

Peter WEISENPACHER¹

SIMULÁCIA POŽIARU INTRAVILÁNU – MOŽNOSTI SYSTÉMU WFDS

WILDLAND-URBAN INTERFACE FIRE SIMULATION – WFDS SYSTEM CAPABILITIES

Abstrakt

Cieľom článku je popis súčasného stavu vývoja modelov počítačovej simulácie požiarov v intraviláne ako aj popis najpokročilejšieho z týchto modelov, systému Wildland-Urban Interface Fire Dynamics Simulator (WFDS). Tento model vychádza z osvedčených modelov simulácie požiarov v budovách, využitých v systéme FDS a doplnených o možnosť zahrnúť do simulácie aj vegetačné palivo. V článku sú analyzované jeho špecifické výhody v porovnaní so semiempirickými modelmi lesných požiarov používanými v súčasnosti. Popisuje tiež simulačný systém samotný, fyzikálne princípy, na ktorých je založený ako aj spôsob jeho ovládania. Ako ukážku možností programu tiež uvádza výsledky simulácií niektorých typických situácií, ku ktorým pri požiaroch v intraviláne dochádza.

Abstract

The aim of this article is to describe main physical principles and assumptions of models of Wildland-Urban Interface (WUI) fire simulation as well as to present one of the most developed software system which is based on this principles, NIST Wildland-Urban Interface Fire Dynamics Simulator (WFDS). The source of this methods are models for simulation of fire in human structures included in FDS simulation system, which solve some simplified form of fluid dynamics conservation equations. As a result of advanced physical forest fire models, vegetation fuel treatment was incorporated into these models and the first useable WUI fire simulation models were created. Their specific advantages over the semi-empirical fire simulation models nowadays used are described and some situations typical in WUI fires are modelled by WFDS as a simple demonstration of its capability.

Key words: Fire simulation, wildland-urban interface fire, physical fire models

Úvod

Počas niekoľkých desaťročí mimoriadne intenzívneho výskumu požiarov sa vývoj počítačových modelov zameriaval na riešenie dvoch odlišných typov problémov. Prvým z nich bola simulácia šírenia lesných požiarov, založená na výpočtovo nenáročných empirických, semiempirických a štatistických prístupoch, druhým simulácia horenia v budovách, technických prevádzkach a iných ľudských konštrukciách využívajúca fyzikálne zákony zachovania kladúce mimoriadne nároky na výkon počítačov. Dôvod tohoto rozdelenia spočíva v mimoriadnej komplexnosti problému požiaru, ktorý vo všeobecnosti zahŕňa popis zložitej geometrie, mimoriadny rozsah potrebných a ťažko dostupných informácií o palive, komplikovanú dynamiku chemických procesov spojených s horením a napokon matematické riešenie fyzikálnych zákonov zachovania vedúcich na výpočtovo náročné sústavy diferenciálnych rovníc. Určitá miera zjednodušenia problému preto bola nevyhnutnosťou.

¹ Mgr., Ph.D., Slovenská akadémia vied, Ústav informatiky, Dúbravská cesta 9, 845 07 Bratislava, e-mail: upsyweis@savba.sk

Prvá línia vývoja sa snažila o zjednodušenie popisu prostredia a mechanizmu požiaru a dosiahla tak štádium praktickej použiteľnosti, kým druhá línia sa zamerala na čo najvernejšie simulovanie prostredia a fyzikálnych princípov požiaru, hoci to kládlo obmedzenia na rozsah a zložitosť úloh, ktoré bola schopná vyriešiť. Problém požiaru v intraviláne nedokázali vyriešiť modely ani z jednej z týchto dvoch skupín, či už kvôli obmedzeniam použitých modelov alebo výpočtovej sily počítačov. Fyzikálne modely pre simuláciu požiarov v intraviláne sú preto pomerne novou oblasťou výskumu požiarov a výraznejšie sa rozvinuli až v posledných rokoch. Ich cieľom je riešiť problémy ako je napr. skúmanie vzájomného prenosu tepla prúdením medzi vegetáciou a ľudskými konštrukciami a ich následného vznietenia, napr. vznietenie budov spôsobené požiarom okolitého lesa. Možnosť takýchto simulácií sa reálne dosiahla až v nedávnej dobe, a to vďaka postupnému rozvoju modelov druhej skupiny, zabudovaniu možnosti zahrnúť ako palivo aj vegetáciu a rastu výpočtového výkonu

Vďaka svojej univerzálnosti sú tieto modely schopné prispieť aj k výskumu lesného požiaru samotného, keďže lesná vegetácia je len špeciálnym prípadom intravilánu. Doterajšie modely lesných požiarov sú rýchle a operatívne, nezohľadňujú však v dostatočnej miere fyzikálny mechanizmus horenia. Dôsledkom toho je skutočnosť, že niektoré aspekty požiaru zvolený model nemusí vôbec zachytiť, pričom v reálnej situácii práve tieto aspekty môžu nadobudnúť významný vplyv na priebeh požiaru. Jedná sa často o náhle a silne nelineárne procesy, ktoré vďaka svojmu neočakávanému priebehu spôsobujú veľkú časť obetí na životoch a prekvapia aj profesionálov [1]. Hoci simulácie kvôli svojej výpočtovej náročnosti neprebiehajú v reálnom čase, môžu poskytnúť kvalitatívne pochopenie dynamiky mnohých procesov a doplniť znalosti potrebné na úspešné potlačenie požiaru.

Cieľom tejto práce nadväzujúcej na [39] je popísať jeden z najperspektívnejších rozvíjajúcich sa systémov na simuláciu požiarov v intraviláne, Wildland-Urban Interface Fire Dynamics Simulator (WFDS), jeho fyzikálne princípy, vlastnosti, spôsob ovládania a možnosti jeho použitia na simuláciu niektorých typických situácií, ku ktorým v prípade týchto požiarov dochádza. V kapitole 2 uvidíme stručne vlastnosti existujúcich modelov lesných požiarov a ich obmedzenia, ako aj špecifický prínos fyzikálnych modelov požiarov oproti týmto modelom. V 3. kapitole bližšie popíšeme systém WFDS ako nástupcu jedného zo simulačných systémov založených na fyzikálnych modeloch horenia budov a opíšeme jeho vlastnosti a možnosti. V poslednej kapitole sú uvedené spomenuté ukážky použitia WFDS.

Súčasný modely na simuláciu lesných požiarov a ich obmedzenia

Modely šírenia požiaru predpovedajú vývoj veličín charakterizujúcich požiar, ako sú rýchlosť šírenia, intenzita horenia alebo dĺžka plameňa na základe vstupov popisujúcich topografiu, palivo a meteorologické podmienky. Existuje viacero možných klasifikácií týchto modelov, napr. [3], [40], [5].

V súčasnosti zrejme najúspešnejší simulačný systém FARSITE [6] v sebe zahŕňa viacero semiempirických modelov, ako sú napr. modely pre povrchový požiar, pre korunový požiar, pre postfrontálne horenie, pre vznik požiarov vznietených horľavými úlomkami a pre hasenie. Jadrom systému je eliptický model pre povrchový požiar doplnený o výpočet doprednej rýchlosti šírenia pomocou Rothermelovho modelu. Tieto modely nie sú príliš výpočtovo náročné, čo umožňuje použitie FARSITE a simulačných systémov založených na podobných princípoch v reálnom čase pri hasení prebiehajúcich požiarov. Je možné získať dobré priblíženie reálneho priebehu požiaru využitím pomerne malého výpočtového výkonu.

Použitý modely však len v malej miere popisujú fyzikálny mechanizmus horenia, preto niektoré fenomény môžu byť popísané len približne a niektoré nie sú popísané vôbec. Keďže

FARSITE modeluje les ako spojité kontinuum, je ním možné simulovať priebeh požiaru na relatívne veľkých plochách jednoliateho lesa s pomerne veľkou presnosťou. Nedokáže však zohľadniť (alebo to robí len veľmi hrubo) lokálne javy prejavujúce sa na škále rozmeru jedného stromu alebo malej skupiny, ani javy na rozmedzí vegetácie a ľudských konštrukcií (ako sú napr. cesty, stavby, dopravné prostriedky). Táto situácia je pritom mimoriadne dôležitá v praxi, keďže ohrozenie ľudských obydli na rozhraní lesa je pri rastúcom počte lesných požiarov čoraz častejšie. Semiempirické modely tiež nedokážu popísať nelineárne javy ako sú náhle erupcie požiaru, ktoré pritom zapríčiňujú veľký počet obetí aj medzi príslušníkmi hasiacich zborov, ktorí takéto nečakané erupcie zdanlivo stabilného požiaru nepredpokladajú. Hoci použiteľnosť FARSITE v stredo európskych podmienkach dokázali jednak naše výsledky [7], jednak výsledky iných výskumníkov [8], pri požiarnej ohrozenosti intravilánu si vyššie uvedené nedostatky vyžadujú doplniť naše znalosti dynamiky požiaru komplexnejším prístupom. Aj preto sa v poslednej dobe orientácia výskumu jednoznačne presúva na fyzikálne modely, napr. [40], [9], [10], [11], [12]. Najúspešnejšie simulačné systémy založené na týchto modeloch sú FIRETEC [9], pôvodne vyvinutý v Los Alamos National Laboratory, FIRESTAR [13], vyvinutý v rámci programu EU FIRESTAR a napokon WFDS [24], [25], vyvinutý v National Institute for Standards and Technology, ktorému sa budeme venovať bližšie.

Základné vlastnosti WFDS a jeho fyzikálne princípy

WFDS nadväzuje na simulačný systém FDS vyvinutý v NIST [22], [17] určený na simuláciu požiarov v ľudských konštrukciách aj vo vonkajšom prostredí (ako sú napr. byty, haly, rafinérie). Tento systém, doplnený o vizualizačný program Smokeview, je dnes používaný v inžinierskej praxi na mnohých pracoviskách po celom svete. FDS dokáže simulovať procesy ako sú nízkorýchlostné prúdenie produktov spaľovania, tepelné žiarenie, vedenie tepla medzi plynmi a povrchmi telies, spaľovanie, šírenie plameňov a dymu, aktivácia vodných rozprašovačov a priebeh hasenia. Fyzikálny model použitý v FDS je založený za zákonoch zachovania hmotnosti, zložky, hybnosti a energie [18]:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} &= 0 \\
 \frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_l) + \nabla \cdot \rho Y_l \mathbf{u} &= \nabla \cdot \rho D_l \nabla Y_l + \dot{m}_l''' \\
 \rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) + \nabla p &= \rho \mathbf{g} + \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} \\
 \frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot \rho h \mathbf{u} &= \frac{Dp}{Dt} - \nabla \cdot \mathbf{q}_r + \nabla \cdot k \nabla T + \sum_l \nabla \cdot h_l \rho D_l \nabla Y_l,
 \end{aligned} \tag{1}$$

kde ρ je hustota plynu, \mathbf{u} je jeho rýchlosť, Y_l je hmotnostný zlomok l -tej zložky, D_l je koeficient difúzie l -tej zložky, \dot{m}_l''' je hmotnostný tok l -tej zložky, p je tlak, \mathbf{f} je hustota sily, $\boldsymbol{\tau}$ je tenzor napätia, h je hustota entalpie, \mathbf{q}_r je radiačný tepelný tok a T je teplota. Pri ich riešení sa využíva tzv. aproximácia s nízkym Machovým číslom, ktorá predpokladá, že zmeny tlaku spôsobené požiarom sú zanedbateľné v porovnaní s okolitým tlakom, čím sa výrazne redukuje matematická zložitosť problému.

WFDS predstavuje rozšírenie systému tak, aby ako palivo zahŕňal okrem palív z ľudských konštrukcií aj vegetáciu a aby bol použiteľný aj v komplikovanejšej topografii.

V súčasnosti je schopný popísať šírenie požiaru na rovnom povrchu - požiar trávy [25] a horenie jednotlivého stromu [24]. Cieľom vývoja je zdokonalenie systému tak, aby bol schopný simulovať požiar aj v rámci rozsiahlejšej vegetácie a v komplexnejšej topografii. WFDS má v súčasnosti dve verzie:

- Fuel Element Model - pre palivo v konkrétnom objeme, napr. v korune stromu
- Boundary Fuel Model - pre povrchové palivo, napr. trávu.

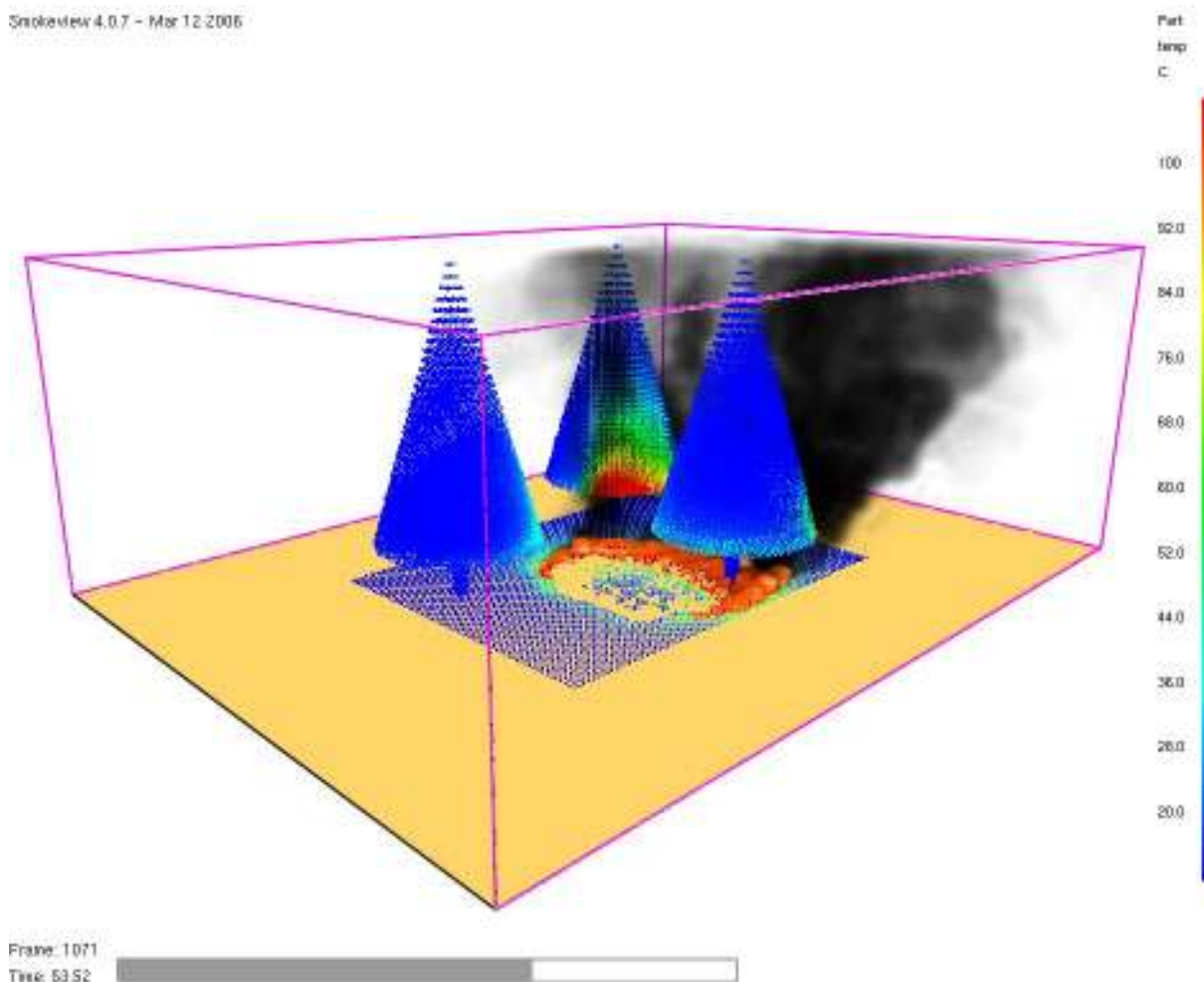
Predpokladá sa, že perspektívne sa WFDS stane súčasťou FDS, kde budú obidva modely zlúčené.

Z fyzikálneho hľadiska a z hľadiska numerickej simulácie je dôvodom tohto rozlíšenia odlišná výška plameňa nad vrstvou vegetácie. Ak je výška plameňa podstatne väčšia ako je hrúbka palivovej vrstvy (napr. požiar trávy), k väčšej časti horenia dochádza nad vrstvou vegetácie. Vtedy je vhodné použiť dve osobitné mriežky pre vegetáciu (pevná fáza) a pre oblasť plameňov nad vegetáciou (plynná fáza). V prípade, že je výška plameňov porovnateľná s hrúbkou palivovej vrstvy, ako je to v prípade požiaru stromov alebo kríkov, je potrebné použiť prístup, ktorý zohľadňuje aj šírenie požiaru v rámci pevnej fázy, napr. šírenie požiaru od povrchovej vegetácie smerom do korún stromov. Vtedy je nutné brať do úvahy aj nehomogenitu v rámci palivovej vrstvy a šírenie požiaru vo vertikálnom smere a modelovanie vegetácie sa stáva náročnejším problémom.

V prípade prvého prístupu WFDS používa osobitné fyzikálne modely pre obe fázy. Vývoj plynnej fázy je simulovaný pomocou pohybových rovníc (1). K spaľovaniu, t.j. k produkcii tepla dochádza prevažne nad pevnou fázou. Najvyššia vrstva pevnej fázy sa tak stáva zdrojom hmotnostného toku a tepelného toku, ktoré vstupujú do pravých strán zákonov zachovania (1) pre bunky na dolnej hranici mriežky pre plynnú fázou. Zakony zachovania tak modelujú vzájomnú interakciu palivo - oheň – atmosféra. Teplota spodnej vrstvy plynnej fázy zároveň určuje teplotu plynu v palivovej vrstve.

Spaľovanie paliva v palivovej vrstve pozostáva z dvoch po sebe nasledujúcich endotermických procesov. Prvým je odparovanie vlhkosti z paliva, po ktorej nastane pyrolýza paliva, t.j. chemická reakcia, pri ktorej sa palivo mení za neprítomnosti kyslíka na produkty pyrolýzy. Tie unikajú do okolitého plynného prostredia a následne dochádza k exotermickému procesu ich oxidácie. Palivová vrstva samotná je modelovaná ako súbor rovnomerne rozmiestnených častíc s istou hustotou a pomerom povrchu k objemu. Časový vývoj teploty je modelovaný rovnicou formálne podobnou rovnicou vedenia tepla [19].

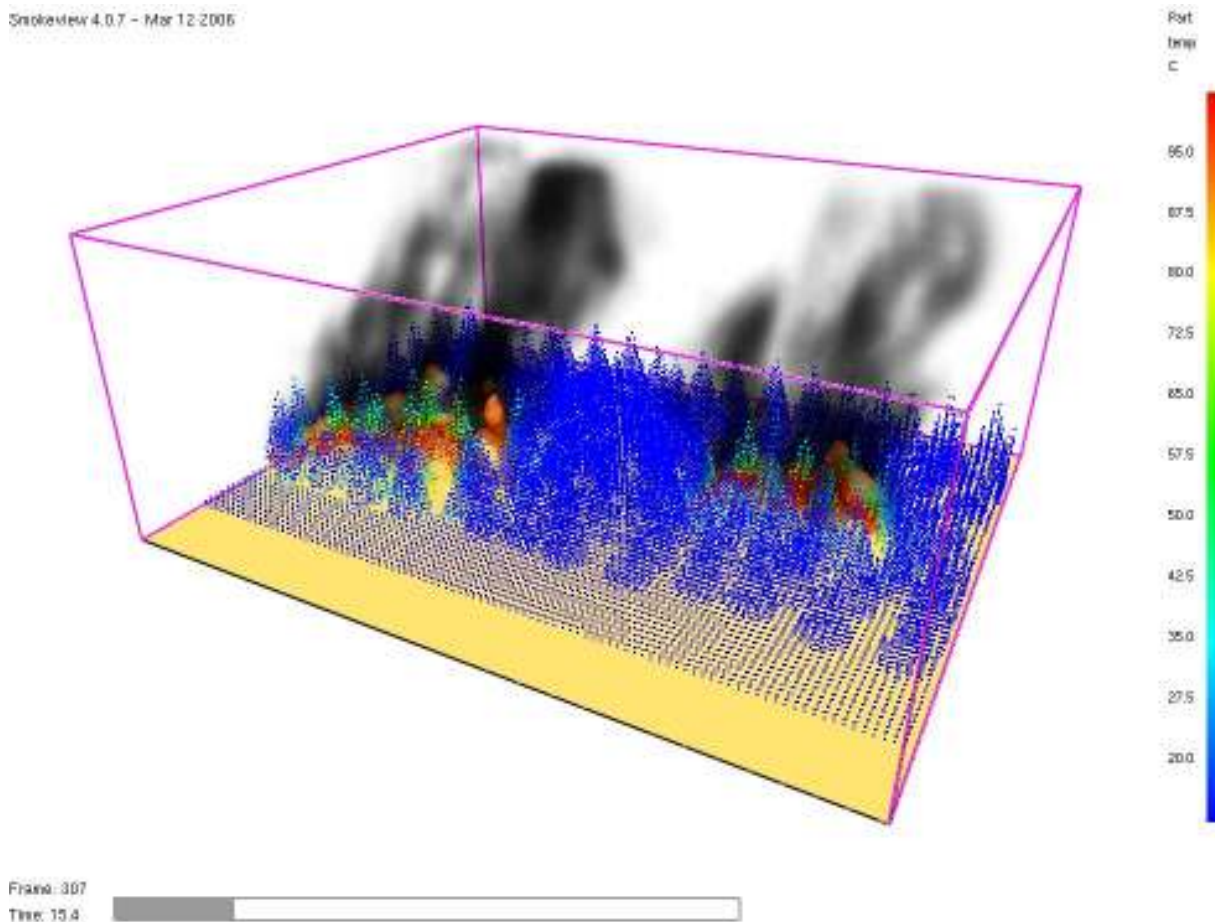
V prípade druhého prístupu je potrebné použiť jedinú mriežku pre celú oblasť a simulovať v nej horenie palivovej vrstvy podobne ako sa to deje v rámci prvého prístupu. Situácia je však komplikovanejšia kvôli väčšej heterogenite paliva a pomerne veľkým priestorom vyplneným vzduchom a plameňmi, čo spôsobuje, že použitý prístup je v tomto prípade menej presný. Z tohto dôvodu sa ďalší vývoj zameriava práve na presnejšie modelovanie paliva.



Obr. 1: Šírenie požiaru povrchovým palivom medzi tromi stromami

Program FDS simuluje základné fyzikálne procesy v priebehu horenia, preto je využiteľný jednak pri štúdiu týchto procesov samotných, jednak pri riešení praktických problémov pri ochrane pred ohňom. Podobné ciele v prípade požiarov v intraviláne by mal spĺňať aj WFDS. Patrí medzi ne pomoc pri navrhovaní protipožiarnych opatrení a evakuácie, vyhodnocovanie rizika požiaru a skúmanie hypotetických požiarov, vyhodnocovanie dopadu požiaru na vegetáciu a pomoc pri rekonštrukcii konkrétnych požiarov. Podrobný popis ovládania FDS sa nachádza v [17], k WFDS zatiaľ manuál nie je (čiastočný popis je v práci [39]). Stručne ich zhrneme.

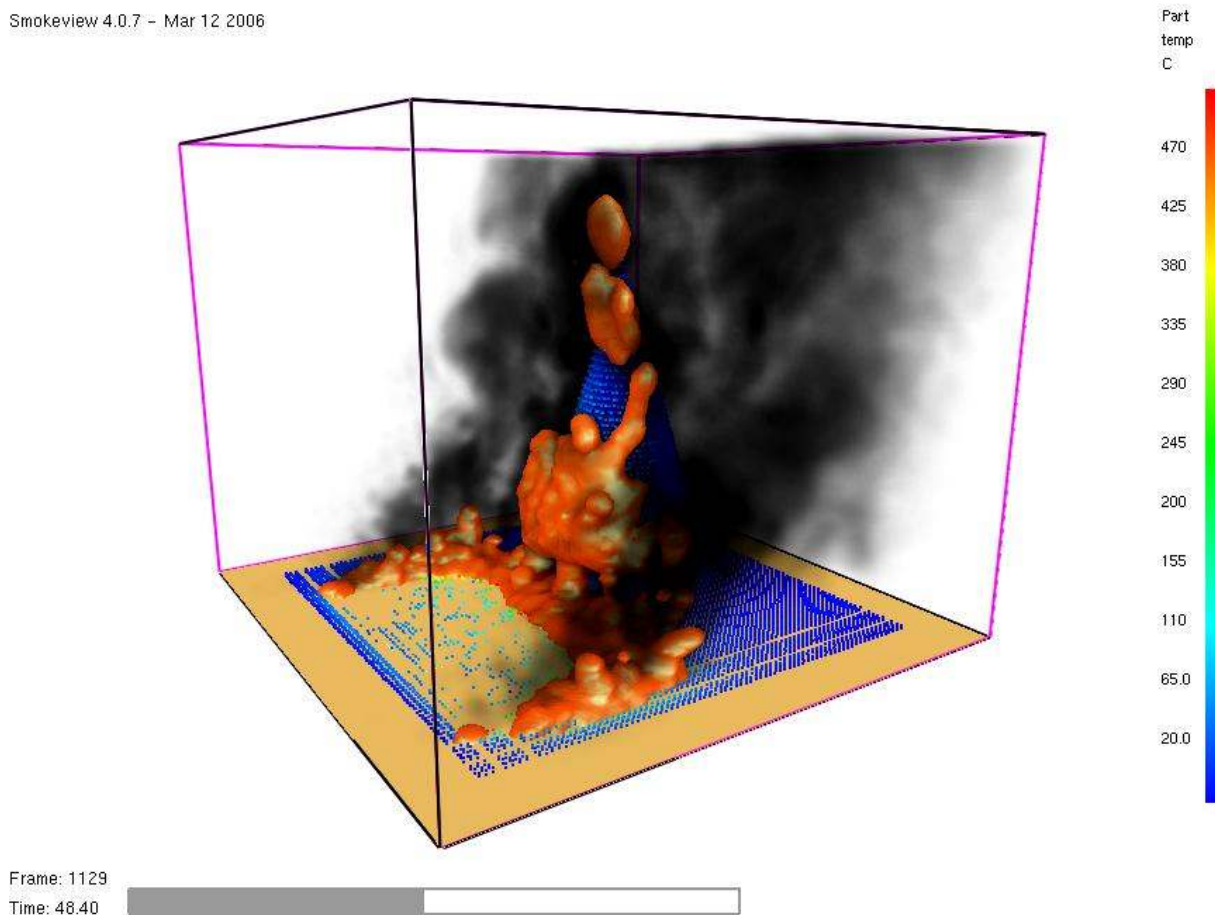
Keďže FDS aj WFDS používajú metódu konečných diferencií, skúmaná oblasť musí byť aproximovaná pravouhlou mriežkou, a to buď v 2D alebo v 3D. Všetky údaje potrebné pre spustenie simulácie je potrebné zadať vo forme textového súboru v špeciálnom formáte obsahujúcom skupiny údajov určujúcich geometriu skúmanej oblasti, súradnicovú sústavu, delenie mriežky, okrajové podmienky, telesá v oblasti a parametre simulácie. Oblasť požiaru je určená mriežkou v danej súradnicovej sústave. Predmety v oblasti požiaru sú



Obr. 2: Šírenie dvoch nezávislých požiarov povrchovým palivom s väčším počtom stromov

reprezentované pravouhlými prekážkami, ktoré sa môžu zahrievať, viesť teplo a vydávať tepelné žiarenie. Ich steny, podobne ako prieduchy, majú určené okrajové podmienky. Je možné tiež špecifikovať, ktoré výstupy simulácie a v akom formáte majú byť po skončení výpočtu uložené na disk. Výstupom systému sú hodnoty fyzikálnych veličín charakterizujúcich plynnú fázu a pevné telesá v skúmanej oblasti, a to buď hodnoty charakterizujúce polia alebo globálne veličiny. Medzi najdôležitejšie patria teplota, rýchlosť a tlak plynu, koncentrácia dymu a odhad viditeľnosti, tepelná produkcia pre jednotkový objem, zmiešavací zlomok, hustota plynu, radiačný a konvektívny tepelný tok, rýchlosť horenia, celková produkcia tepla, aktivačné časy rozprašovačov a detektorov a hmotnostné a energetické toky.

K možnostiam FDS pridáva WFDS ďalšie dodatočné možnosti, a to skupiny údajov charakterizujúcich vegetačné palivo, t.j. geometrické a fyzikálne vlastnosti častíc, z ktorých sa skladá príslušný typ vegetácie. Obsahuje veličiny ako sú pomer povrchu k objemu, hustota častíc, teplota vyparovania, skupenské teplo vyparovania, vlhkosť paliva, percentuálne zastúpenie produktov pyrolýzy, hustota palivovej vrstvy a priemer častíc. Vo Fuel Element Model je tiež potrebné zdefinovať geometriu telies vyplnených takýmto palivom (napr. koruna stromu v podobe kužeľa).



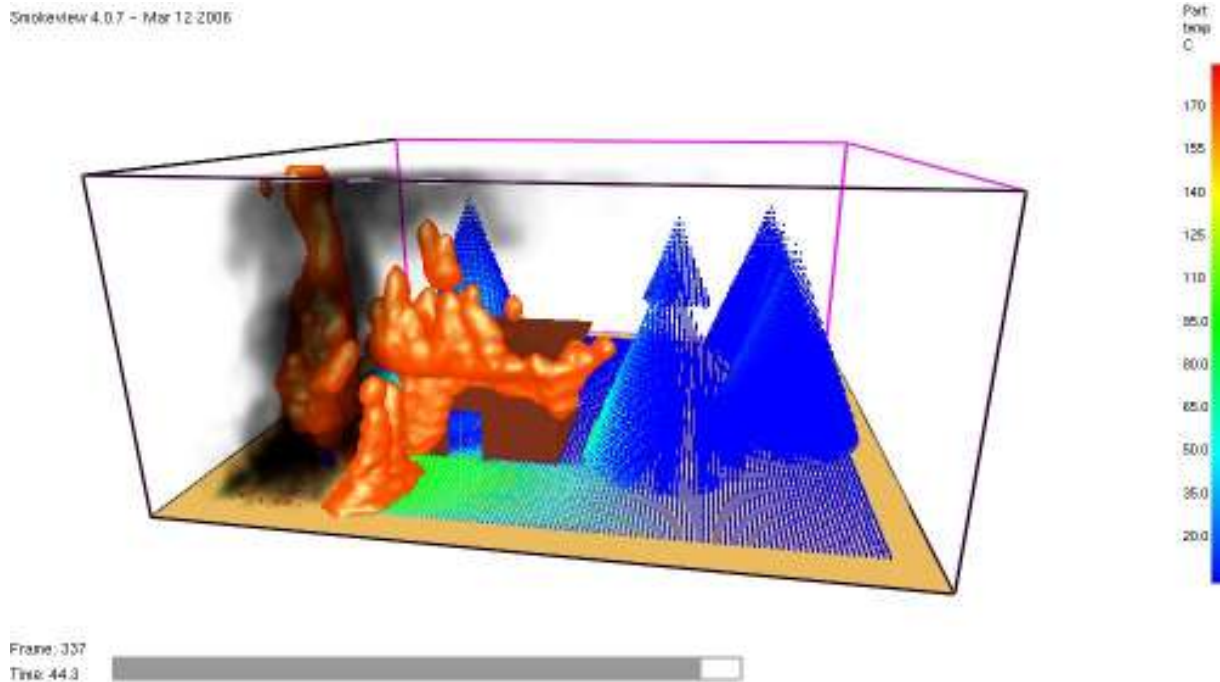
Obr. 3: Vznietenie korunového požiaru jednotlivého stromu

Simulácie vykonané pomocou WFDS

Stručne popíšeme niektoré jednoduché príklady použitia systému WFDS pre niektoré typické situácie, ku ktorým dochádza v priebehu požiarov intravilánu. Výsledky slúžia na demonštraáciu možností systému a neboli konfrontované s experimentom.

- Šírenie požiaru povrchovým palivom medzi tromi stromami (Obr.1). Simulované bolo šírenie požiaru podložíom tvoreným 5 cm hrubou vrstvou borovicového ihličia medzi tromi stromami. Oblasť simulácie bola dlhá 16 m, široká 12 m a vysoká 6 m, rozdelená bola na 160 x 120 x 60, t.j. 1,152,000 buniek. Delenie mriežky bolo 10 cm v horizontálnom smere, vo vertikálnom smere nerovnomerné a postupne sa zmenšujúce: 5 cm pri povrchu a 20 cm v hornej časti mriežky. Použité boli dva rôzne modely osobitne pre povrchové a pre korunové palivo. Simulácia požiaru trvajúceho 80 s si vyžiadala približne 13 hodín CPU času na procesore Pentium IV 3GHz a približne 600 MB RAM.
- Šírenie dvoch nezávislých požiarov povrchovým palivom s väčším počtom stromov (Obr. 2). V tomto prípade bol požiar simulovaný pre oblasť 40 m x 48 m x 20 m rozdelenú na 80 x 96 x 30 (t.j. 230,400) buniek. V oblasti sa nachádzalo 140 identických stromov, každý z nich 6 m vysoký, s kužeľovitou korunou o priemere podstavy 3m. Dva ohne, ktoré požiare vyvolali, trvali 5 s a mali intenzitu $200 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$. Rýchlosť vetra bola 4 ms^{-1} vo výške 2 m. Keďže rozlíšenie mriežky bolo len 0.5 m, simulácia je menej spoľahlivá ako

v prípade jedného stromu. Vyžiadala si približne 1 hodinu CPU času na procesore Pentium IV 3GHz



Obr. 4: Požiar budovy a okolitej skupinky stromov

a približne 150 MB RAM. Zväčšenie delenia mriežky na dvojnásobok (t.j. vzrast počtu buniek na 8-násobok) viedlo k nárastu času simulácie na takmer 14 hodín a nárokov na pamäť na približne 1 GB RAM.

- c) Vznietenie korunového požiaru jednotlivého stromu od postupujúceho požiaru trávy (Obr. 3). Strom mal kužeľovitú korunu s podstavou 1m nad povrchom zeme a výškou 6m. Oblasť mala rozmer 10 m x 10 m x 8 m, rozdelená bola na 100 x 100 x 80 (t.j. 800,000) buniek. Rýchlosť vetra bola 1.4 ms^{-1} vo výške 2m. Simulácia 120 s požiaru si vyžiadala približne 15 hodín CPU času na procesore Pentium IV 3GHz a približne 800 MB RAM.
- d) Požiar budovy a okolitej skupinky stromov (Obr. 4). Oblasť mala rozmer 18 m x 16 m x 8 m, rozdelená bola na 144 x 128 x 64 (t.j. 1,179,648) buniek. Budova zo smrekového dreva s pôdorysom 3m x 4m a výškou 3m bola obklopená skupinou stromov podobných rozmerov ako v predošlých prípadoch. Požiar trávy viedol k vznieteniu stromov v okolí budovy a od nich sa následne vznietila aj samotná budova. Rýchlosť vetra bola 1 ms^{-1} vo výške 2m. Simulácia 50 s požiaru si vyžiadala približne 13 hodín CPU času na procesore Pentium IV 3GHz a približne 1 GB RAM.

Záver

Fyzikálne modely požiarov, či už lesných, požiarov v ľudských konštrukciách alebo v intraviláne sú dnes jednou z najperspektívnejších oblastí výskumu požiarov. Aj keď ich výpočtové nároky sú mimoriadne veľké a nedajú sa použiť v reálnom čase, pomáhajú pochopiť presný mechanizmus požiaru v oblastiach, ktoré sú za hranicou možností semiempirických modelov. Dajú sa využiť na skúmanie hypotetických požiarov a požiarnej bezpečnosti konkrétnych lokalít a perspektívne aj k aktívnej podpore rozhodovania v priebehu

hasiacich prác. Systém WFDS, nadväzujúci na úspešný program FDS, ktorého kvalitu garantuje významná výskumná inštitúcia akou je NIST, predstavuje najpokročilejší systém na simuláciu požiarov intravilánu. Je schopný už za súčasného stavu simulovať dôležité procesy v priebehu horenia a dá sa očakávať, že jeho možnosti sa budú časom výrazne rozširovať.

PodĎakovanie

Táto práca bola čiastočne podporovaná agentúrou APVT prostredníctvom finančnej podpory č. APVT-51-037902, APVV-0532-07 a agentúrou VEGA č. 2/7097/27

Literatúra

- [1] Viegas, D. X. Analysis of Eruptive Fire Behaviour. *Forest Ecology and Management* 234S/2006. s. 5
- [2] Weisenpacher, P. Možnosti systému WFDS pri simulácii lesných požiarov. In *Ochrana území postihnutých ničivými prírodnými pohromami: zborník príspevkov. - Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene : Žilinská univerzita v Žiline, 2007. s. 227-237.*
- [3] Weber, R. O. Modeling fire spread through fuel bed. *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 17/1/1991. s. 67-82
- [4] Larini, M.; Giroud, F.; Porterie, B.; Loraud, J.-C. A multiphase formulation for fire propagation in heterogeneous combustible media. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 41/1997. s. 881-897
- [5] Pastor, E.; Zarate, L.; Planas, E.; Arnaldos, J. Mathematical models and calculations systems for the study of wildland fire behavior. *Progress in Energy and Combustion Science* 29/2003. s. 139-153
- [6] Finney, M. A. FARSITE: Fire Area Simulator - Model Development and Evaluation. Res. Pap. RMRS-RP-4, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Marec 1998.
- [7] Halada, L.; Weisenpacher, P.; Glasa, J. Reconstruction of the forest fire propagation case when people were entrapped by fire. *Forest Ecology and Management* 234S/2006. s. 127
- [8] 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. s. 59-74*
- [9] Linn, R. R. Transport model for prediction of wildfire behavior, Los Alamos National Laboratory, Scientific Report LA13334-T.
- [10] Grishin, A. M. A mathematical modelling of forest fires and new methods of fighting them. *Publishing House of the Tomsk University, Tomsk, Russia*, Albin F.(Eds.)
- [11] Séro-Guillaume, O.; Margerit, J. Modelling forest fires. Part I: a complete set of equations derived by extended irreversible thermodynamics. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 45/2002. s. 1705-1722
- [12] Margerit, J.; Séro-Guillaume, O. Modelling forest fires. Part II: reduction to two-dimensional models and simulation of propagation. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 45/2002. s. 1723-1737
- [13] Morvan, D.; Dupuy, J. L.; Pimont, F.; Linn, R. R. Numerical study of grassland fires behaviour using a physical multiphase formulation. *Forest Ecology and Management* 234S/2006. s. 90

- [14] Mell, W. E.; Manzello, S. L.; Maranghides, A. Numerical Modeling of Fire Spread through Trees and Shrubs. *Forest Ecology and Management* 234S/2006. s. 82
- [15] Mell, W. E.; Jenkins, M. A.; Gould, J.; Cheney, P. A physics-based approach to modelling grassland fires. *International Journal of Wildland Fire* 16(1)/2007. s. 1-22
- [16] Mcgrattan, K. B. Editor: Fire Dynamics Simulator (Version 4), Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1018, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, Júl 2004.
- [17] Mcgrattan, K. B. Editor: Fire Dynamics Simulator (Version 4), User's Guide. NIST Special Publication 1019, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, Júl 2004.
- [18] Rehm, R. G.; Baum, H. R. The Equations of Motion for Thermally Driven, Buoyant Flows. *Journal of Research of the NBS* 83/1978. s. 297-308
- [19] Morvan, D.; Dupuy, J. L. Modeling the propagation of a wildfire through a Mediterrean shrub using a multiphase formulation. *Combustion and Flame* 138/2004. s. 199–210

Resume

At the present time, wildland-urban interface (WUI) fire models are one of the most perspective areas of fire research. They could provide important results even in situations, where the possibilities of semi-empirical models are fundamentally limited. These models are not suitable to capture local events in strongly heterogeneous environment, for example event on the scale of particular tree, small group of trees or WUI. As a linear models, they do not have a mechanism to involve non-linear processes which are inherently connected with fire dynamics. The practical consequence of this imperfection is of high importance, because non-linear, abrupt eruption leads to many death accident among fire fighters, who does not expect such variable fire behaviour. And finally, they do not take into account the mutual interaction between fire and atmosphere.

From these reasons, WUI models can significantly contribute to knowledge of mechanism of fire itself as well as to provide a tool for fire safety testing in specific locations and promisingly for decision support during the fires. WFDS system is extraordinary suitable for this purpose, because of his connection with widely used FDS system provided by important research institute as NIST. WFDS solve some simplified form of fluid dynamics conservation equations supplemented by a possibility to include also vegetational fuel into simulation. It is modelled to be comprised of uniformly distributed particles with given density and surface to volume ratio. This feature allows to simulate not only fires in human structures, but also fires in wildland-urban interface. Although this system is still under development, it is able to describe important features of the fire in WUI. We used this system to perform a set of simulations covering some typical scenarios which occur during WUI fires. It includes situations like for example surface fire spread among the group of trees, surface fire spread in the forest, crown fire ignition of a particular tree from a surface fire and finally the fire of hut and surrounding group of trees. The results of these simulations are presented in the figures of this article. Although this simulations were not compared with experiment, the main expected features of the fire were reproduced successfully.