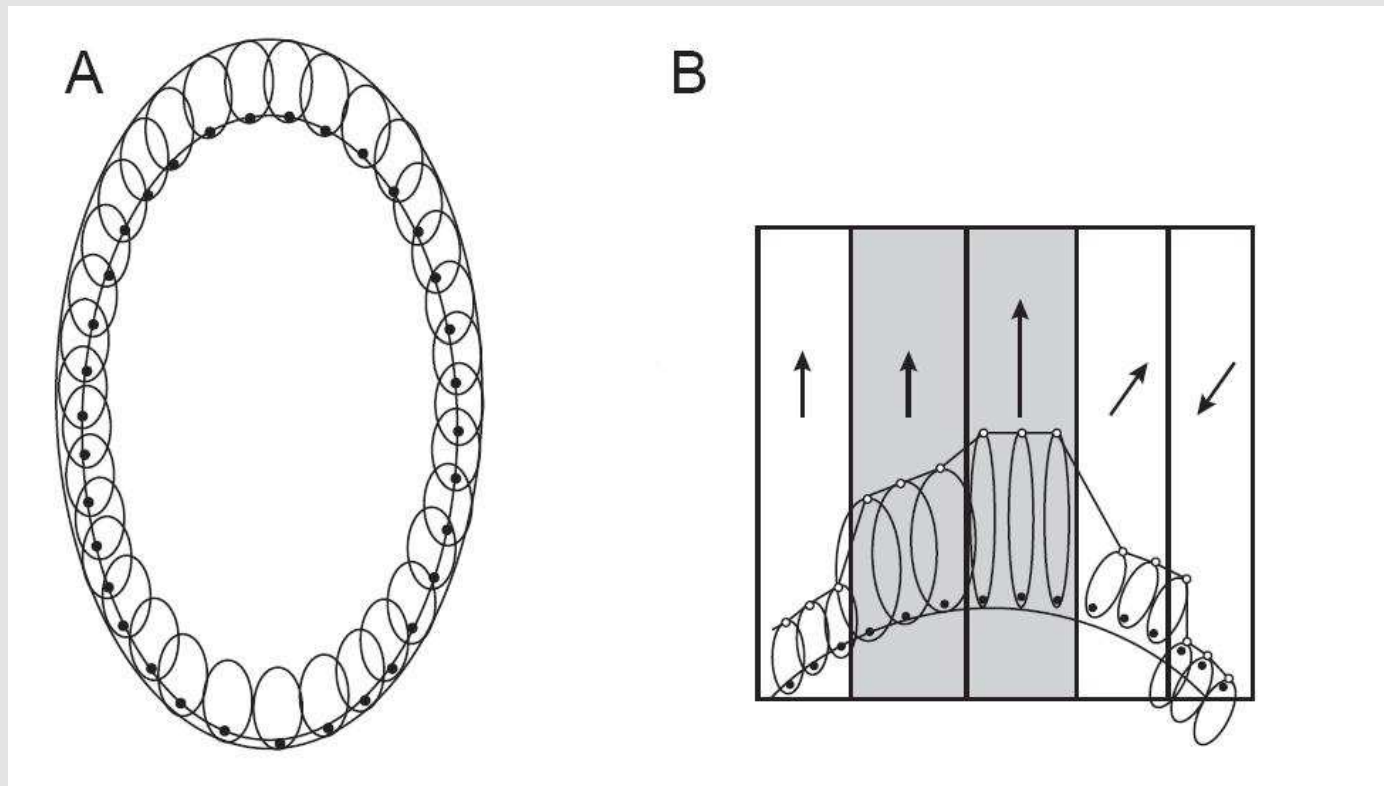


hľadajú sa spôsoby,
ako simulovať jej vývoj v čase

FARSITE (Fire area simulator)

Jedným z najznámejších a najpoužívanějších softvérov vo svete je
FARSITE

Mark A Finney Montana.



Tento softvér v sebe zahŕňa najnovšie modely
šírenia lesných požiarov.

Vývoj krivky - šírenie požiaru sa riadi Huygensovým princípom.

dlhý výpočtový čas

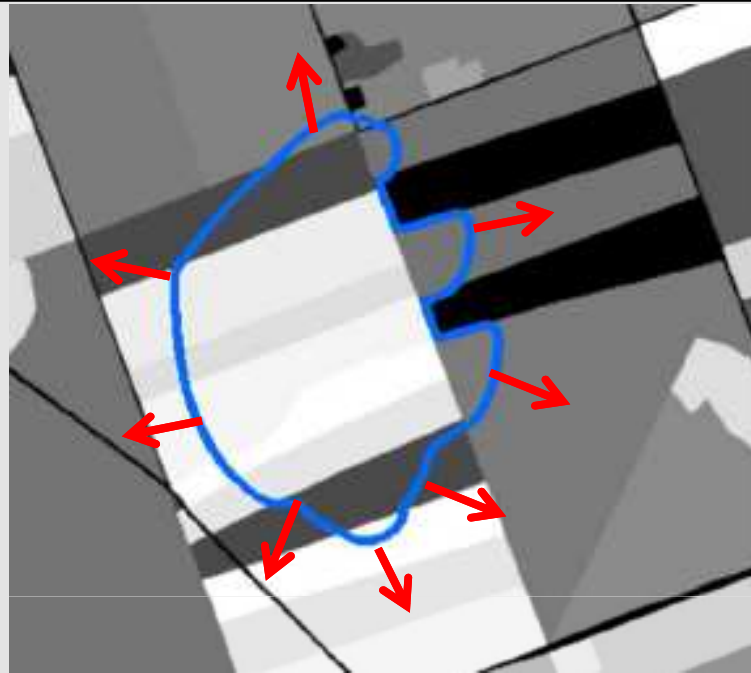
detekcia topologických zmien
(delenie a spájanie kriviek)

Cieľ

vytvoriť nový matematický a numerický model
pre simuláciu šírenia lesných požiarov

odstrániť spomínané nedostatky softvéru FARSITE

Pohybová rovnica pre krivky



$$\partial_t \mathbf{r} = \beta \mathbf{N} + \alpha \mathbf{T}.$$

β - rýchlosť bodov krivky v smere normály

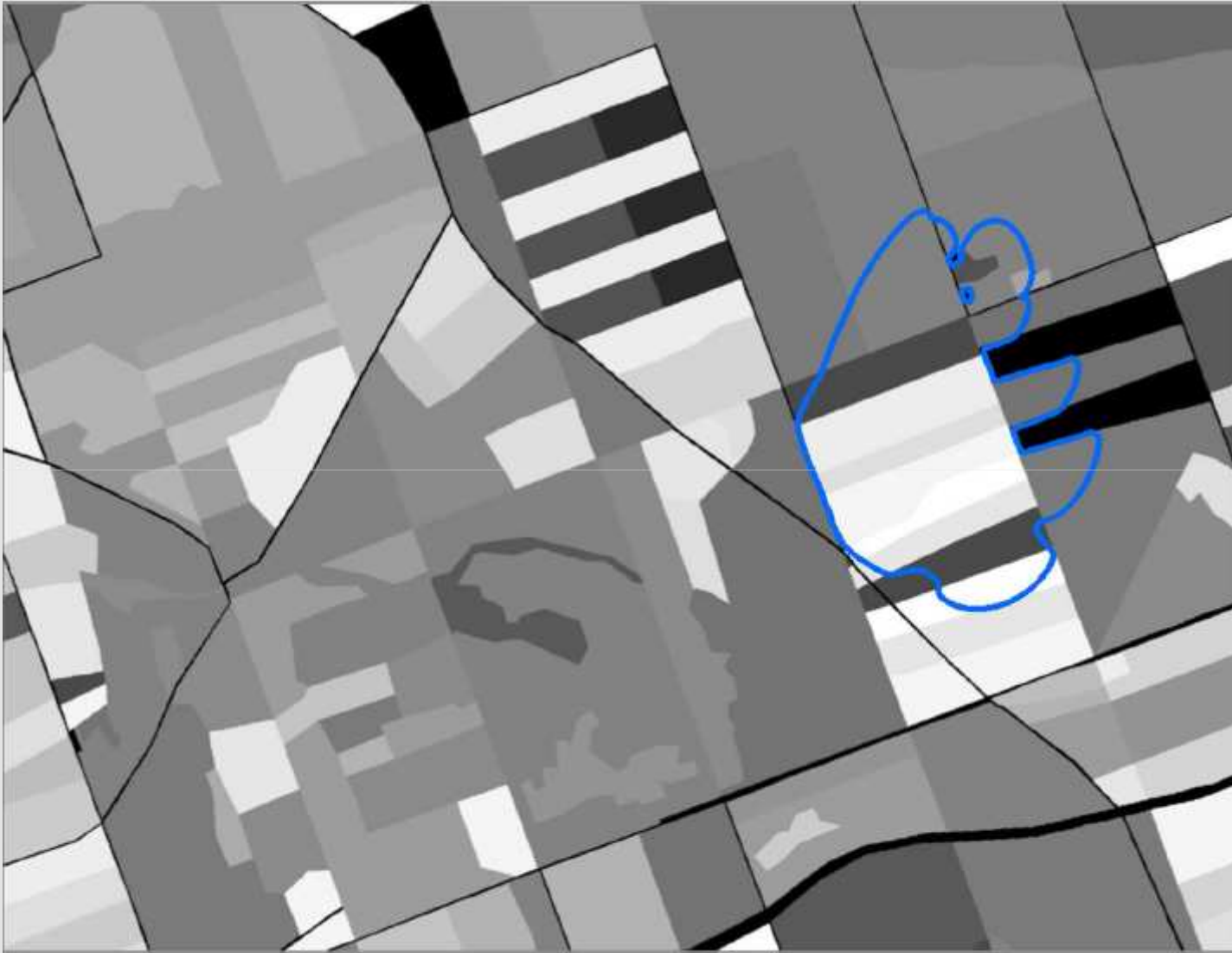
α - tangenciálna rýchlosť bodov

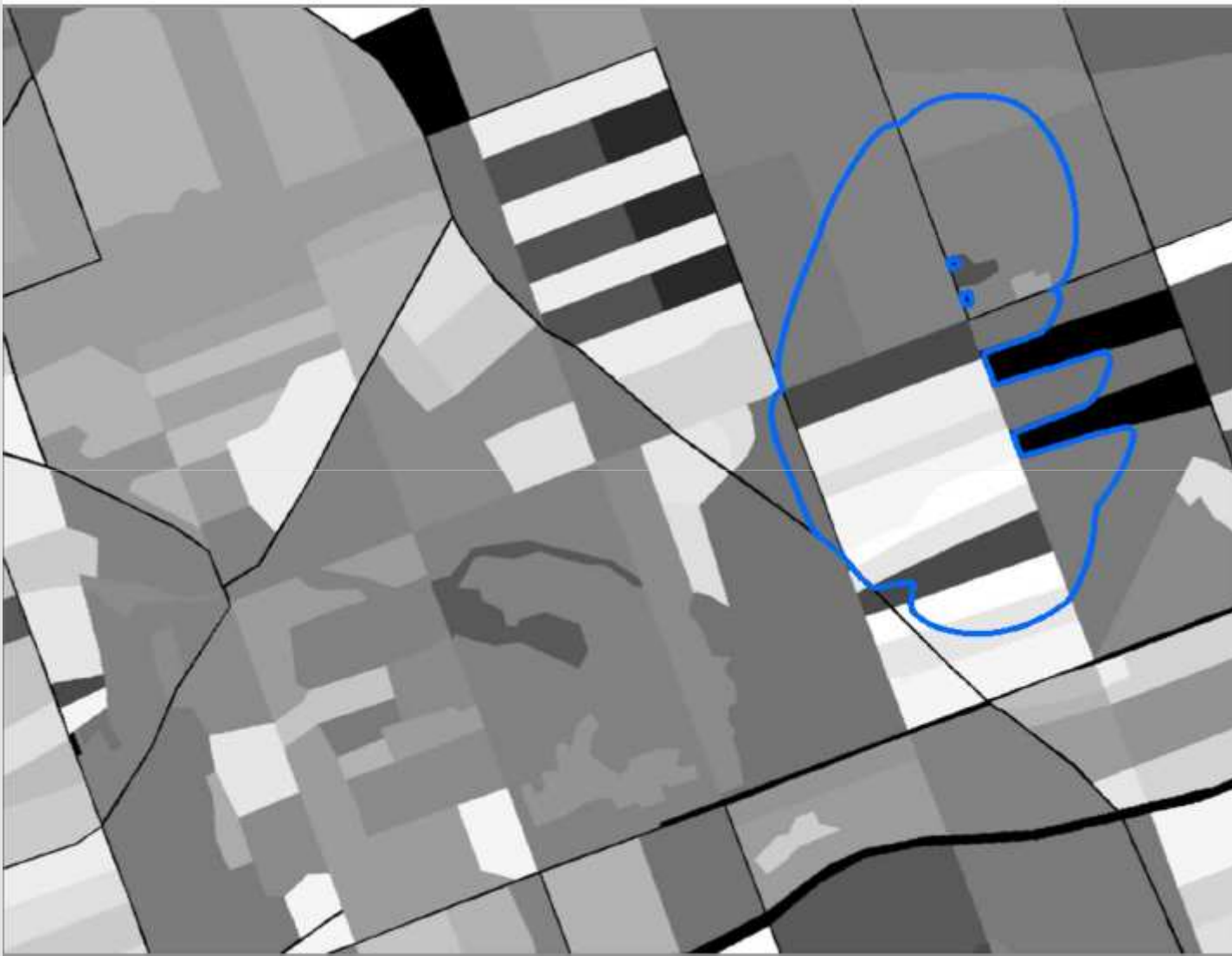


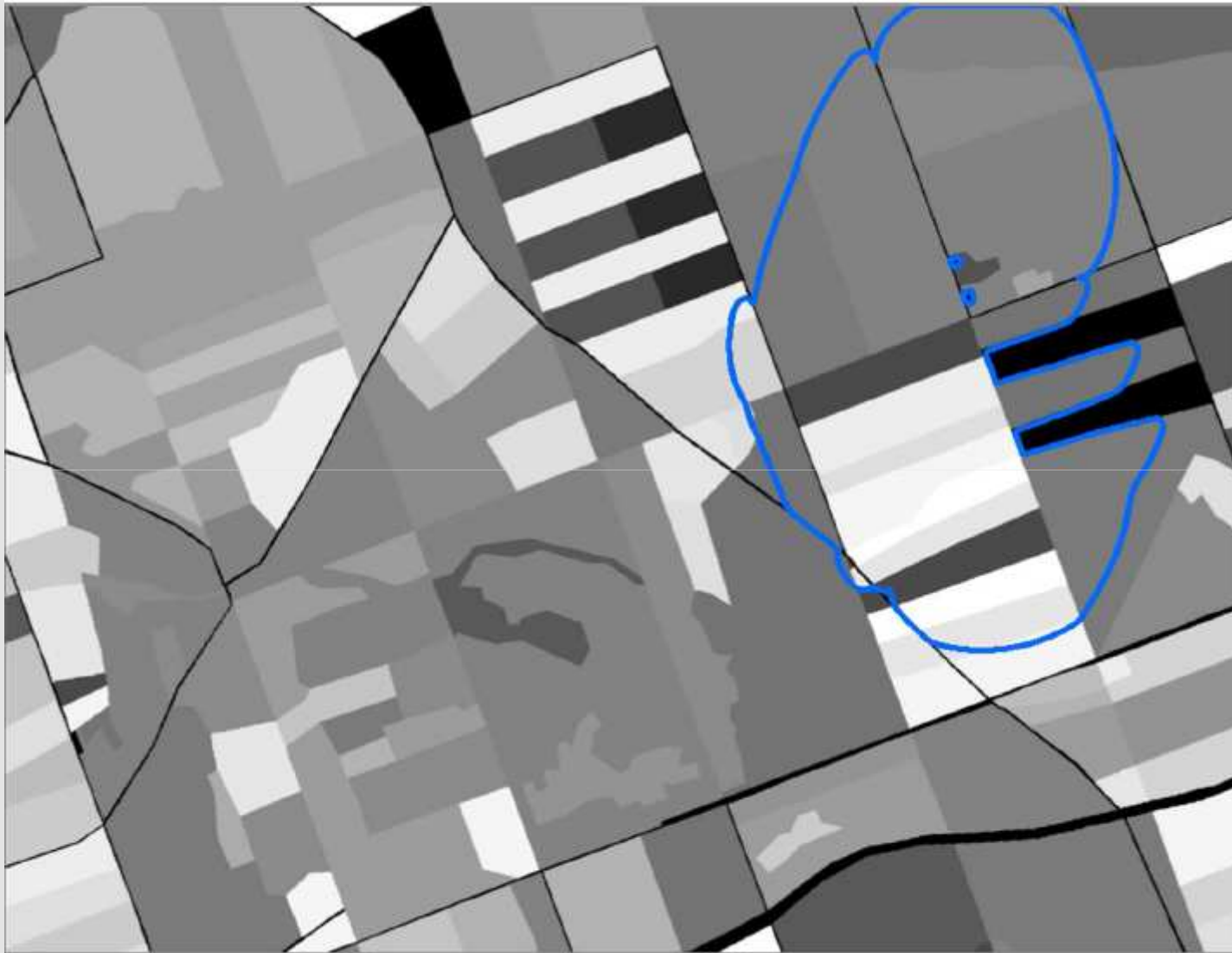
Vojenské lesy a majetky SR, Malacky – real data processing









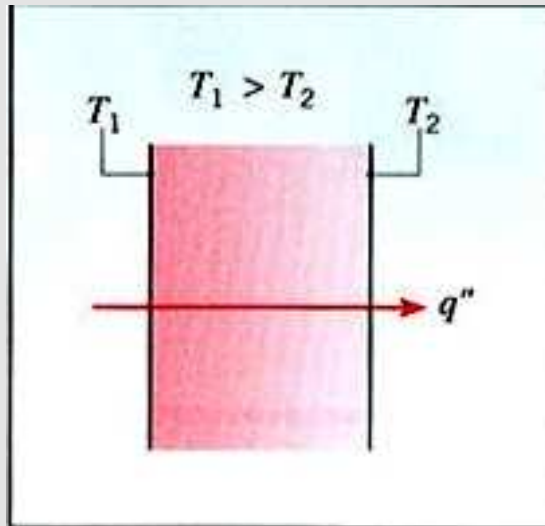


Šírenie požiaru

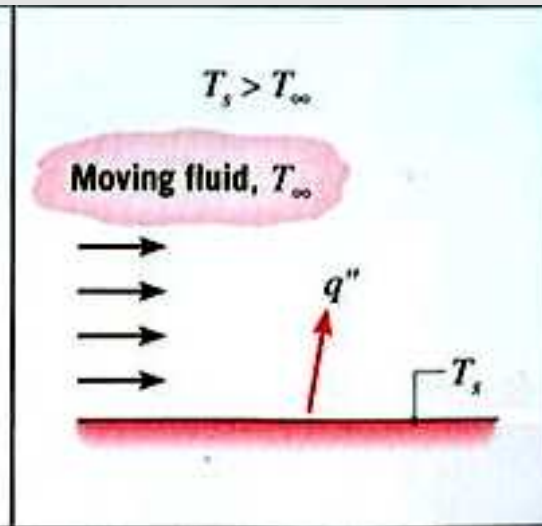
Rýchlosť šírenia požiaru závisí
od horľavosti prostredia
a prenosu tepla

Mechanizmus prenosu tepla:

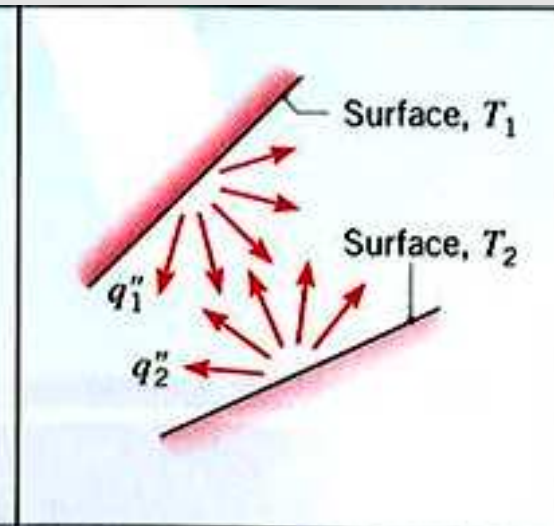
vedením



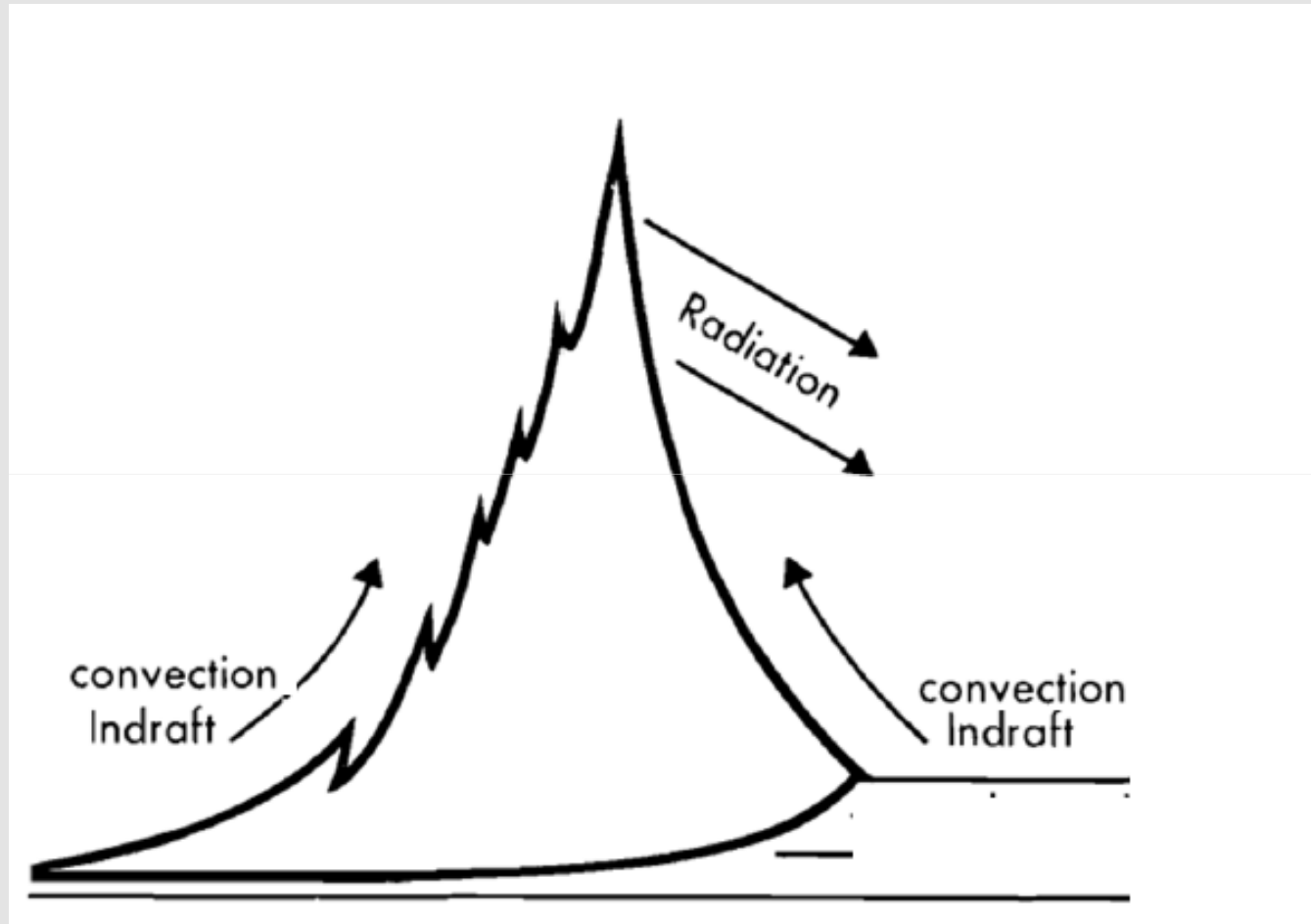
prúdením



žiarením

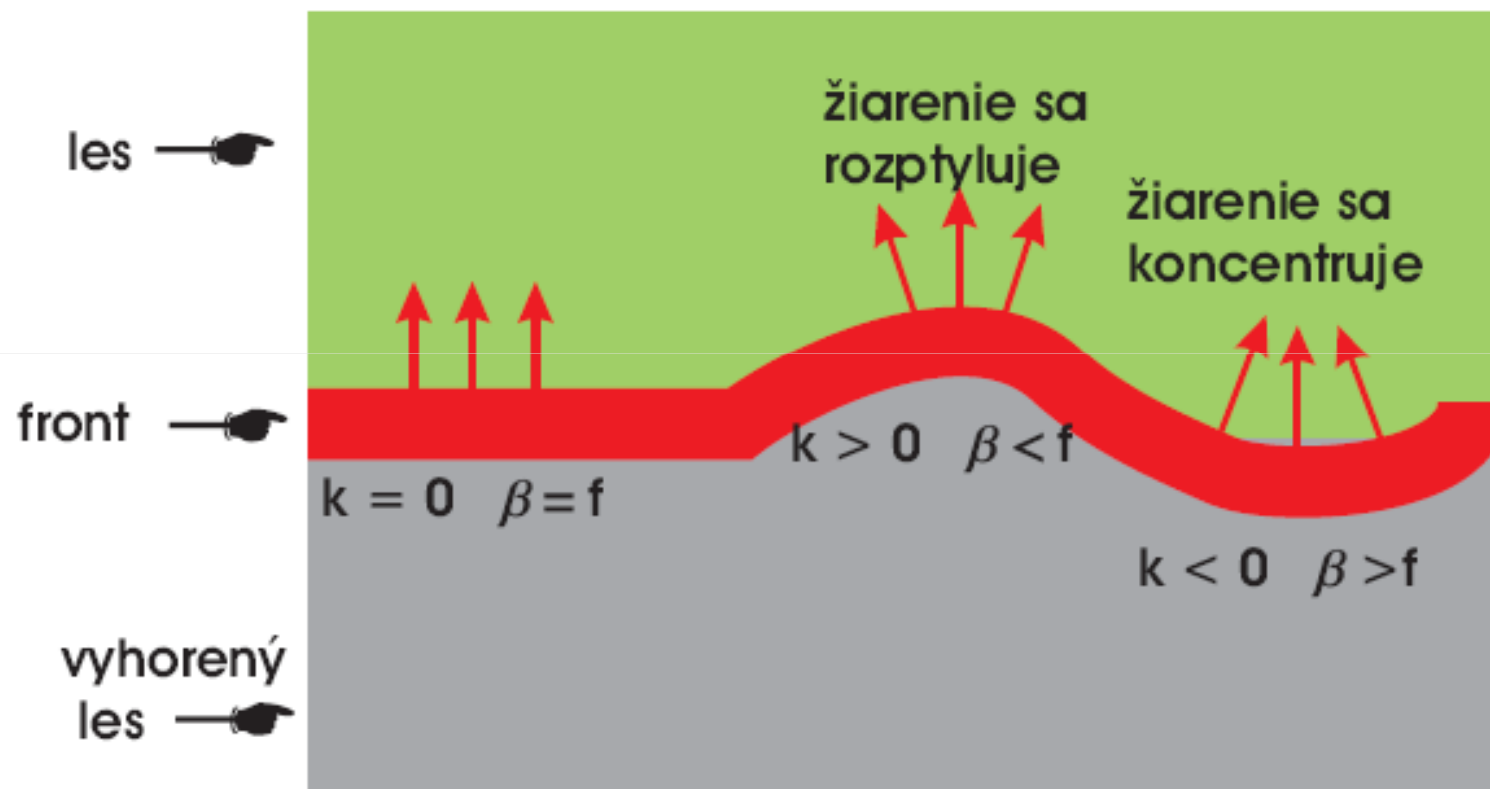


Rýchlosť šírenia požiaru za bezvetria



Vedenie je zanedbateľné dominantné je žiarenie

Vplyv krivosti hranice lesného požiaru na rýchlosť šírenia



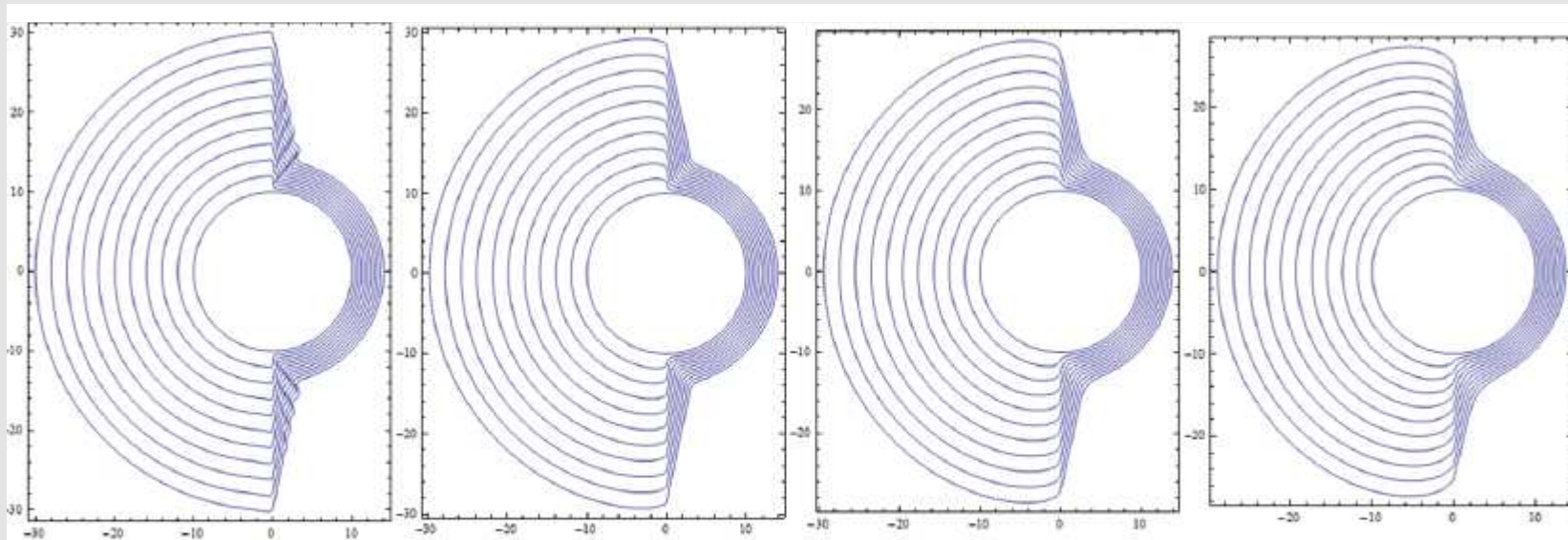
Vplyv krivosti

$$\beta = f - \delta k$$

$$\beta = f - f\delta k = f(1 - \delta k)$$

Ľavá polrovina $f=1$

Pravá polrovina $f=0.2$



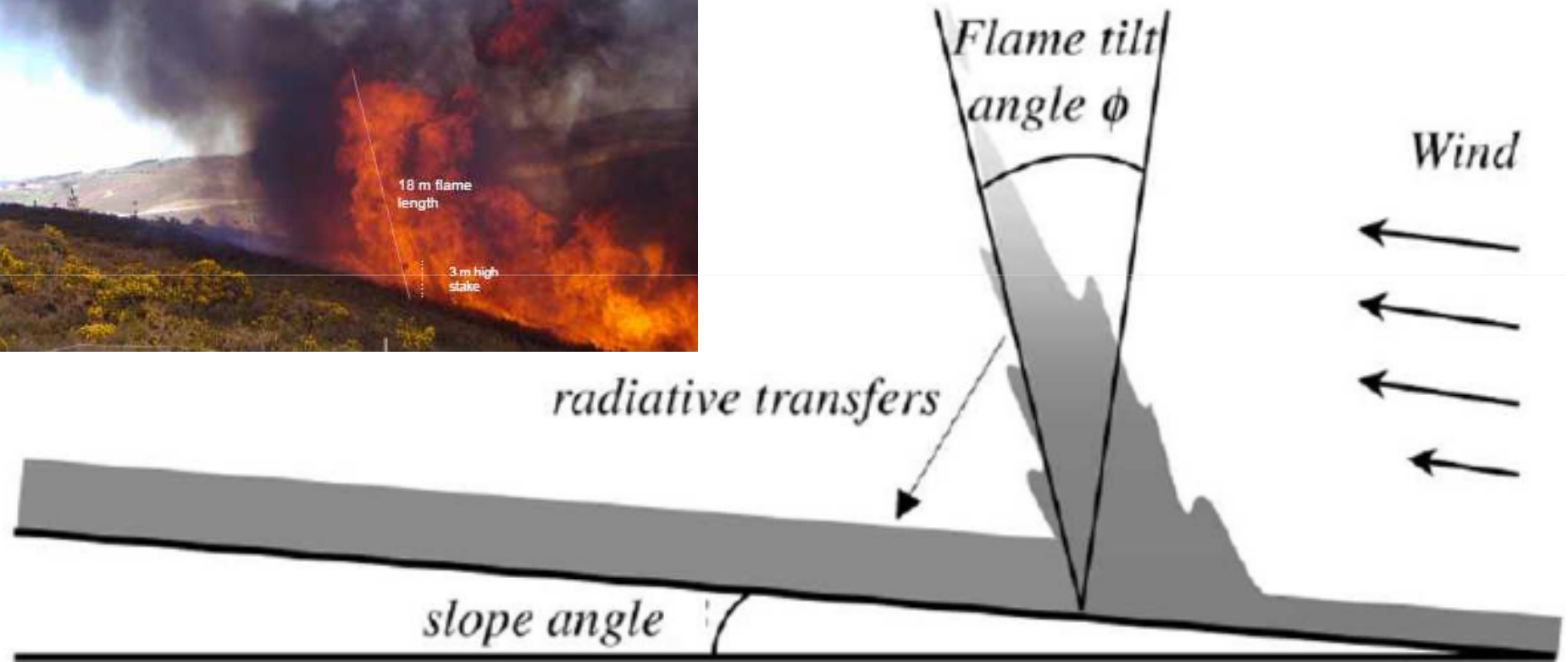
$\delta = 0$

$\delta = 0.25$

$\delta = 0.5$

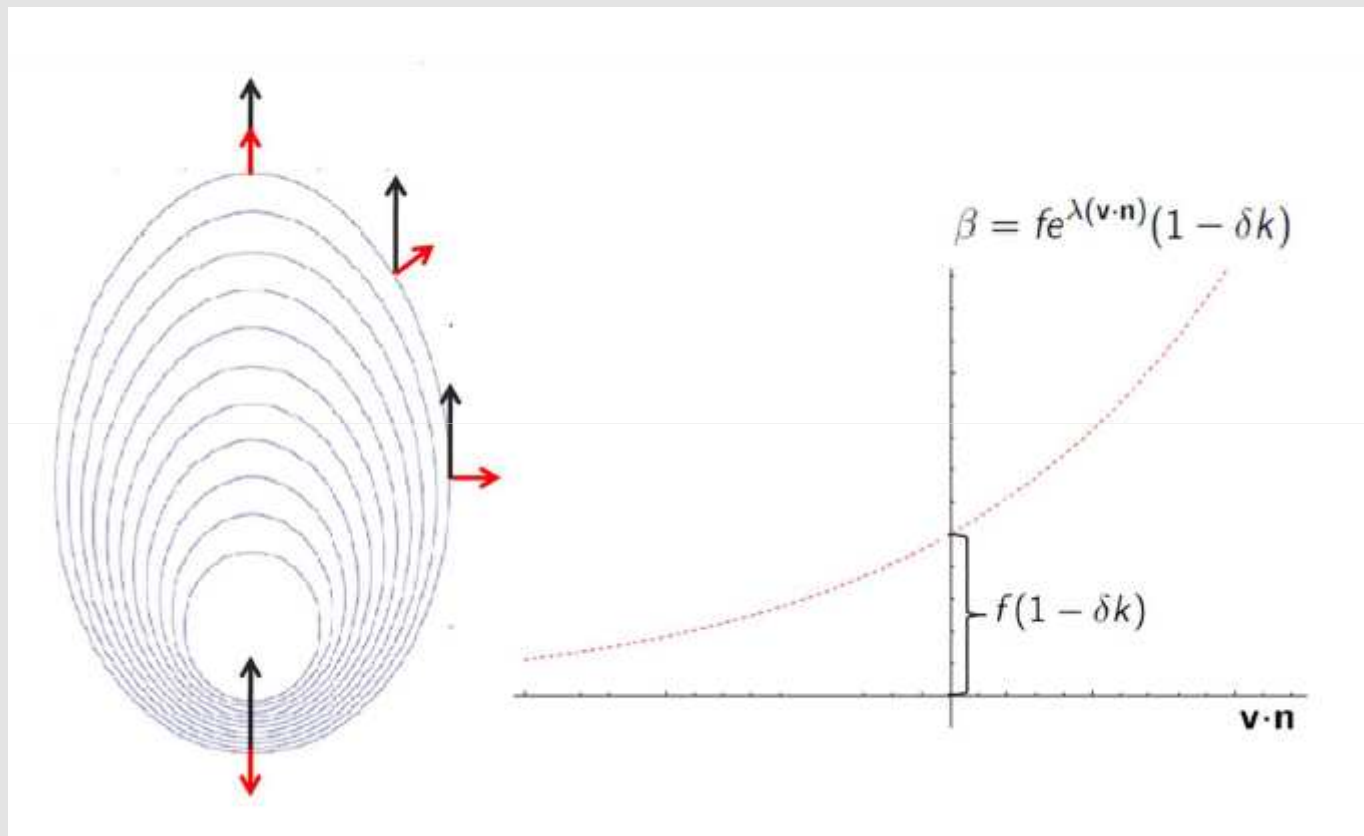
$\delta = 1$

Vplyv vetra a sklonu na rýchlosť šírenia požiaru



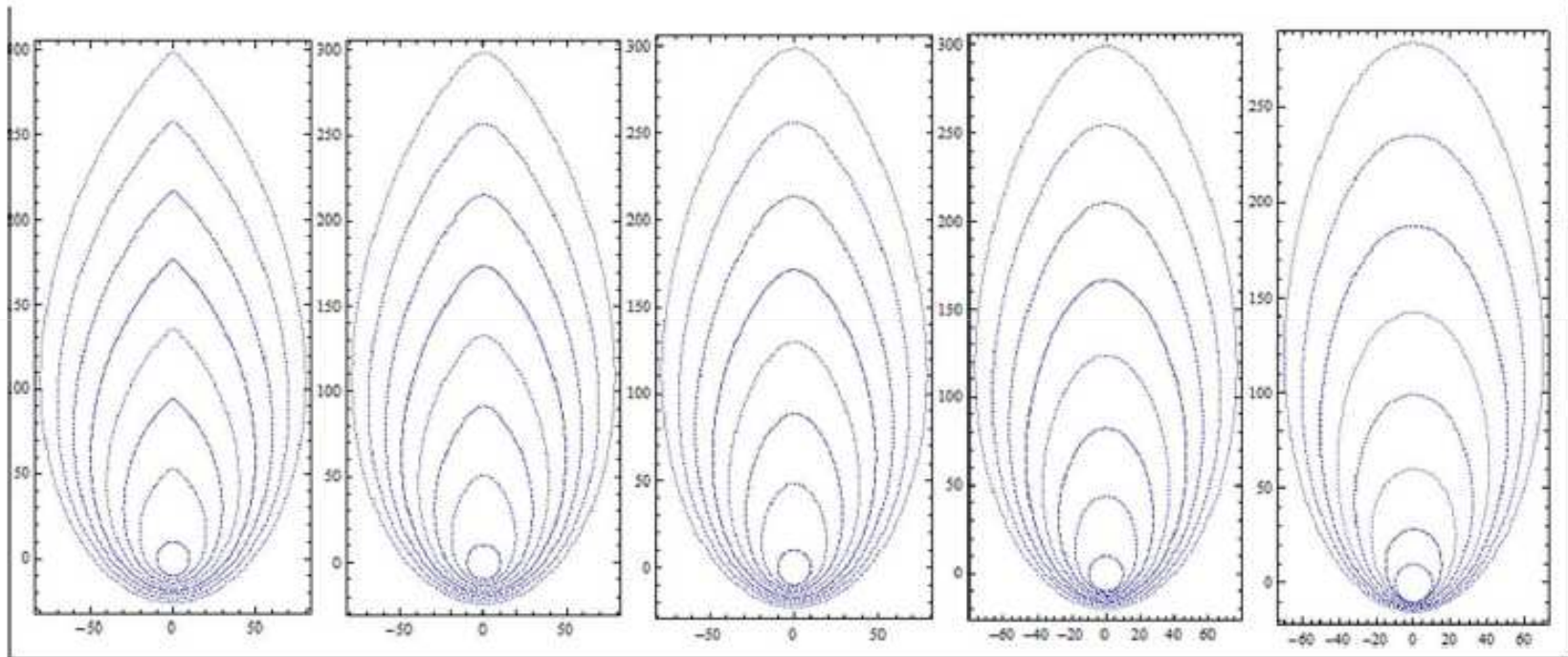
rýchlosť šírenia požiaru závisí od uhla medzi plameňom a terénom

Vplyv vetra na rýchlosť šírenia požiaru



Pre borovicový porast má rýchlosť šírenia požiaru exponenciálnu závislosť od projekcie rýchlosti vetra na normálu

$$\beta = fe^{\lambda(\mathbf{v} \cdot \mathbf{n})}(1 - \delta k)$$



$$\lambda = 1$$

$$\delta = 0.001$$

$$\lambda = 1.04$$

$$\delta = 1$$

$$\lambda = 1.08$$

$$\delta = 2$$

$$\lambda = 1.16$$

$$\delta = 4$$

$$\lambda = 1.39$$

$$\delta = 8$$

Pohybová rovnica pre jednu krivku

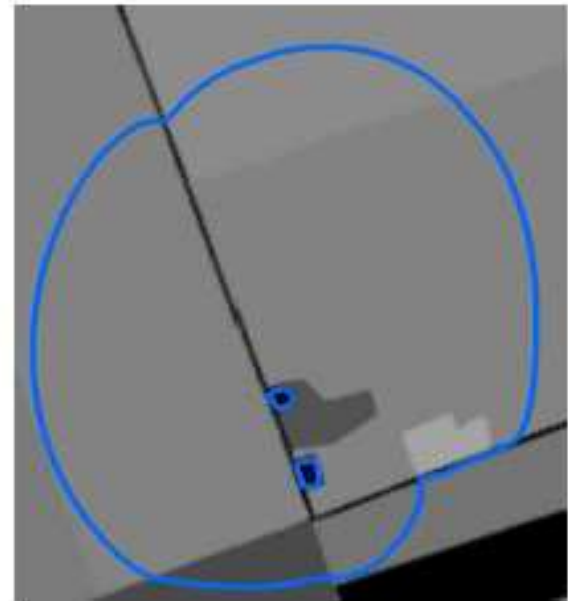
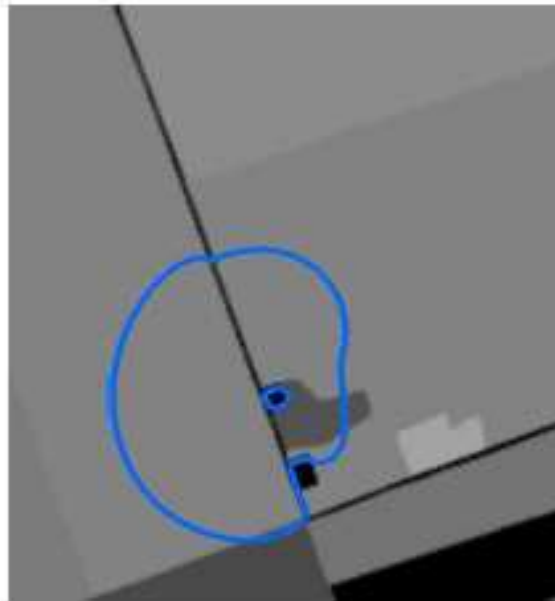
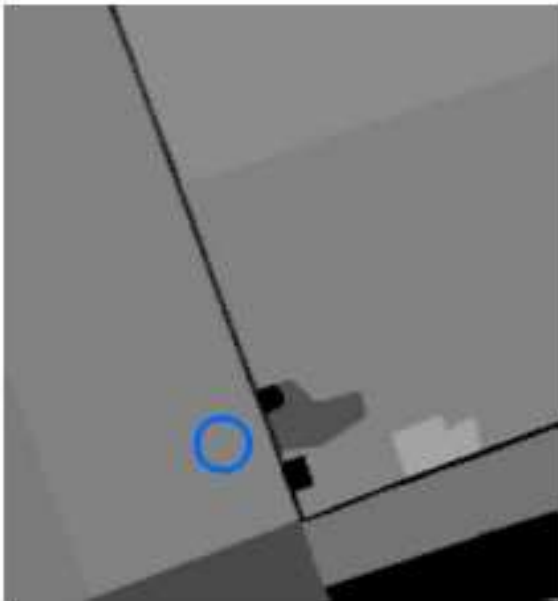
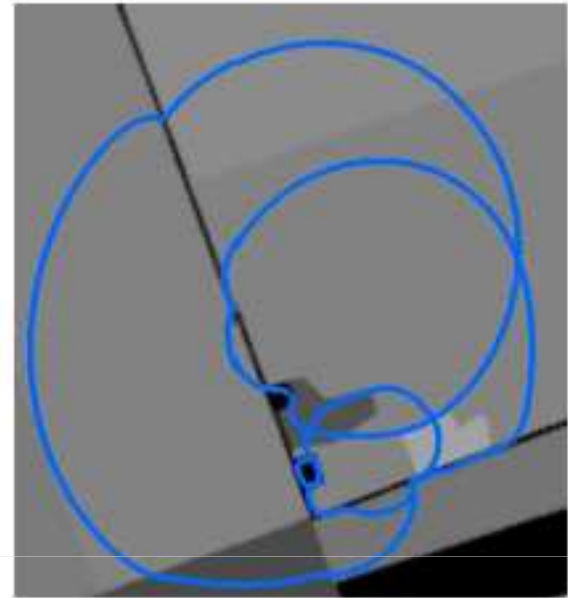
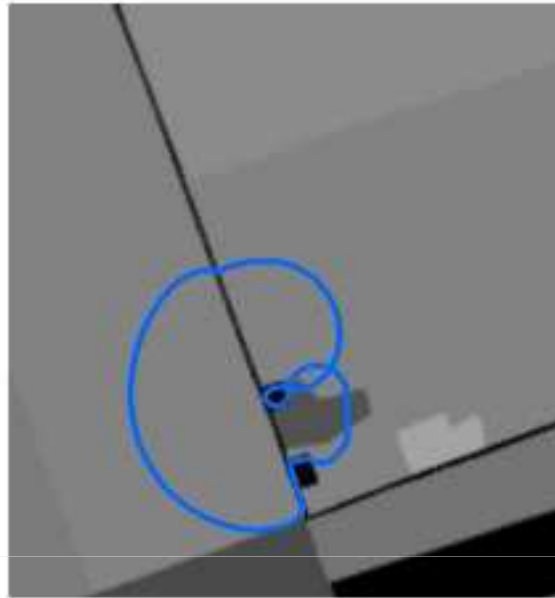
$$\partial_t \mathbf{r} = \beta \mathbf{N} + \alpha \mathbf{T}$$

$$\beta = fe^{\lambda(\mathbf{v} \cdot \mathbf{n})}(1 - \delta k)$$

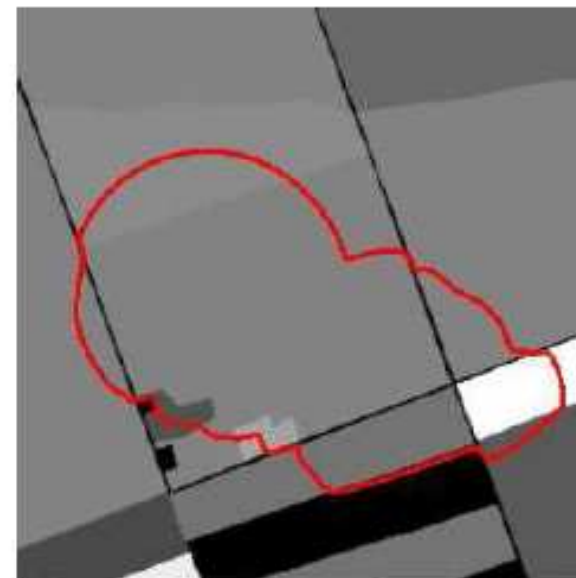
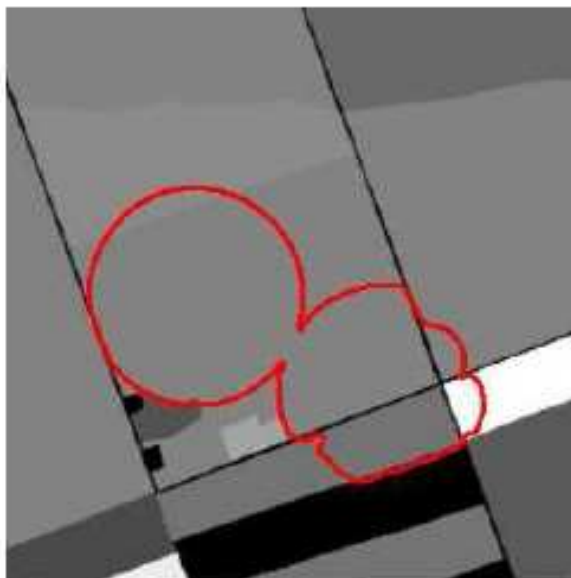
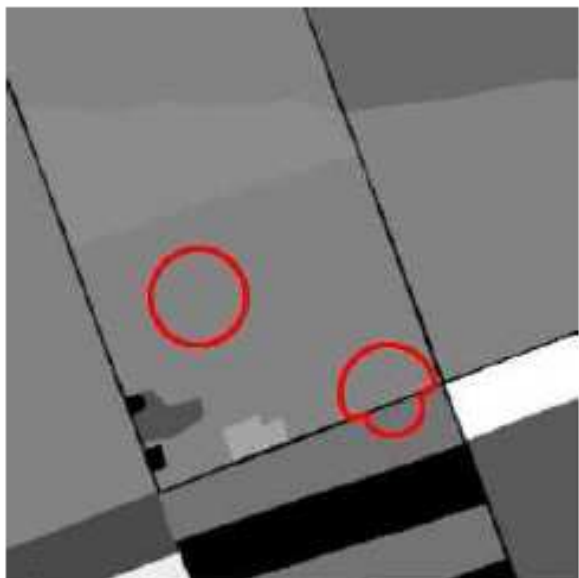
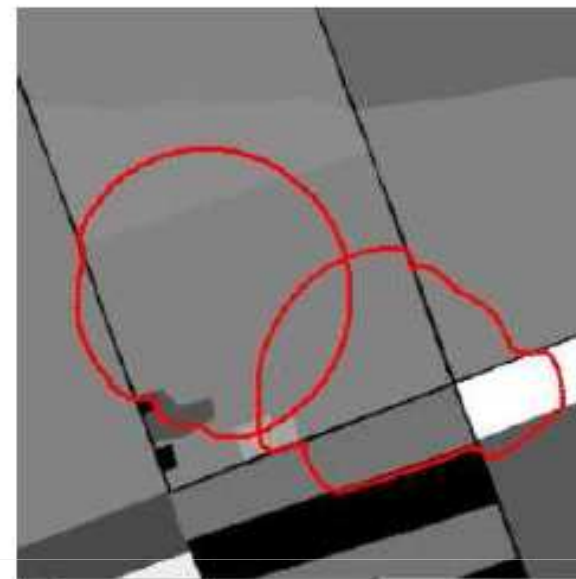
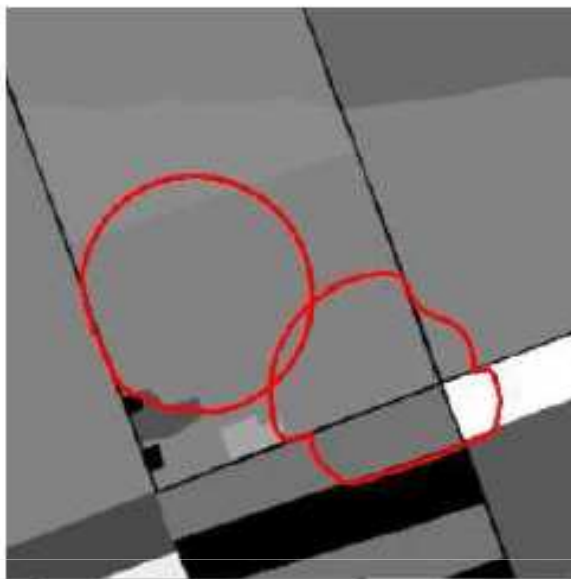
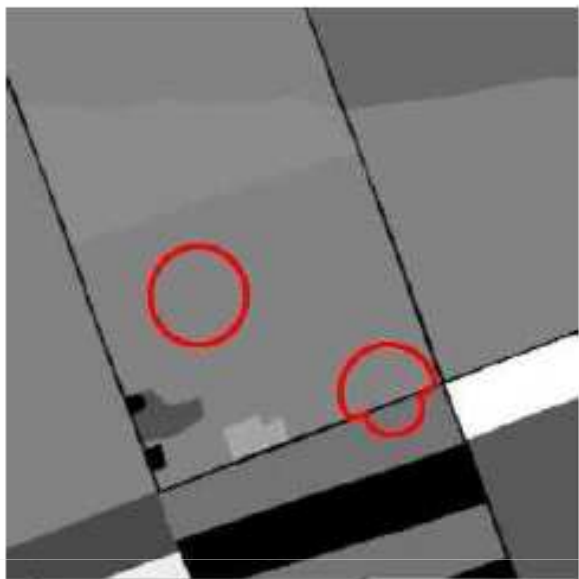
$$\mathbf{T} = \mathbf{r}_s, \quad \mathbf{N} = \mathbf{r}_s^\perp \quad k\mathbf{N} = \mathbf{T}_s = (\mathbf{r}_s)_s = \mathbf{r}_{ss}$$

$$\partial_t \mathbf{r} = -\delta fe^{\lambda(\mathbf{v} \cdot \mathbf{n})} \partial_{ss} \mathbf{r} + \alpha \partial_s \mathbf{r} + e^{\lambda(\mathbf{v} \cdot \mathbf{n})} f (\partial_s \mathbf{r})^\perp$$

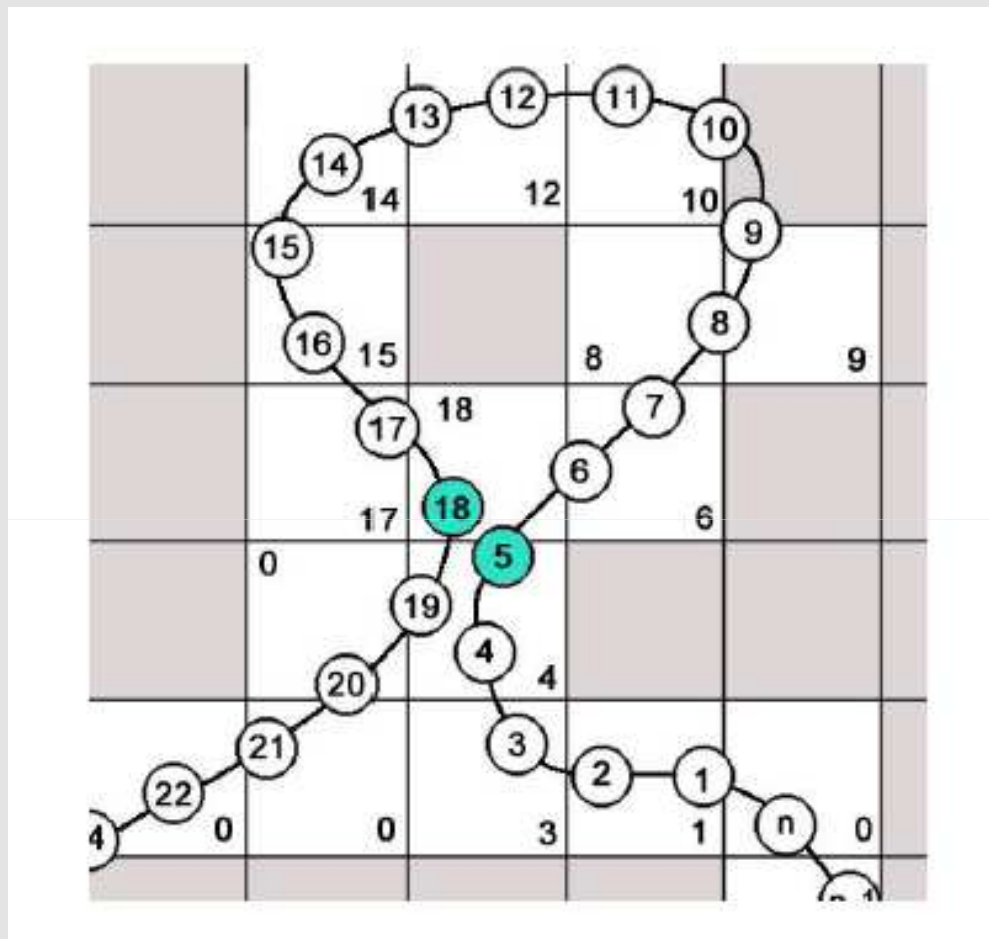
Delenie kriviek



Spájanie kriviek

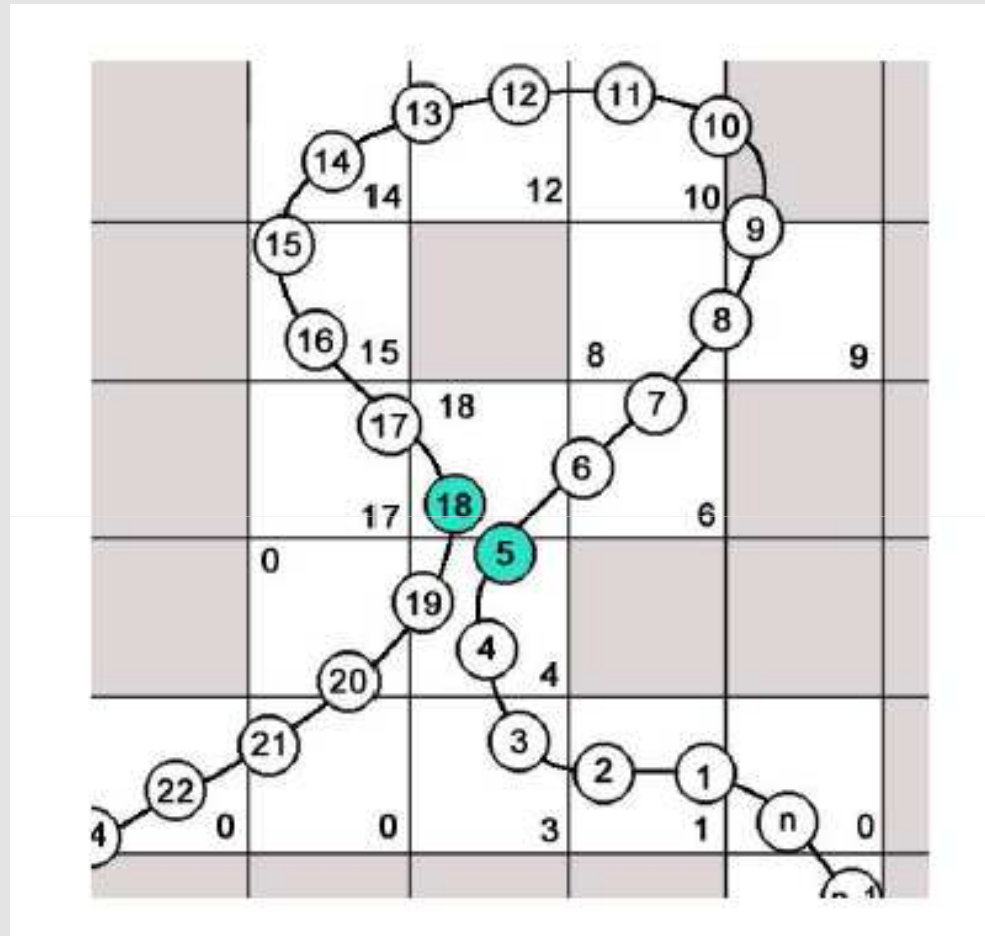


Topologické zmeny štandardný algoritmus



Počítajú sa vzdialenosti všetkých bodov navzájom

Topologické zmeny nový algoritmus



ak má nastať topologická zmena
tak krivka pretne už vytvorený pás pixelov

Topologické zmeny porovnanie

Intel Core 2 Duo CPU 1.66 GHz, 2 GB RAM

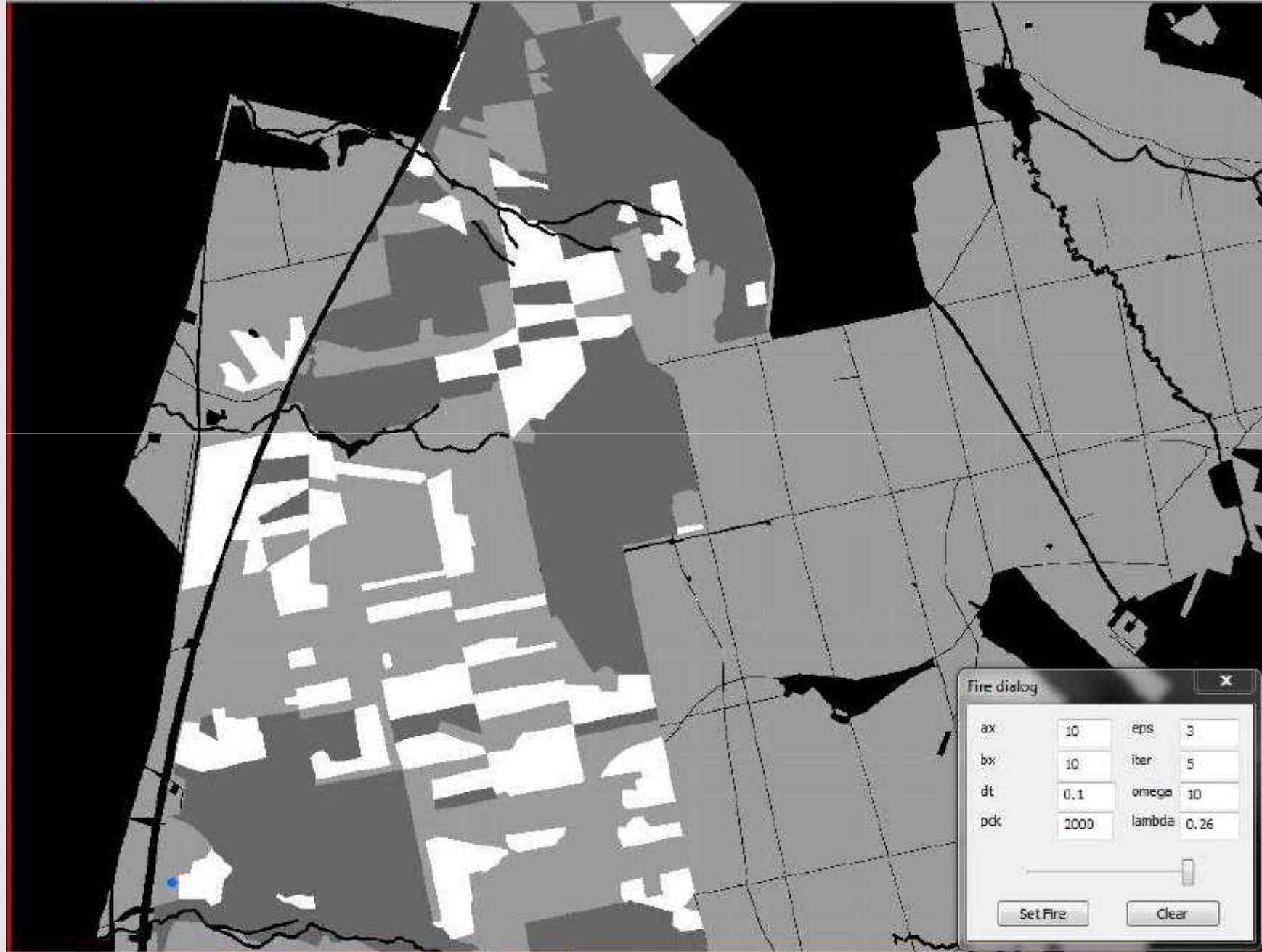
10000 time steps of front evolution (from 200 to 1000 grid points)

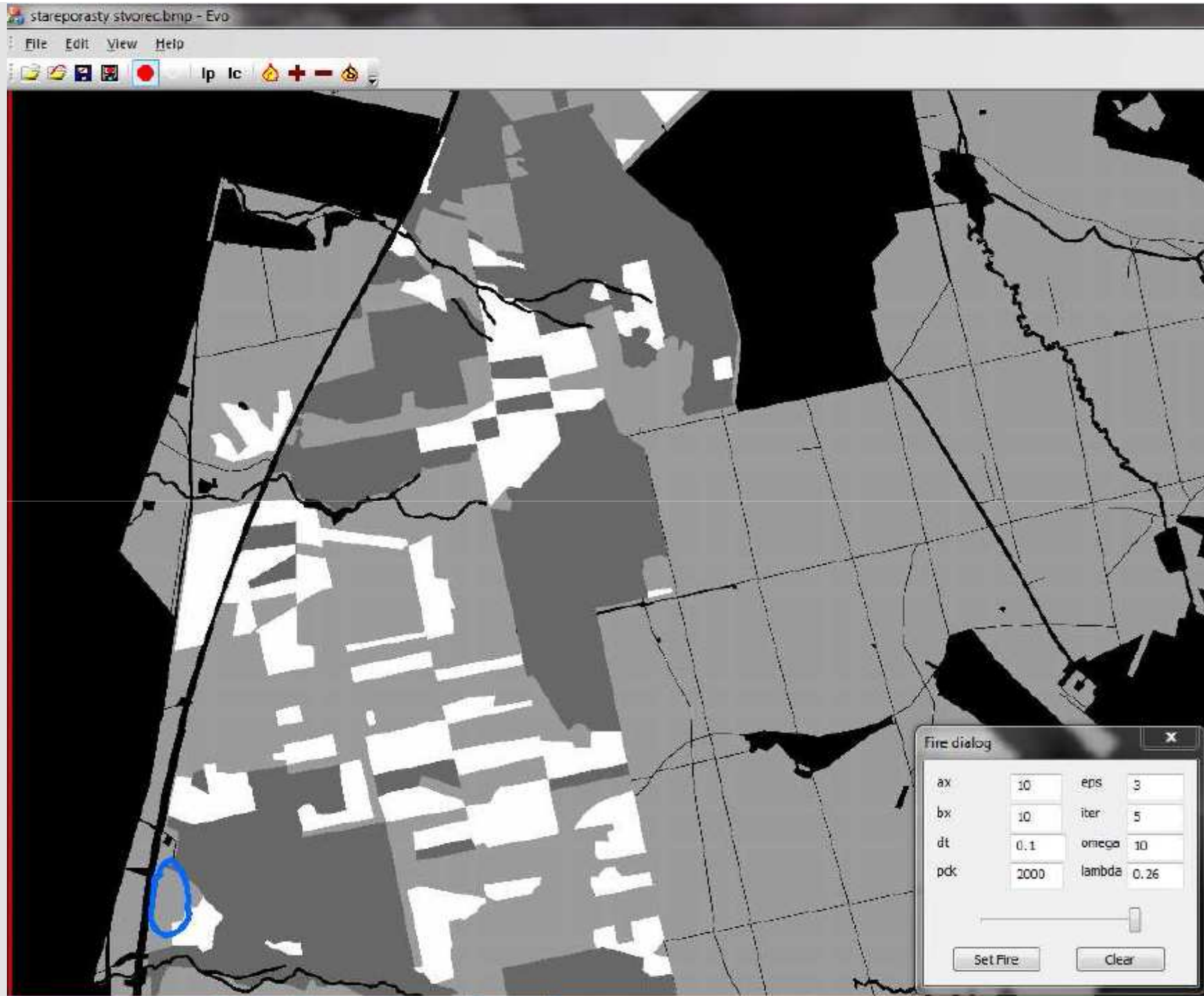
- **standard approach** - 709.89 sec CPU
detection of topological changes - 669.16 sec
- **new approach** - 44.85 sec of CPU
detection of topological - 3.381 sec

stareporasty stvorec.bmp - Evo

File Edit View Help

lp lc 🔥 + - 🔥

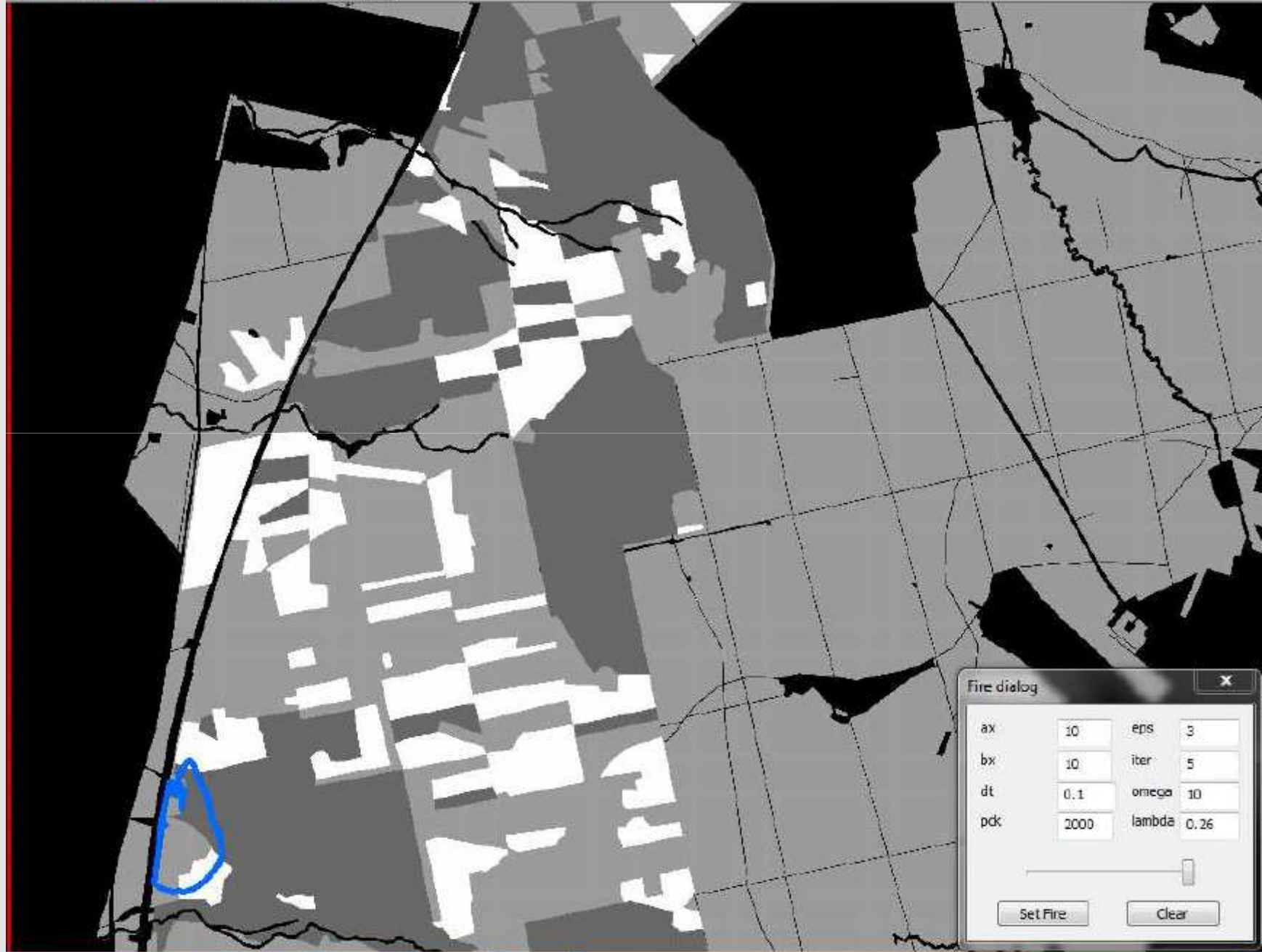




stareporasty stvorec.bmp - Evo

File Edit View Help

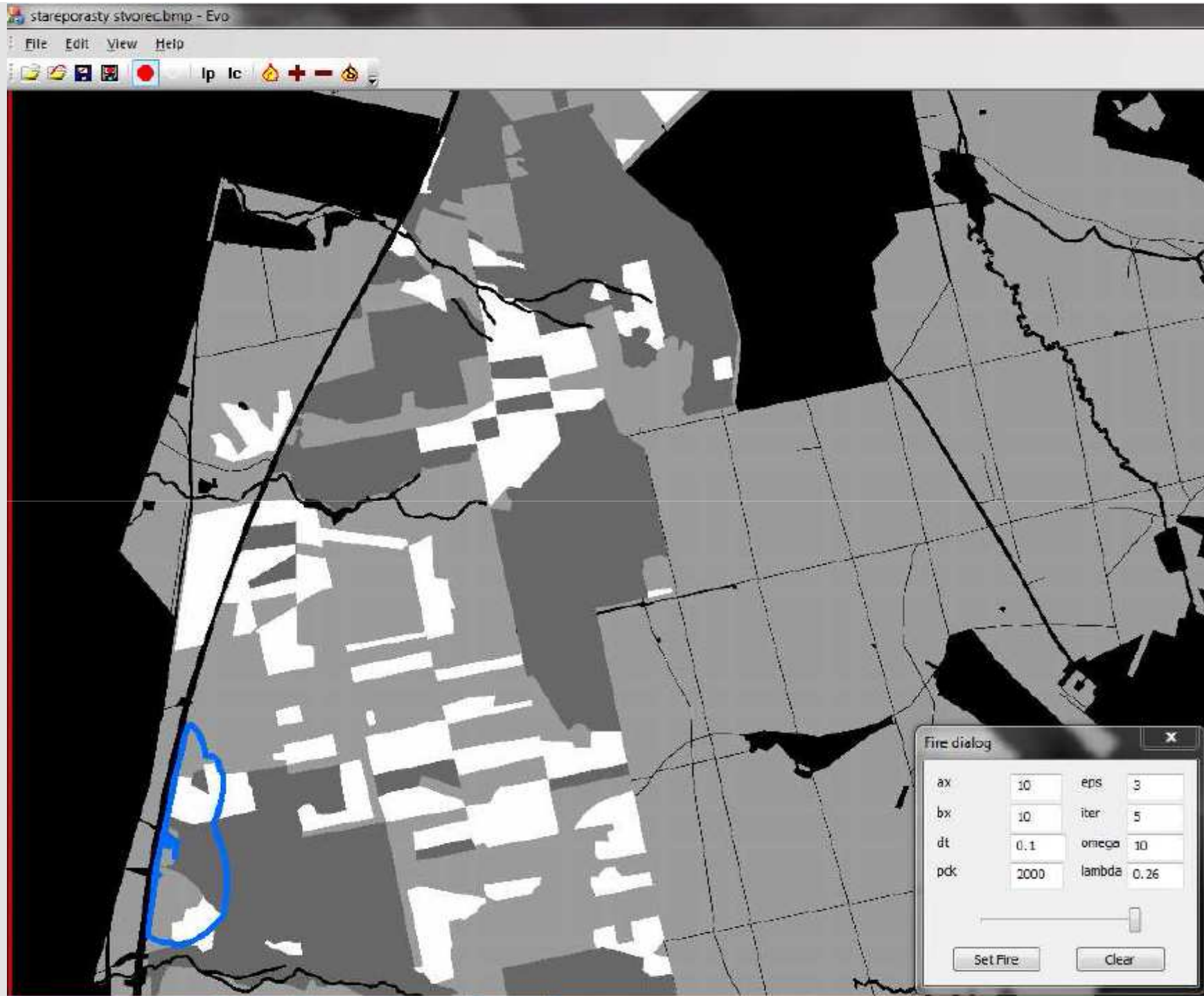
lp lc 🔥 + - 🔥

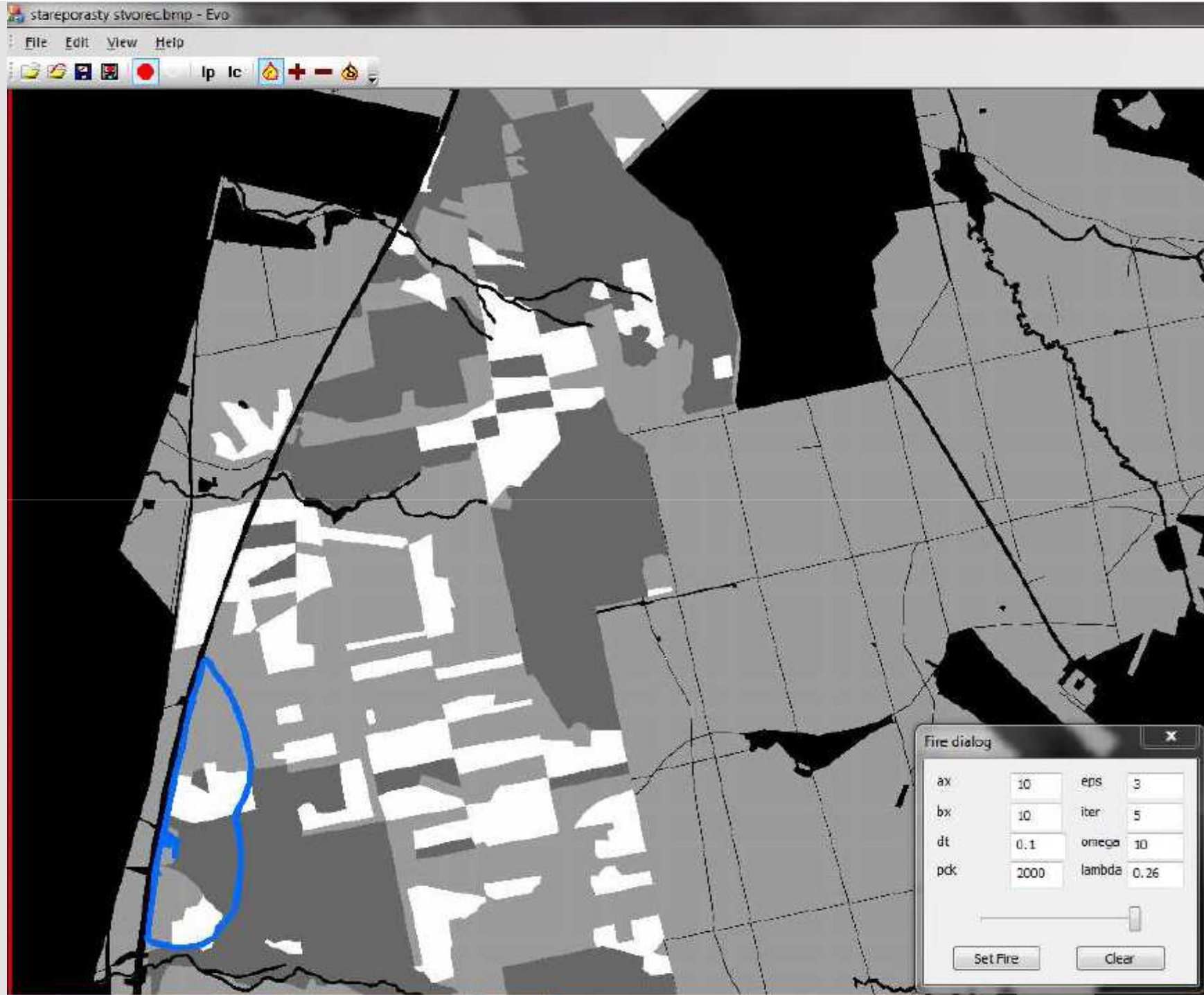


Fire dialog

ax	10	eps	3
bx	10	iter	5
dt	0.1	omega	10
pck	2000	lambda	0.26

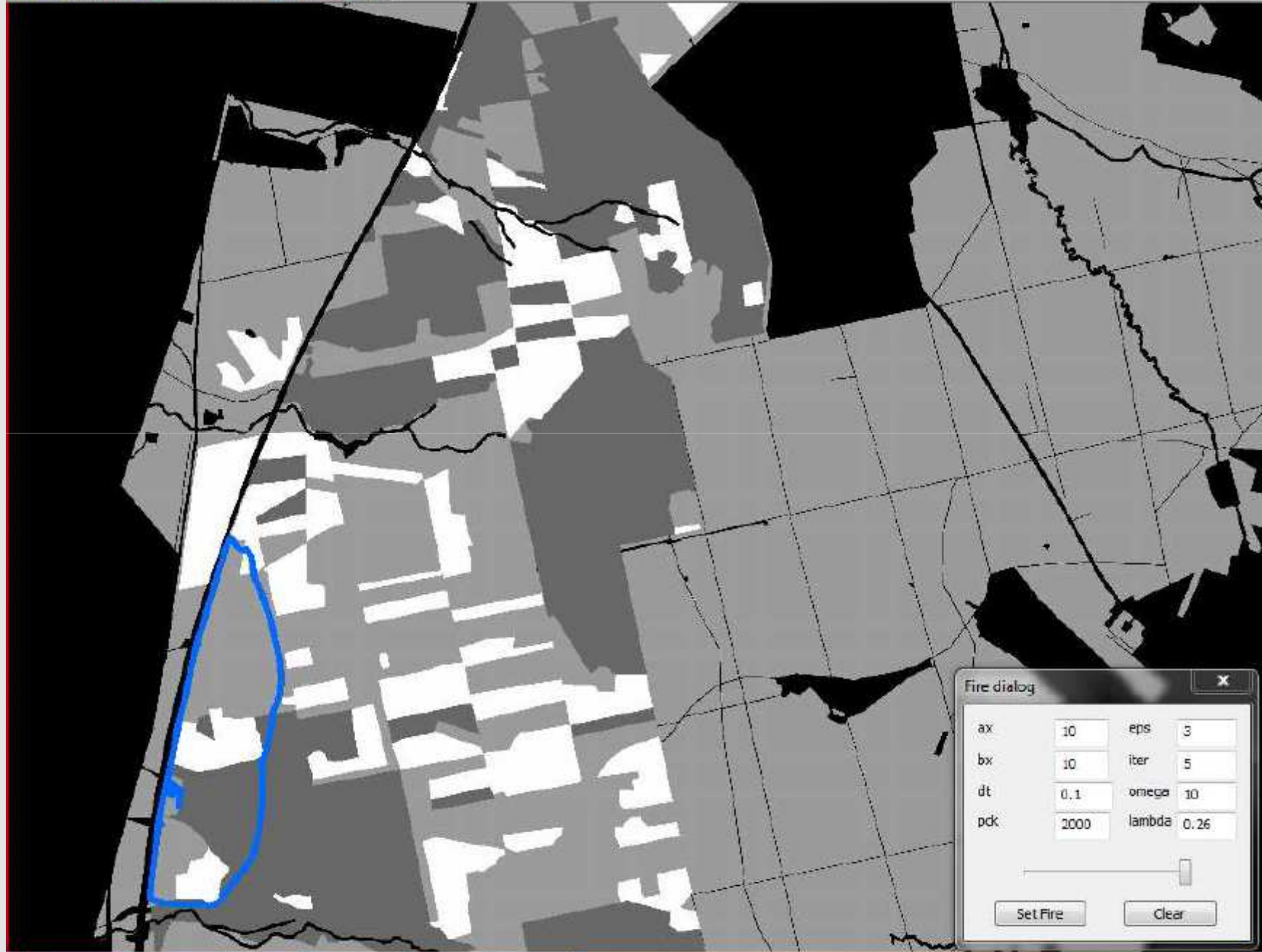
Set Fire Clear





stareporasty stvorec.bmp - Evo

File Edit View Help



Fire dialog

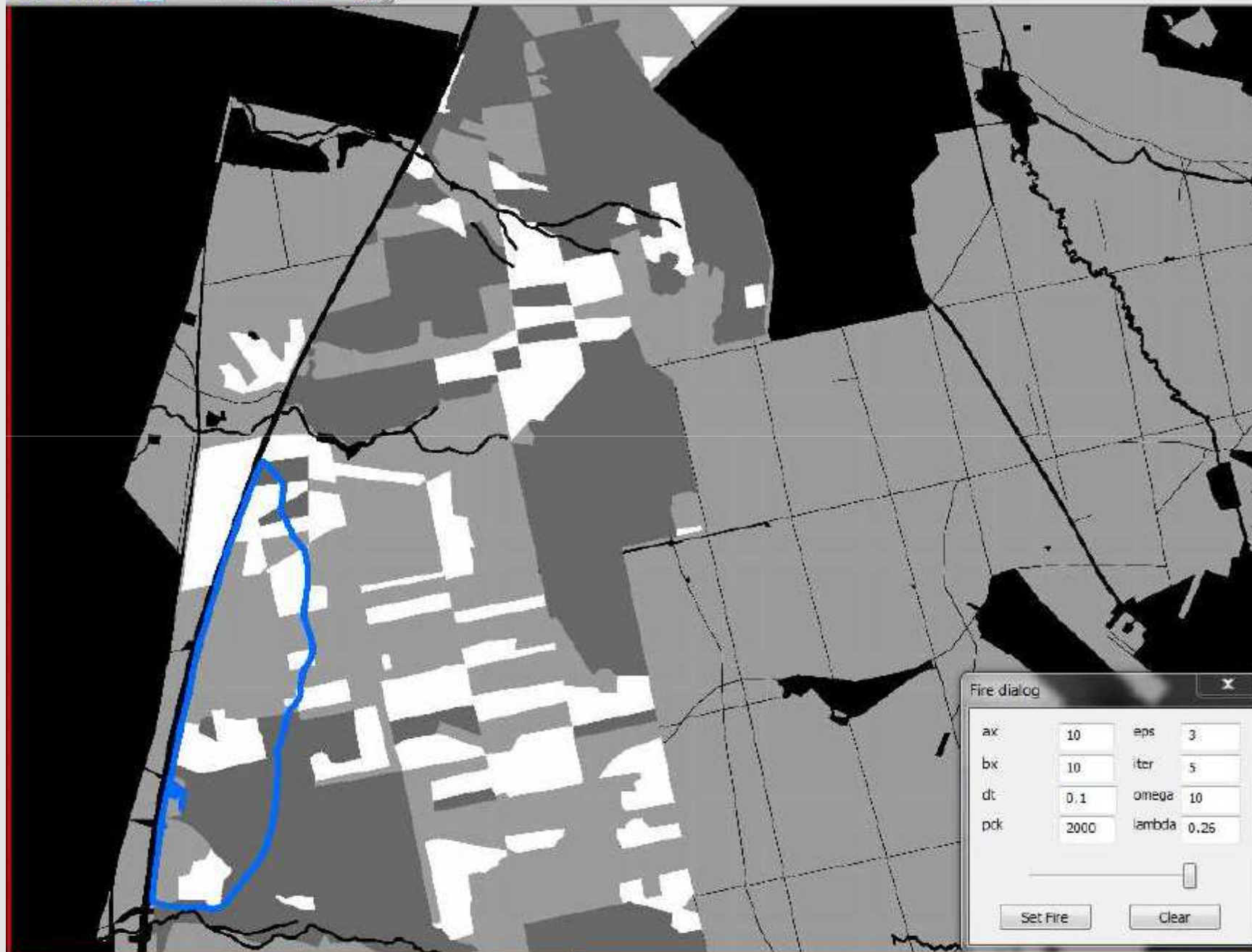
ax	10	eps	3
bx	10	iter	5
dt	0.1	omega	10
pck	2000	lambda	0.26

Set Fire

Clear

stareporasty.stvorec.bmp - Evo

File Edit View Help

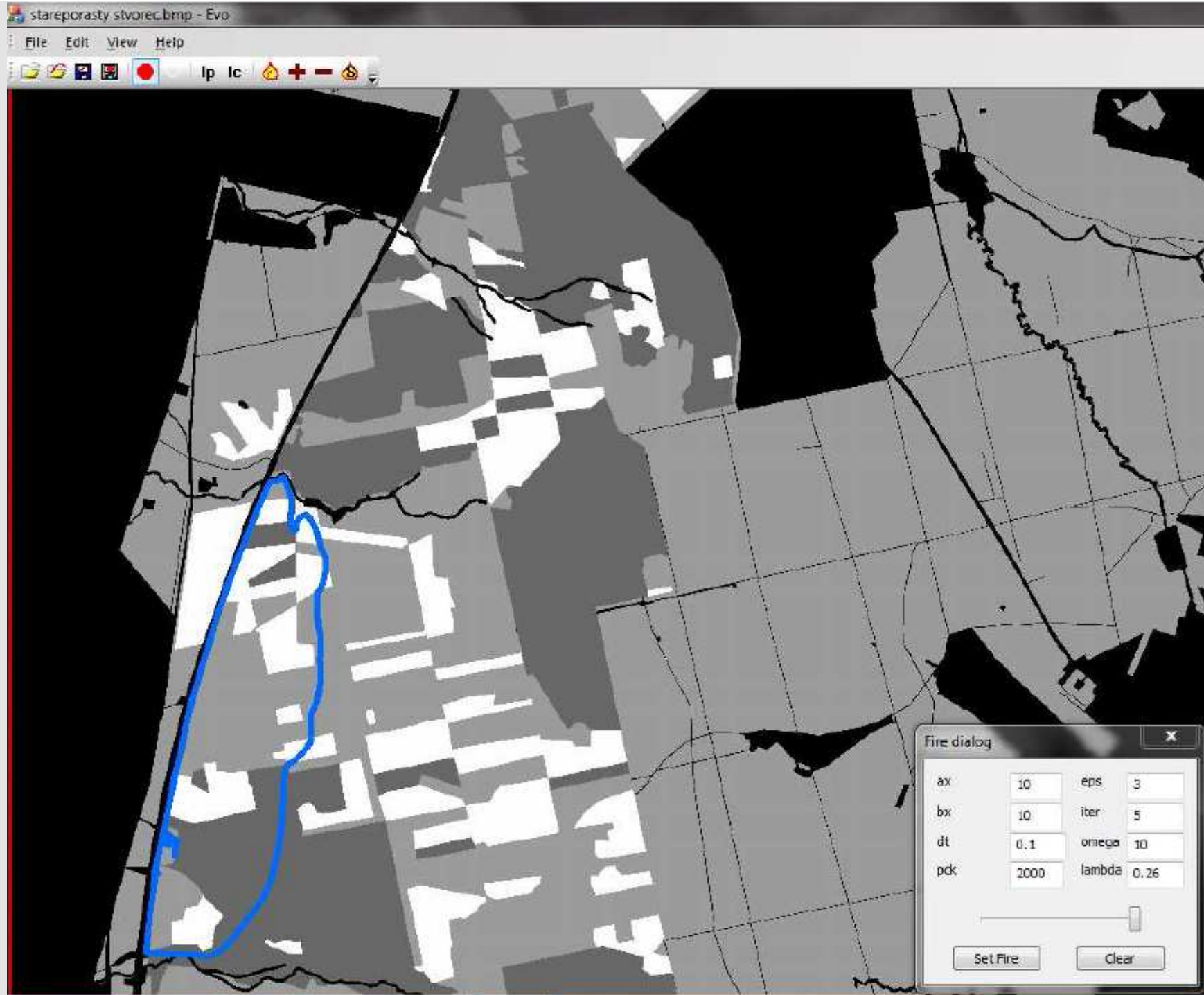


Fire dialog

ax	10	eps	3
bx	10	iter	5
dt	0.1	omega	10
pck	2000	lambda	0.25

Set Fire

Clear



stareporasty.stvorec.bmp - Evo

File Edit View Help

lp lc 🔥 + - 🔥



Fire dialog

ax	10	eps	3
bx	10	iter	5
dt	0.1	omega	10
pck	50	lambda	0.26

Set Fire Clear



Ďakujem za pozornosť

Numerické riešenie

$$\partial_t \mathbf{r} = \delta f e^{\lambda(\mathbf{v} \cdot \mathbf{n})} \partial_{ss} \mathbf{r} + \alpha \partial_s \mathbf{r} + e^{\lambda(\mathbf{v} \cdot \mathbf{n})} f (\partial_s \mathbf{r})^\perp$$

M. Balažovjeh, K. Mikula, A higher order scheme for a tangentially stabilized plane curve shortening flow with a driving force, SIAM Journal on Scientific Computing 2011, Volume 33, Issue 5, pp. 2277-2294

K. Mikula, M. Ohlberger, Inflow-Implicit/Outflow-Explicit Scheme for Solving Advection Equations, in Proceedings of the Sixth International Conference on Finite Volumes in Complex Applications, Prague, June 6-10, 2011, Springer, 2011