

Využitie GIS pri simulácii lesných požiarov¹

Ladislav Halada, Peter Weisenpacher

Ústav informatiky SAV, Dúbravská cesta 9, 845 07 Bratislava

Abstract

This presentation briefly summarizes some problems and achievements of forest fire spread simulation research with emphasis on input data, required in GIS format. Physical principles of some widely used forest fire models are described and the necessity of the physical parameters characterizing the fuel is then substantiated. Rothermel's equation express steady-state fire spread rate for surface fuel as a function of particle size, bulk density and rate of fuel consumption. Taking into account the crown characteristics, Van Wagner's theory of crown fire determines whether crown fire occurs and whether it is active or passive. Another data are required for dead fuel moisture calculation. Simulation results performed by using simulation system FARSITE for the concrete forest fire in the area of national park Slovenský Raj named Krompl'a are also presented and the results are discussed. Input data which have been gathered already permit to reproduce some of the important features of the fire in accordance with fire fighters documentation. The possible sources of deviations, primarily possible inaccuracies of input data which have been only estimated are also mentioned.

Úvod

Lesné požiare nie sú na Slovensku hrozbou takého rozsahu ako je to v prípade niektorých iných krajín napr. stredomorských, napriek tomu ohrozujú ľudí a spôsobujú stámiliónové škody. Počítačová simulácia priebehu a šírenia požiaru by preto mala veľké využitie jednak pri podpore rozhodovania v priebehu hasiacich prác, jednak pri prevencii potenciálne hroziacich požiarov. Umožnila by hasiacim tímom vopred skúmať možnosti ich potlačenia za rôznych podmienok.

¹ Táto práca bola podporovaná agentúrou APVT prostredníctvom finančnej podpory č. APVT-51-037902

V posledných desaťročiach rozvoj výpočtovej techniky umožnil počítačovú simuláciu veľmi komplexných enviromentálnych procesov. Z fyzikálneho a matematického hľadiska patria lesné požiare k tým najzložitejším spomedzi nich. Základné prírodné zákony ktoré ich popisujú, zákony zachovania, sú známe už desaťročia, ich praktickému využitiu však bránia jednak extrémne nároky na výpočtovú kapacitu, jednak nemožnosť zistiť všetky detailné informácie popisujúce geometriu a fyzikálne charakteristiky paliva. Existuje viacero tried modelov, snažiacich sa riešiť tento problém, a to celulárne automaty, semiempirické modely, eliptické modely a fyzikálne modely, všetky však musia zložitost' problému redukovať využitím štatistických, empirických a pravdepodobnostných metód alebo matematickým ustrednením. Tieto modely neriešia problém lesných požiarov ako jeden celok, ale zameriavajú sa na jednotlivé aspekty, ako sú napr. povrchový alebo korunový požiar, rýchlost' stacionárneho šírenia alebo zrýchlenie. Pre praktické potreby je preto nutné spájať tieto modely do balíkov schopných popísať najdôležitejšie aspekty požiaru. Najvyužívanejšie spomedzi nich sú FARSITE [1], BEHAVE [2] a FireStation [3]. V modeloch ktoré dosiahli štádium praktickej aplikovateľnosti je les reprezentovaný digitálnymi mapami popisujúcimi niekoľko fyzikálnych parametrov charakterizujúcich palivo. V tejto práci popíšeme veľmi stručne fyzikálne princípy najrozšírenejších modelov na simuláciu lesných požiarov, zdôvodníme potrebu vstupných údajov vo formáte GIS a uvidíme výsledky konkrétnej simulácie požiaru v Národnom parku Slovenský Raj z roku 2000.

Modely šírenia požiaru a vstupné dáta

Najrozšírenejším modelom používaným pri simulácii lesných požiarov je Rothermelov model [4], založený na predpoklade energetickej rovnováhy platnej pre jednotkový objem paliva. Určuje rýchlost' stacionárneho šírenia povrchového požiaru v rovine paralelnej s povrchom zeme.

$$\vec{R} = \frac{I_R \pi (1 + \vec{\Phi}_w + \vec{\Phi}_s)}{\rho_b \epsilon Q_i}$$

kde \vec{R} je rýchlosť šírenia (m/s), I_R je reakčná intenzita, t.j. tepelná produkcia na jednotkovú plochu v hlavnej línii požiaru ($J/(m^2 s)$), π je pomerná časť tepelnej produkcie, ktorá spôsobuje šírenie tepla a následné vznietenie paliva za predpokladu bezvetria a v rovine, $\vec{\Phi}_W$ je faktor zodpovedajúci vplyvu vetra, $\vec{\Phi}_S$ je faktor zodpovedajúci vplyvu sklonu svahu, ρ_b je hustota paliva (kg/m^3), ε je pomer množstva paliva podieľajúceho sa na horení k celkovému množstvu paliva a Q_i je teplo, ktoré je potrebné dodať na vznietenie jednotkového množstva paliva (J/kg).

Všetky tieto veličiny je možné vypočítať pomocou niekoľkých parametrov charakterizujúcich palivo. Reakčnú intenzitu možno stanoviť ako funkciu plošnej hustoty paliva W , výhrevnosti paliva H a reakčnej rýchlosti závislej od pomeru povrchu k objemu σ , hrúbky palivovej vrstvy δ a od vlhkosti paliva. Veličina π závisí od pomeru povrchu k objemu σ , hustoty paliva ρ_b , plošnej hustoty paliva W a hrúbky palivovej vrstvy δ . Veličina ε je len funkciou σ a Q_i závisí len od vlhkosti paliva. Na určenie stacionárnej rýchlosti preto postačuje nasledujúca sústava veličín:

Plošná hustota paliva W (kg/m^2),

Hrúbka palivovej vrstvy δ (m),

Pomer povrchu k objemu σ ($1/m$),

Výhrevnosť paliva H (J/kg),

Vlhkosť paliva M_f ,

Rýchlosť vetra (“uprostred plameňa”) U_m ,

Sklon svahu, $tg(\phi)$,

Pri praktickom použití sa rozlišujú jednotlivé kategórie paliva, a to živé a odumreté palivo a rozdelenie v závislosti od jeho hrúbky. Výsledné hodnoty sa potom počítajú spriemernením cez jednotlivé kategórie, pričom ako váhový faktor sa používa pomer povrchu k objemu. Konkrétne simulačné systémy väčšinu veličín potrebných pri simulácii horenia povrchovej

vegetácie klasifikujú jednou súhrnnou veličinou, napr. v systéme FARSITE sa jedná o tzv. palivový model. Ten zahŕňa nasledovné veličiny:

Plošná hustota 1hodinového odumretého paliva (priemer 0.0-0.635 cm)(t/ha)

Plošná hustota 10hodinového odumretého paliva (priemer 0.635-2.54 cm) (t/ha)

Plošná hustota 100hodinového odumretého paliva (priemer 2.54-7.62 cm) (t/ha)

Plošná hustota živého bylinného paliva (bez ohľadu na priemer) (t/ha)

Plošná hustota živého drevitého paliva (bez ohľadu na priemer) (t/ha)

Pomer povrchu k objemu odumretého paliva (1/cm)

Pomer povrchu k objemu živého bylinného paliva (1/cm)

Pomer povrchu k objemu živého drevitého paliva (1/cm)

Hrúbka palivovej vrstvy (cm)

Medzná vlhkosť vznietenia (%)

Výhrevnosť odumretého paliva (J/kg)

Výhrevnosť živého paliva (J/kg)

Druhým modelom potrebným na simuláciu lesného požiaru je model šírenia požiaru v korunách stromov, vytvorený Van Wagnerom [5-7]. Model umožňuje určiť, či dôjde k rozšíreniu požiaru od povrchovej vegetácie do korún stromov a v prípade že áno, určuje či sa bude požiar v korunách šíriť aktívne (aktívny korunový požiar) alebo sa budú koruny vznecovať len od horiacej povrchovej vegetácie (pasívny korunový požiar). Predpokladá sa, že medzná intenzita horenia povrchovej vegetácie, pri ktorej dôjde k vznieteniu koruny je daná vzťahom

$$I_0 = (0.01CBH(460 + 25.9M))^{3/2},$$

kde CBH je výška umiestnenia základne koruny nad povrchom zeme. Pri jej určovaní treba brať do úvahy vplyv vetiev alebo inej vegetácie, ktorá môže uľahčiť prenos požiaru do

korún, čo znižuje hodnotu CBH. Prah vzniku aktívneho korunového požiaru je dosiahnutý, ak rýchlosť šírenia korunového požiaru dosiahne hodnotu

$$RAC = 3.0 / CBD,$$

kde CBD je hustota paliva v korune a 3.0 je empirická konštanta.

Veličina	Jednotka	Využitie
Nadmorská výška	m	Korekcia meteorologických údajov pre dané miesto
Sklon svahu	°, %	Priamy vplyv na rýchlosť šírenia požiaru, výpočet vplyvu slnečnej radiácie na vlhkosť paliva
Aspekt	°	Výpočet vplyvu slnečnej radiácie na vlhkosť paliva
Palivový model		Popis fyzikálnych parametrov paliva
Pokrytie koruny	%	Zatienenie paliva korunami použité pri výpočte vlhkosti, výpočet korekcie rýchlosti vetra vo výške povrchového paliva
Výška koruny	m	Výpočet korekcie rýchlosti vetra vo výške povrchového paliva
Výška základne koruny	m	Rýchlosť korunového požiaru
Hustota paliva koruny	kg/m ³	Rýchlosť korunového požiaru

Tabuľka 1. GIS vstupy do systému FARSITE

Spomedzi ďalších modelov využívaných pri simulácii požiarov kladie dodatočné nároky na vstupné údaje ešte model pre výpočet vlhkosti odumretého paliva. Aspekt (t.j. orientácia danej plochy lesa voči slnku) je potrebný kvôli zisteniu uhlu ožiarenia a výpočtu rýchlosti vysychania paliva. Pokrytie koruny určuje zatienenie povrchového paliva korunou pri tomto výpočte. Nadmorská výška sa používa na korekciu meteorologických údajov pre dané miesto.

Výsledky simulácie

Cieľom našej práce bolo otestovať využiteľnosť vyššie popísaných modelov v slovenských podmienkach. Programový systém FARSITE zahrňujúci tieto modely sme použili na simuláciu požiaru, ku ktorému došlo v národnom parku Slovenský Raj v oblasti s názvom Krompľa v roku 2000. Využili sme pritom reálne údaje pre topografiu, t.j. pre nadmorskú výšku, aspekt a sklon svahu a pre pokrytie koruny. Fyzikálne charakteristiky paliva zatiaľ nie sú dostatočne preskúmané, preto sme použili ako východisko jeden zo štandardných 13 NFFL modelov [8], model #5:

“Fire behavior fuel model 5. Fire is generally carried in the surface fuels that are made up of litter cast by the shrubs, and the grasses or forbs in the understory. The fires are generally not very intense because surface fuel loads are light, the shrubs are young with little dead material, and the foliage contains little volatile material. Shrubs are generally not tall, but have nearly total coverage of the area. Young, green stands such as laurel, vine maple, alder, or even chaparral, manzanita, or chamise with no deadwood would qualify”.

Podmienky v Slovenskom raji však v celej zložitosti nemožno popísať týmto modelom. Aby sme dosiahli lepšiu reprodukciu reálneho vývoja požiaru [9], urobili sme v ňom určité modifikácie (Tab. 2). Pre jednoduchosť sme uvažovali, že celá oblasť je homogénne pokrytá palivom popísaným týmto modelom. Charakteristiky koruny sme tiež považovali za konštantné, a to hustota paliva v korune 0.2 kg/m^3 , výška základne koruny 4m a výška koruny 15m. Ako ďalšie vstupné údaje sme využili meteorologické údaje zo staníc v Poprade a v Telgárte, ktoré sme modifikovali s ohľadom na [9]. Výsledky našej simulácie s časovým krokom 6 hodín sú znázornené na obrázku 1. Hrubé čiary na severozápade a juhovýchode oblasti znázorňujú požiarne zásahy počas prvých 48 hodín. Simulovali sme len priebeh požiaru počas prvých dvoch dní, pretože v ďalších dňoch požiarne zbory jeho vývoj prakticky stabilizovali. Výsledky možno porovnať s reálnym stavom požiaru po 12 a 48 hodinách znázorneným na obrázku 2.

Počas prvého dňa sa požiar šíril prevažne v juhovýchodnom smere, čo naša simulácia úspešne zreprodukovala. Tvar a veľkosť zasiahnutej oblasti sa však líši, čo môže byť spôsobené jednak nehomogenitou paliva na malej škále, jednak protipožiarnymi aktivitami ľudí. Severo smerom sa požiar šíril pomaly a darilo sa ho úspešne potláčať. V priebehu druhého dňa sa požiar šíril najmä v južnom a juhovýchodnom smere, čo opäť súhlasí s dokumentáciou. Šírenie v juhovýchodnom a severozápadnom smere sa podarilo pozemnými a leteckými protipožiarnymi aktivitami prakticky zastaviť.

Veličina	Jednotka	Palivový model #5	Modifikovaný model #5
Ploš. hustota paliva (0.0-0.635 cm)	t/ha	2.24	2.24
Ploš. hustota paliva (0.635-2.54 cm)	t/ha	1.12	1.12
Ploš. hustota paliva (2.54-7.62 cm)	t/ha	0.00	0.00
Ploš. hustota živého bylinného paliva	t/ha	0.00	0.00
Ploš. hustota živého drevitého paliva	t/ha	4.48	4.48
Pomer povrchu k objemu odumretého paliva	1/cm	65	62
Pomer povrchu k objemu živého bylinného paliva	1/cm	59	56
Pomer povrchu k objemu živého drevitého paliva	1/cm	49	46
Hrúbka palivovej vrstvy	Cm	61	61
Medzná vlhkosť vznietenia	%	20	19
Výhrevnosť odumretého paliva	kJ/kg	18594	18594
Výhrevnosť živého paliva	kJ/kg	18594	18594

Tabuľka 2. Fyzikálne charakteristiky palivového modelu

Odlíšnosti v predpovedi tvaru územia zasiahnutého požiarom sú pravdepodobne opäť spôsobené hasením zo strany ľudí, tento problém však ešte bude treba skúmať.

Záver

Problém numerickej simulácie lesných požiarov je dvojakého druhu. Modely ktoré sa používajú na jeho popis a ktorých prehľad sme uviedli nepostihujú v plnej miere fyzikálnu podstatu celého procesu. Tento problém môžu v blízkej budúcnosti vyriešiť tzv. fyzikálne modely lesných požiarov [10-12], v súčasnosti však vzhľadom na svoje vysoké výpočtové nároky nie sú prakticky využiteľné, resp. sú využiteľné len v obmedzenej miere ako doplnok iných modelov na riešenie partikulárnych otázok. Druhý problém je skôr technický ako principiálny a súvisí s potrebou pomerne veľkého množstva vstupných údajov vo formáte GIS popisujúcich palivo, resp. iných vstupných údajov (meteorologické údaje a vlhkosť paliva). Ich získavanie nie je jednoduché, štandardne nie sú k dispozícii a musia byť pomerne komplikovane extrapolované alebo odhadované z dostupných zdrojov. Obidva tieto problémy sú zdrojom nepresností, preto výsledky simulácie majú vždy pomerne veľkú mieru neurčitosti.

Napriek týmto problémom je systém FARSITE prakticky využívaný v USA a ako ukázali autori [13], je možné použiť ho aj pre stredoeurópske lesy. Je však potrebné vyvinúť palivové modely vhodné pre miestne podmienky, pretože 13 palivových modelov obsiahnutých vo FARSITE je konštruovaných na popis lesných podmienok v USA. Podobný prístup ako [10] je použitý aj v našej práci, kde nový palivový model vznikol modifikáciou štandardného modelu #5. Jeho využitie umožnilo reprodukovať niektoré dôležité črty priebehu požiaru, najmä jeho šírenie prevažne v južnom a juhovýchodnom smere. Ukázalo sa ale, že predpoklad homogénneho paliva je príliš zjednodušujúci najmä preto, že v oblasti sú veľké výškové rozdiely silne ovplyvňujúce zloženie vegetácie. Dá sa predpokladať, že najväčším zdrojom nepresnosti simulácie a jej odchýlok od zaznamenaného priebehu požiaru sú práve nepresnosti vstupných údajov popisujúcich palivo. Bude preto potrebné vytvoriť metódy na klasifikáciu palivových modelov popisujúcich jednotlivé typy miestnej vegetácie (resp. modely slovenských lesov vo všeobecnosti) a digitálne mapy vegetácie na nich založené a vykonať simuláciu využívajúce tieto spresnené vstupné údaje. Ďalším možným zdrojom nepresnosti je komplikovaná topografia, ktorej vplyv na správanie požiaru modely použité systémom FARSITE nemusia byť schopné vôbec popísať. Týka sa to najmä tzv.

komínového efektu a vo všeobecnosti akýchkoľvek procesov v ktorých sa uplatňuje spätná väzba medzi požiarom a atmosferickými dejmi. Dôležitý môže byť aj vplyv náhodných udalostí a nepravidelností v krajine, ktoré vzhľadom na relatívne malé rozmery skúmanej oblasti môžu relatívne výraznejšie ovplyvniť správanie požiaru ako pri požiaroch na rozľahlých územiach v USA. Tieto územia lepšie zodpovedajú modelu 2D kontinua spojito pokrytého jednotlivými typmi paliva.

Výsledky simulácie ukazujú, že FARSITE môže poskytnúť užitočné výsledky aj v slovenských podmienkach a vďaka možnosti ďalšieho spresňovania sa môže stať užitočným nástrojom aj pri praktickom potláčaní lesných požiarov.

Literatúra

[1] M. A. Finney: FARSITE: Fire Area Simulator - Model Development and Evaluation. Res. Pap. RMRS-RP-4, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, March 1998.

[2] Andrews, P.L. 1986. BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system—BURN subsystem, part 1. Gen. Tech. Rep. INT-194. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 130 p.

[3] Lopes, A.M.G., M.G. Cruz, D.X. Viegas. 2002. Firestation-an integrated software system for the numerical simulation of fire spread on complex topography. Environmental Modelling & Software. 2002 (17) p. 269-285.

[4] R. C. Rothermel: A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels, USDA FS, Res. Paper, INT-115, 1972.

[5] Van Wagner, C.E. 1977. Conditions for the start and spread of crown fire. Can. J. For. Res. 7:23-34.

[6] VanWagner, C. E.: Prediction of crown fire behaviour in conifer stands. In: MacIver, D. C., H. Auld, and R. Whitewood eds., proc. 10th conf. on fire and forest meteorology. Ottawa, Canada, 1989.

[7] Van Wagner, C.E. 1993. Prediction of crown fire behavior in two stands of jack pine. Can. J. For. Res. 23:442-449.

[8] H. E. Anderson: Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-122, 1982.

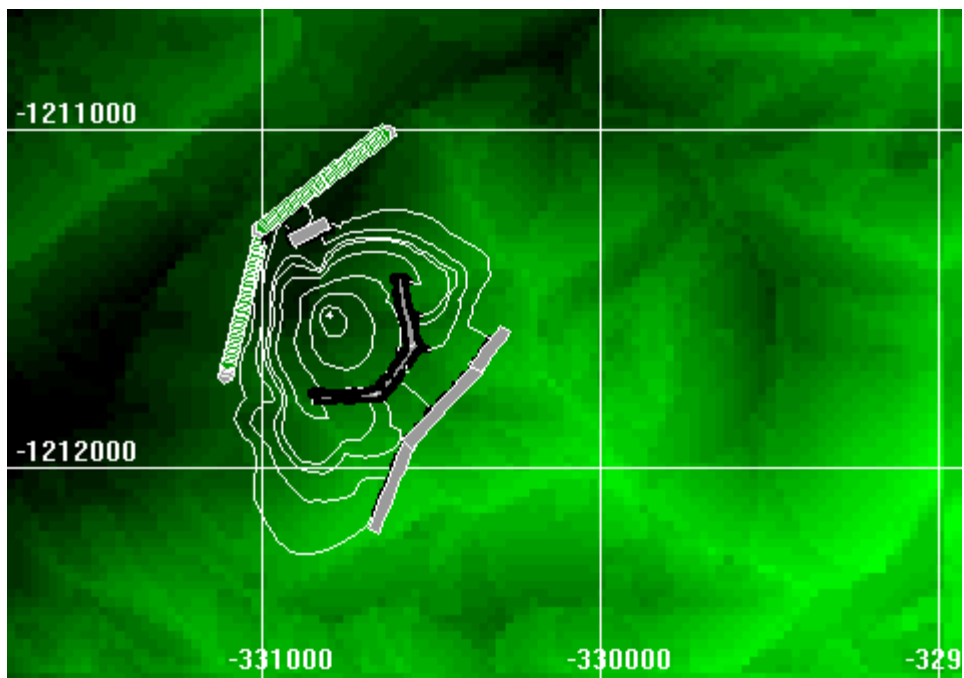
[9] Forest fire, Slovenský raj, (2000), Report and Documentation of Department of Forest Fire Services , Spišská Nová Ves, 2000.

[10] M. Larini, F. Giroud, B. Porterie, J.-C. Loraud: A multiphase formulation for fire propagation in heterogeneous combustible media, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol 41, 1997, pp. 881-897.

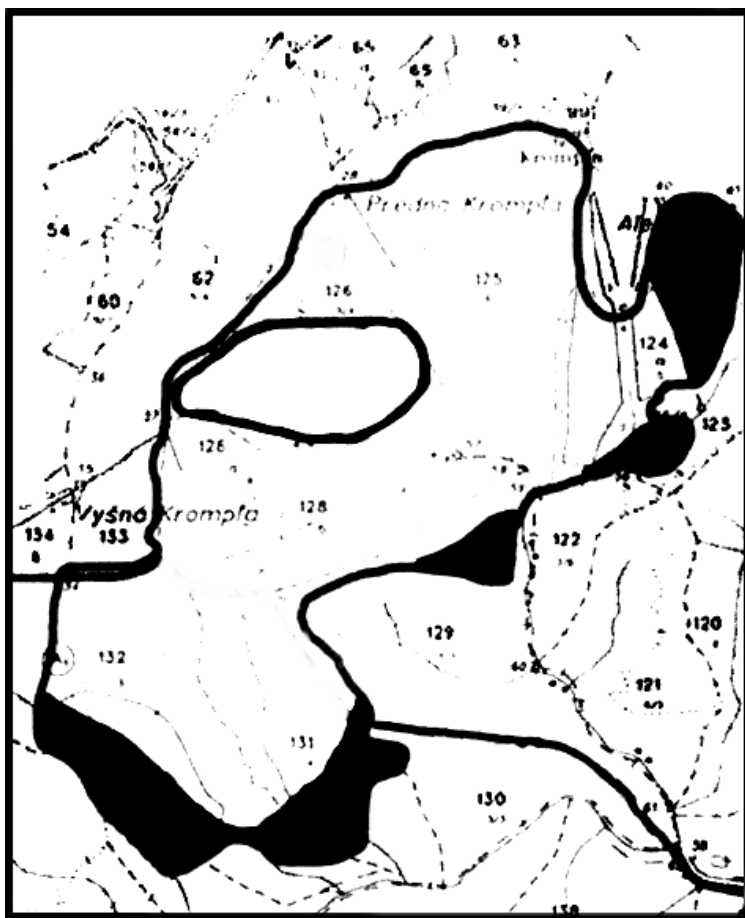
[11] O. Sero-Guillaume, J. Margerit: Modelling forest fires. Part I: a complete set of equations derived by extended irreversible thermodynamics, International Journal of Heat and Mass Transfer Vol. 45, 2002, pp. 1705-1722.

[12] J. Margerit, O. Sero-Guillaume: Modelling forest fires. Part II: reduction to two-dimensional models and simulation of propagation, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 45, 2002, pp. 1723-1737.

[13] Hille, M., Goldammer J.G.: Dispatching and modelling of fires in Central European pine stands: New research and development approaches in Germany. Proc. of workshop, Agronomic Institute of Chania, Crete, Greece, 6 – 8.12.2001, p. 59-74.



Obrázok 1. Výsledky simulácie s časovým krokom 6 hodín. Hrubé čiary znázorňujú línie intenzívneho hasenia. Sivá čiara s čiernym okrajom reprezentuje pozemný útok počas prvého dňa, druhá sivá čiara pozemný útok počas druhého dňa a zrnitá čiara letecký útok.



Obrázok 2. Zasiahnutá oblasť po 12, resp. 48 hodinách. Tmavé oblasti znázorňujú územie zasiahnuté požiarom neskôr.

Peter Weisenpacher

Ustav Informatiky

Dúbravská cesta 9

845 07 Bratislava

Slovakia

e-mail: upsyweis@savba.sk