

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA**

Evidenčné číslo: SvF-5343-39173

**VYUŽITIE GRAFICKÉHO POUŽÍVATEĽSKÉHO
ROZHRANIA PRI SIMULÁCII POŽIARU V STAVEBNOM
PRIESTORE
DIPLOMOVÁ PRÁCA**

Študijný program: Matematicko-počítačové modelovanie

Číslo študijného odboru: 1114

Názov študijného odboru: 9.1.9 aplikovaná matematika

Školiace pracovisko: Ústav informatiky SAV

Vedúci záverečnej práce/školiť: RNDr. Ján Glasa, CSc.

Bratislava 2012

Bc. Lukáš Valášek

Čestné prehlásenie

Vyhlasujem, že som diplomovú prácu vypracoval samostatne s použitím uvedenej odbornej literatúry a s odbornou pomocou vedúceho práce.

Bratislave 18. 05. 2012

.....

Vlastnoručný podpis

Pod'akovanie

Chcem sa pod'akovať vedúcemu práce RNDr. Jánovi Glasovi, CSc. za cenné rady, odbornú pomoc a konzultácie pri vytváraní diplomovej práce a vedeniu ÚI SAV za poskytnutie možnosti podieľať sa na výskume počítačovej simulácii požiarov.

Súhrn

Požiare v kine nie sú časté, ale z času na čas sa vyskytujú. Pri požiaroch v kine je ohrozené to najcennejšie, a to ľudský život. Dochádza aj k vedľajším stratám, ako sú poškodenie zariadenia alebo aj zničenie celého kina. Preto sa otázkam požiarnej bezpečnosti venuje mimoriadna pozornosť. Jedným z účinných prostriedkov na návrh protipožiarnych opatrení v kinách je počítačová simulácia, ktorá imituje reálny proces horenia využitím počítačovej technológie a simulačných systémov. V dnešnej dobe už existujú viaceré simulačné systémy založené na rôznych prístupoch k modelovaniu požiaru. Táto práca sa zaoberá analýzou možností grafického používateľského rozhrania PyroSim vytvoreného pre simulačný program FDS (Fire Dynamics Simulator) založený na princípoch teórie počítačovej dynamiky tekutín a plynov pre simuláciu požiaru v kine. Na tento účel bolo potrebné vytvoriť model kina, ktorý predstavuje stavbu s viacerými konštrukčne komplikovanými časťami, na ktorom demonštrujeme možnosti systému PyroSim a vytvoríme potrebné vstupy pre program FDS. Práca analyzuje výsledky simulácie dvoch požiarnych scenárov šírenia požiaru a toxického dymu v kine a na základe tejto analýzy diskutuje o bezpečnostných rizikách požiaru v kine.

Kľúčové slová: matematické modelovanie a počítačová simulácia požiaru, požiar v kine, simulačný systém FDS, grafické používateľské rozhranie PyroSim

Abstract

Cinema fires are not very frequent, but they occur from time to time. They threaten human lives and cause other damages, such as the damage of cinema equipment, or partial or even complete cinema destruction. Therefore, fire safety questions must be considered with special attention. Computer simulation belongs to effective means for designing fire prevention measures in cinemas. It allows to imitate real combustion process using computer technology and simulation systems. Nowadays, several simulation systems based on different approaches to fire modelling are available. This work deals with the analysis of possibilities of the graphical user interface PyroSim for the simulation program FDS (Fire Dynamics Simulator based on principles of the computer fluid dynamics theory) for cinema fire simulation. For such a purpose, it is necessary to create a model of cinema representing a building with structurally more complicated parts. Then we demonstrate abilities of PyroSim and prepare inputs for the FDS simulation. The simulation results for a two fire scenarios of the spread of fire and toxic smoke in the cinema are analysed, and following this analysis possible safety risks of the fire are discussed.

Key words: mathematical modelling and computer simulation of fire, fire in the cinema, simulation FDS system, Graphical User Interface PyroSim

Obsah

Úvod	1
1. Ciele práce	5
2. Matematické modelovanie a počítačová simulácia požiaru	6
3. Vytvorenie geometrie kina	8
3.1. Reprezentácia výpočtovej oblasti a v nej sa nachádzajúcich objektov v systémoch FDS a PyroSim	9
3.1.1. Prekážky	10
3.1.2. Otvor typu HOLE.....	21
3.1.3. Otvor typu VENT.....	24
3.2. 3D model kina.....	26
3.3. Vytváranie geometrie kina v systéme PyroSim.....	28
4. Simulácia požiaru v kine	37
4.1. Opis požiarnych scenárov	37
4.2. Simulácia požiaru v kine.....	38
4.3. Analýza výsledkov simulácie: prvý požiarne scenár.....	40
4.4. Analýza výsledkov simulácie: druhý požiarne scenár.....	52
5. Záver	59
Literatúra	60
Príloha I - Vstupné FDS súbory pre simuláciu požiaru v kine.....	63
Príloha II - Program na vytvorenie vstupov pre zakrivený strop	75
Príloha III - 3D animácie vizualizácie požiaru v kine	77

Úvod

Požiare v kine nie sú časté, ale z času na čas sa vyskytujú. Pri požiaroch v kine je ohrozené to najcennejšie, a to ľudský život. Dochádza aj k vedľajším stratám, ako sú poškodenie zariadenia alebo zničenie celého kina. Pri zisťovaní, ako sa budú požiar a toxické plyny šíriť, máme v dnešnej dobe dve možnosti: reálny pokus alebo simuláciu. Pri reálnom požiarom teste sa sníma priebeh požiaru a čidlami sa merajú rôzne fyzikálne veličiny. Tento spôsob zisťovania šírenia požiaru a toxických plynov je náročný na meraciu aparatúru a financie, nakoľko pri pokuse je reálna stavba a interiér stavby nenávratne zničený. Súčasne pri reálnom pokuse sú požadované vysoké nároky na požiaru bezpečnosť a bezpečnosť osôb vykonávajúcich požiaru skúšku. Navyše, požiarne skúšky obvykle neumožňujú otestovať všetky možné požiarne scenáre, ktoré sa môžu v kine alebo v komplexe, pozostávajúceho z viacerých kinosál, vyskytnúť. Zároveň môže vzniknúť situácia, kedy potrebujeme zistiť priebeh šírenia požiaru a toxických plynov, ale nemáme možnosť urobiť reálny pokus (napr. budova je stále využívaná). Pri takýchto situáciách sa veľmi často vyžíva počítačová simulácia. Počítačová simulácia imituje reálny proces využitím počítačovej technológie a simulačných systémov a umožňuje meniť parametre testovaného požiarneho scenára podľa požiadaviek užívateľa.

Požiar je veľmi komplikovaný a komplexný jav vyskytujúci sa v rôznych prostrediach pri veľmi premenlivých podmienkach. Navyše, existuje množstvo okolností, ktoré ovplyvňujú vznik požiaru a teda tiež množstvo scenárov, ako sa v danom priestore požiar môže šíriť. Požiar je komplexný jav, ktorý zahŕňa najmä spaľovanie, vyžarovanie tepla, turbulenciu, dynamiku tekutín a ďalšie fyzikálne a chemické procesy. Matematické modelovanie požiaru vyžaduje dobrú znalosť všetkých týchto procesov a kvalifikované poznanie všetkých vstupných parametrov, ktoré charakterizujú požiarne vlastnosti horľavých materiálov a predmetov v danom priestore tak, aby sa správne určil vplyv prostredia a počiatkové a okrajové podmienky. Súčasné softvérové systémy, ktoré riešia modelovanie a simuláciu požiaru v rôznych prostrediach a podmienkach, sú tvorené množstvom výpočtových procedúr založených na diskretizácii a numerickom riešení systému parciálnych diferenciálnych rovníc. Je dôležité poznať ohraničenia a predpoklady všetkých týchto výpočtových procedúr. S numerickým riešením tiež súvisia požiadavky na výpočtovú silu počítača. Matematické modelovanie požiarov musí brať do úvahy aspekty, ako sú aerodynamika, viacfázové prúdenia, spaľovanie, turbulentné premiešavanie produktov spaľovania, šírenie

radiácie a prenos tepla v čase. K ťažkostiam pri modelovaní požiaru patrí veľký rozsah ťažko dostupných informácií o horľavých materiáloch, komplexnosť chemickej a fyzikálnej dynamiky horenia, často zložitost' geometrie (topológie) priestoru, matematická náročnosť riešenia sústav parciálnych diferenciálnych rovníc a mimoriadne nároky na výkon počítača. Napriek obrovskému pokroku v poznaní fyzikálnych a chemických procesov prebiehajúcich pri požiaroch a ich matematického riešenia, toto poznanie nie je stále dostatočné a vyžaduje ďalšie zlepšovanie a vývoj stále lepších, spoľahlivejších simulačných systémov.

Princípy počítačovej simulácie požiaru boli formulované v sedemdesiatych rokoch minulého storočia vo forme **zónových modelov** a neskôr **multi-zónových modelov** [18, 2, 21, 8]. V týchto modeloch sa priestor, v ktorom prebieha požiar, rozdelí na dve oddelené relatívne homogénne časti (zóny). Teplejšia horná zóna obsahuje väčšinu tepla a dymu a chladnejšia spodná zóna je významne menej ovplyvnená požiarom a dymom. Teoretickým základom týchto modelov sú zákony zachovania hmotnosti a energie doplnené modelmi opisujúcimi ďalšie fyzikálne procesy, ako sú šírenie plameňov, tok plynov cez otvory, prenos tepla a pyrolýza tuhých látok. Ďalším typom modelov sú **CFD (Computational Fluid Dynamics) modely** založené na poznatkoch teórie počítačovej dynamiky tekutín, ktorá umožňuje popísať požiar v priestore so zložitou geometriou a zapracovať širokú škálu fyzikálnych javov [5]. CFD je interdisciplinárny vedný odbor spájajúci vedecké poznatky fyziky (mechaniky tekutín a termomechaniky) a matematiky (numerickej matematiky). Cieľom je pomôcť softvéru a vysokovýkonným počítačom simulovať fyzikálne javy najrôznejšej komplexnosti. Pre korektné modelovanie fyzikálnych dejov spojených s prúdením tekutín sa vychádza z troch základných princípov prúdenia zo zachovania hmotnosti, hybnosti a energie. Tieto princípy vyjadrujú v mechanike tekutín rovnica kontinuity, pohybové rovnice a rovnice energie, ktoré sa formulujú spravidla ako systém parciálnych diferenciálnych rovníc, tzv. Navierove-Stokesove rovnice, v ktorých vystupujú derivácie 1. a 2. rádu podľa polohy v priestore a derivácie 1. rádu podľa času [17]. Rýchly rast výpočtového výkonu počítačov a pokroky v CFD viedli k vývoju CFD modelov založených na RANS (Reynoldsov spriemernený tvar Navier-Stokesových rovníc). Tieto modely boli vyvinuté ako časovo spriemernená aproximácia radiacích rovníc dynamiky tekutín. Rovnice popisujúce prenos hmoty, hybnosti a energie prostredníctvom toku plynov vyvolaného požiarom musia byť zjednodušené tak, aby mohli efektívne riešiť daný požiarový scenár. Všeobecné rovnice dynamiky tekutín popisujú tiež viaceré fyzikálne javy, ktoré nemajú nič spoločné s požiarom a ich riešenie by bolo veľmi zložité. V práci [22] boli odvodené zjednodušené rovnice popisujúce šírenie požiaru pre nízke Machové čísla, ktoré popi-

sujú nízkorýchlostné prúdenia plynov. Tieto rovnice sa následne riešia numericky na ortogonálnych trojrozmerných mriežkach. Hustota týchto mriežok výrazne ovplyvňuje zložitosť a presnosť výpočtu, a vyžaduje spravidla veľký výpočtový výkon počítača. V súčasnosti existujú viaceré pokročilé CFD systémy na simuláciu požiaru, ako sú napr. CFX, SMARTFIRE a FDS [3, 6, 14]. K niektorým z týchto systémoch existujú aj podporné programy (ako je napr. grafické používateľské rozhranie PyroSim pre simulačný systém FDS).

Systém **FDS** (Fire Dynamics Simulator) [14] patrí k pokročilým simulačným CFD systémom. Používa sa na simuláciu priebehu požiaru a pohybu dymu, odhad teplotných tokov a koncentrácie toxických látok uvoľnených pri požiari a iných parametrov požiaru. FDS je voľne dostupný systém vyvinutý v NIST (National Institute of Standards and Technology, USA). Všetky vstupné údaje sú sústredené v jedinom textovom vstupnom súbore. V prípade stavebných priestorov s komplikovanejšou geometriou (ku ktorým môže patriť aj kino) môže byť vytvorenie vstupného FDS súboru prácne a časovo náročné. Veľká časť práce pri vytváraní vstupného FDS súboru spočíva v definovaní geometrie priestoru a telies, ktoré sa v ňom nachádzajú a môžu sa ohrievať, horieť, viesť teplo a byť prekážkou voľnému toku plynov v danom priestore. Okrem prekážok je potrebné modelovať otvory v telesách a na hraniciach oblasti. Tieto otvory môžu byť rôzneho typu a môžu umožňovať tok plynov cez telesá, do výpočtovej oblasti alebo z výpočtovej oblasti, alebo vháňať plyny do výpočtovej oblasti, alebo ich z nej odsávať. Všetky objekty, ktoré sa nachádzajú v priestore, v ktorom sa simuluje priebeh požiaru, musia rešpektovať rozdelenie výpočtovej oblasti na tzv. ortogonálne výpočtové mriežky zložené z buniek. Najčastejšie sa používajú mriežky s bunkami tvaru kocky. V diplomovej práci budeme skúmať možnosti grafického používateľského rozhrania PyroSim na uľahčenie práce pri vytváraní vstupnej geometrie kina pre účely simulácie požiaru pomocou systému FDS.

PyroSim [10] je grafické používateľské rozhranie (GPR) pre simulačný systém FDS. Systém PyroSim vyvinula americká spoločnosť Thunderhead Engineering (USA) v r. 2008. K základným funkciám GPR PyroSim patrí interaktívne vytváranie komplexnej geometrie priestoru, v ktorom sa modeluje požiar (vytváranie modelov stavieb pomocou pôdorysov, vytváranie opakujúcich sa objektov, zakrivených stien a iných komplexných prvkov stavieb, ako napríklad schodište a pod.), importovanie existujúcich vstupných FDS súborov a v určitej obmedzenej miere [24] i modelov vytvorených v softvérovej aplikácii AutoCAD (Computer Aided Design vyvinutý pre 2D a 3D dizajn). Súčasná verzia GPR PyroSim (PyroSim 2011) integruje okrem editora geometrie pre FDS aj samotný systém FDS (verzia 5) a vizualizačný program Smokeview, ktorý je súčasťou FDS.

Viacere práce v odbornej literatúre sa týkajú počítačovej simulácie šírenia požiarov a dymu v rôznych stavebných priestoroch pomocou systému FDS, ako sú napríklad požiar v divadle [25, 27], požiar v supermarkete [12], požiar v miestnosti [13], požiar v administratívnej budove [23], požiar v otvorenom priestore [1] a rôznych scenárov evakuácie pri požiari [7]. GPR PyroSim sa použilo pri simulácii požiaru v administratívnej budove [23] a pri optimalizovaní stratégie zásahu požiarnikov v otvorenom priestore [1].

Táto práca vznikla na Ústave informatiky SAV (ÚI SAV) v Bratislave, kde som mal možnosť sa v tomto školskom roku podieľať na výskume počítačovej simulácie požiarov. Na ÚI SAV sa problematike simulácie požiarov venujú viac ako desať rokov a zaoberajú sa simuláciou lesných požiarov [4] a požiarov v uzavretých a polouzavretých priestoroch [5, 26]. Počas môjho prvého pracovného pobytu na ÚI SAV (v školskom roku 2010/2011) som sa zoznámil s GPR PyroSim a simulačným systémom FDS a zaoberal som sa analýzou prenosu geometrie dvojposchodového rodinného domu medzi systémami AutoCAD a FDS pomocou GPR PyroSim. Výsledkom tohto výskumu bola výskumná správa [24], ktorá je dostupná na ÚI SAV. V tejto správe je opísaná štruktúra a organizácia modelu v systéme AutoCAD pred importom do GPR PyroSim a import objektov vo formátoch dxf a stl. Opis postupu pri importe objektov vo formáte stl predstavuje originálny výsledok (nie je v súčasnom manuáli GPR PyroSim uspokojivo opísaný). Zároveň sme pri analýze prenosu zložitých modelov medzi systémami AutoCAD a FDS zistili, že automatický prenos je možný iba v určitej miere, lebo reprezentácia objektov v systémoch AutoCAD a FDS sa významne líši. V diplomovej práci využijem znalosť GPR PyroSim a ho na interaktívne vytvorenie modelu kina a realizáciu dvoch požiarnych scenárov tomto kine.

Diplomová práca má nasledujúce členenie. 1. kapitola obsahuje formuláciu výskumných cieľov. V 2. kapitole sa venujeme matematickým modelom požiaru a ich implementácii v simulačnom systéme FDS. V 3. kapitole sa zameriame na reprezentáciu výpočtovej oblasti a v nej sa nachádzajúcich objektov v systémoch FDS a PyroSim a na vytvorenie 3D modelu kina v GPR PyroSim, pričom dôraz kladieme na vytváranie komplexných konštrukčných prvkov modelu. V 4. kapitole opíšeme dva požiarné scenáre v danom kine, ktoré budeme následne simulovať, špecifikujeme vstupy pre simulačný systém FDS a analyzujeme výsledky simulácií a bezpečnostné rizika pre divákov nachádzajúcich sa počas požiaru v kinosále. V 5. kapitole zhodnotíme získané poznatky a dosiahnuté výsledky diplomovej práce a zároveň naznačíme budúce smery výskumu. Použitú literatúru uvedieme v 6. kapitole.

1. Ciele práce

Hlavným výskumným cieľom diplomovej práce je na príklade kina so zložitou geometriou demonštrovať možnosti použitia grafického používateľského rozhrania (GPR) PyroSim pre účely počítačovej simulácie požiaru v kine.

Pre úspešné splnenie stanoveného cieľa výskumu je potrebné riešiť nasledujúce úlohy (čiastkové ciele):

1. Analyzovať možnosti použitia GPR PyroSim na uľahčenie práce pri vytváraní niektorých prvkov so zložitou geometriou v stavebných priestoroch.
2. Vytvoriť geometriu kina vhodnú pre simulačný systém FDS v GPR PyroSim.
3. Formulovať dva scenáre požiaru v kine a vytvoriť kompletne vstupy pre simuláciu.
4. Analyzovať výsledky simulácií pre dané požiarne scenáre, priebeh požiaru a pohyb toxického dymu a vyhodnotiť bezpečnostné riziká požiaru v kine.

Čiastkovú úlohu č. 2 považujem pre túto diplomovú prácu za najdôležitejšiu a najnáročnejšiu, lebo ide o reprezentáciu komplexných prvkov stavby kina v priestorovej pravouhlej výpočtovej mriežke, ktorú je potrebné vytvoriť vo forme príkazov so špeciálnou syntaxou. Za zaujímavú považujem analýzu výsledkov simulácie (čiastková úloha č. 4).

2. Matematické modelovanie a počítačová simulácia požiaru

Systém FDS patrí k pokročilým systémom založeným na CFD modeloch pre šírenie požiaru. V tejto časti uvedieme určujúce rovnice, ktoré sa následne numericky riešia a ich hlavné zjednodušenia a aproximácie [15]. Systém FDS zahŕňa v súvislosti s modelovaním požiaru tieto komplexné procesy: modelovanie nízkorýchlostného prenosu tepla a spaľovania produktov požiaru, sálanie a konvektívny prenos tepla medzi plynmi a pevnými povrchmi, pyrolýzu, šírenie plameňa a plynov, aktiváciu sprinklerov, detektory tepla a dymu a hasenie.

Základom, z ktorého bol odvodený matematický model požiaru implementovaný v systéme FDS, sú štyri parciálne diferenciálne rovnice známe z teórie CFD: tri rovnice zodpovedajúce zákonom zachovania (hmotnosti, hybnosti a energie) a stavová rovnica:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = \dot{m}_b''' \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \mathbf{u}) + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} \mathbf{u} + \nabla p = \rho \mathbf{g} + \mathbf{f}_b + \nabla \cdot \tau_{ij} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h_s) + \nabla \cdot \rho h_s \mathbf{u} = \frac{Dp}{Dt} + \dot{q}''' - \dot{q}_b''' - \nabla \cdot \dot{\mathbf{q}}'' + \varepsilon \quad (3)$$

$$p = \frac{\rho R T}{\bar{W}}, \quad (4)$$

kde ρ je hustota, $\mathbf{u} = (u, v, w)$ je trojzložkový vektor rýchlosti, p je tlak, $\mathbf{f}_b$ je vonkajší vektor sily, τ_{ij} je tenzor napätia, h_s je hustota entalpie, $\dot{q}'''$ je tepelný výkon na jednotkový objem chemickej reakcie, $\dot{q}_b'''$ je energia prenesená do odparujúcich sa kvapôčok, $\dot{\mathbf{q}}''$ reprezentuje vodivý a radiačný tepelný tok, R je univerzálna plynová konštanta, T je teplota, $\bar{W}$ je molekulová hmotnosť zmesi plynov, t je čas, ∇ je operátor definovaný vzťahom $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$, $\mathbf{g}$ je gravitačné zrýchlenie, ε je rýchlosť, ktorou sa kinetická

energia transformuje na tepelnú a vzťah $\frac{Dp}{Dt}$ znamená $\frac{Dp}{Dt} = \frac{\partial p}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla p$.

Rovnice (1)-(3) sa v teórii CFD volajú rovnica kontinuity, pohybová rovnica a rovnica energie. Rovnice (1), (3) a (4) sú skalárne rovnice, pohybová rovnica je vektorová, t.j. predstavuje tri rovnice pre jednotlivé zložky vektora $\mathbf{u}$. To znamená, že teda

máme šesť parciálnych diferenciálnych rovníc (1)-(4) o šiestich neznámych: hustota ρ , rýchlosť $\mathbf{u} = (u, v, w)$, teplota T a tlak p . Všetky neznáme sú funkcie troch priestorových súradníc a času.

Uvedené rovnice boli ďalej zjednodušené a aproximované tak, aby zodpovedali prúdeniam obvyklým pri požiaroch (prúdeniam nižšej rýchlosti) a s ohľadom na ich numerické riešenie. Stavová rovnica (4) je aproximovaná tak, aby sa odfiltrovali príliš rýchle vlnenia (zvukové vlny), ktoré sú oveľa rýchlejšie ako typická rýchlosť produktov horenia (10-20 m/s). Táto aproximácia [22], ktorou sa zaviedol tzv. predpoklad vlnenia s nízkym Machovým číslom, zabezpečí, aby nebolo nutné pri riešení diskkrétnej formy tejto rovnice používať extrémne krátke časové kroky. Navier-Stokesove pohybové rovnice (2)

sa najprv upravili do tvaru $\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{F} + \nabla H = 0$, kde H je podiel celkového tlaku a hustoty,

a po aplikácii operátora divergencie získali tvar $\nabla^2 H = -\frac{\partial(\nabla \cdot \mathbf{u})}{\partial t} - \nabla \cdot \mathbf{F}$. Táto rovnica je

Poissonova a v systéme FDS sa efektívne numericky rieši pomocou metódy FFT (Fast Fourier Transform). Presnosť tohto výpočtu je veľmi dôležitá a má veľký vplyv na výstup simulácie. Aplikáciou FFT na efektívny výpočet Poissonovej rovnice (Poissonov solver) sa pre výpočtovú mriežku zaviedol dodatočný predpoklad na parametre mriežky (počet buniek v smere osí y a z je potrebné vybrať tak, aby bol súčinom mocnín čísel 2, 3 a 5). Hydrodynamický model v systéme FDS teda rieši numericky Navier-Stokesové rovnice pre nízkorýchlostné požiarom indukované prúdenia s dôrazom na prenos dymu a tepla z požiaru. Priestorové parciálne derivácie sú aproximované konečnými diferenciami 2. rádu a veličiny (popisujúce tok plynov) sú aktualizované v čase pomocou explicitnej schémy prediktor-korektor presnosti 2. rádu na trojrozmernej ortogonálnej mriežke. Turbulencie sa modelujú pomocou metódy LES (Large Eddy Simulation) [19] alebo pre veľmi husté výpočtové mriežky pomocou metódy DNS (Direct Numerical Simulation) [16]. Výsledky simulácie získané pomocou metódy LES sa so zvyšovaním hustoty mriežky blížia k výsledkom simulácií získaných metódou DNS. Pre simulácie vo väčších priestoroch (kam patrí aj simulácia požiaru v kine) sa teda používa metóda LES (ktorá je v systéme FDS defaultne nastavená). Spaľovanie sa modeluje vo FDS dvomi spôsobmi v závislosti od toho, či je použitá metóda LES alebo DNS. V prvom, častejšom prípade sa modeluje pomocou tzv. hmotnostných zlomkov, ktoré reprezentujú palivo a produkty horenia (hmotnostný zlomok je skalárna veličina definovaná ako podiel vzniknutého horľavého plynu v danom mieste prúdenia; hmotnostné zlomky všetkých hlavných

reaktantov a produktov sa dajú odvodiť z hmotnostných zlomkov zmesí pomocou laboratórnych analýz a meraní). Vyžarovanie (sálanie) tepla sa modeluje riešením rovnice prenosu tepla vyžarovaním pre tzv. „šedý plyn“ (grey gas). Rovnica sa rieši metódou konečných objemov pre konvektívny prenos (vyžaduje až 20% celkového výpočtového času simulácie). Aktivácia sprinklerov a detektorov tepla a dymu je modelovaná pomocou jednoduchšej korelácie tepelnej zotrvačnosti pre sprinklery a detektory tepla (oneskorená detekcia dymu).

Záverom možno konštatovať, že FDS model numericky rieši určitú upravenú formu Navier-Stokesových parciálnych diferenciálnych rovníc pre prípad nízkorýchlostného tepelne indukovaného prúdenia plynov, pričom model zahŕňa okrem nízkorýchlostného prúdenia produktov spaľovania aj tepelné žiarenie a vedenie tepla medzi plynom a povrchom telies, pyrolýzu, spaľovanie produktov pyrolýzy, šírenie plameňov a hasenie požiaru prostredníctvom aktivácie sprinklerov. Pre povrchy pevných telies je potrebné zadať tepelné okrajové podmienky a informácie o požiarnych vlastnostiach materiálov. FDS je možné použiť aj v prípade, keď sa v priestore nevyskytuje požiar (napr. na simuláciu prúdenia vzduchu, šírenie nebezpečných plynov v danom prostredí a pod.).

3. Vytvorenie geometrie kina

Všetky vstupné údaje, ktoré charakterizujú požiarny scenár, ktorý sa má realizovať, je potrebné zhromaždiť v jedinom textovom vstupnom súbore, ktorý obsahuje najmä:

- začiatok (**HEAD**) vstupného súboru s názvom vstupného FDS súboru,
- definíciu výpočtovej mriežky (**MESH**), resp. viacerých mriežok, ktoré určujú rozdelenie výpočtovej oblasti na bunky,
- dobu trvania (**TIME**) simulovaného požiaru v sekundách,
- opis požiarnych vlastností materiálov (**MATL**), z ktorých sú zložené objekty vo výpočtovej oblasti a okrajových podmienok (**SURF**) pre povrch telies a hranice výpočtovej oblasti,
- inicializačný zdroj požiaru,
- opis objektov a geometrie priestoru, v ktorom sa simuluje priebeh požiaru,
- opis požadovanej formy výstupných veličín,

- koniec (**TAIL**) vstupného súboru.

Základné prvky vstupného FDS súboru majú tvar príkazov s ustálenou syntaxou:

- znak **&** (rezervovaný znak označujúci začiatok príkazu),
- názov daného prvku (napr. **HOLE**),
- súbor parametrov, ktoré charakterizujú daný prvok, spravidla oddelených čiarkou (oddeľovač),
- znak **/** (označujúci ukončenie príkazu).

Všetky ostatné znaky vo vstupnom FDS súbore mimo takto definovaného príkazu sa považujú za komentár.

Vstupnými veličinami pre FDS simuláciu sú najmä topológia (geometria) priestoru, rozdelenie výpočtovej oblasti na mriežky, požiarne vlastnosti materiálov, ako sú napríklad merné teplo (specific heat), vodivosť (conductivity), hustota (density), spalné teplo (heat of combustion), počet reakcií (n reactions), reakčné teplo (heat of reaction), referenčná teplota (reference temperature), umiestnenie a intenzita inicializačného zdroja požiaru a ďalšie parametre simulácie (doba trvania požiaru, a pod.). Systém umožňuje rôzne formy výstupov: plošné, bodové, obrázkové, grafy a tabuľky. Výstupnými veličinami pre plynnú zložku sú napríklad teplota, rýchlosť, tlak a hustota plynov, koncentrácia plynnej zložky (vodnej pary, CO₂, CO, N₂), koncentrácia dymu a odhad viditeľnosti, tepelná produkcia jednotkového objemu, zmiešavací zlomok (pomer vzduchu a paliva) a hustota vodných kvapiek v jednotkovom objeme. Výstupnými veličinami pre povrch telies sú napr. povrchová a vnútorná teplota, radiačný a konvektívny tepelný tok, rýchlosť spaľovania a hustota vodných kvapiek na jednotkovej ploche. Výstupnými globálnymi veličinami sú napríklad celková produkcia tepla (HRR, Heat Release Rate), aktivačný čas sprinklerov a detektorov a hmotnostné a energetické toky.

3.1. Reprezentácia výpočtovej oblasti a v nej sa nachádzajúcich objektov v systémoch FDS a PyroSim

Výpočty vo FDS sú realizované vo výpočtovej oblasti rozdelenej na výpočtové mriežky (**MESH**). Napríklad príkazom

&MESH IJK=10,20,30, XB=0.0,1.0,0.0,2.0,0.0,3.0 /

rozdelíme výpočtovú oblasť tvaru pravouhlého kvádra XB o rozmeroch 1 x 2 x 3 m na 6000 buniek o rozmeroch 10 x 10 x 10 cm, t.j. na 10, 20 a 30 častí v smere x, y a z. Priestor XB je definovaný svojimi dvoma protiľahlými vrcholmi (0.0,0.0,0.0) a (1.0,2.0,3.0) s minimálnymi, resp. maximálnymi hodnotami súradníc oblasti.

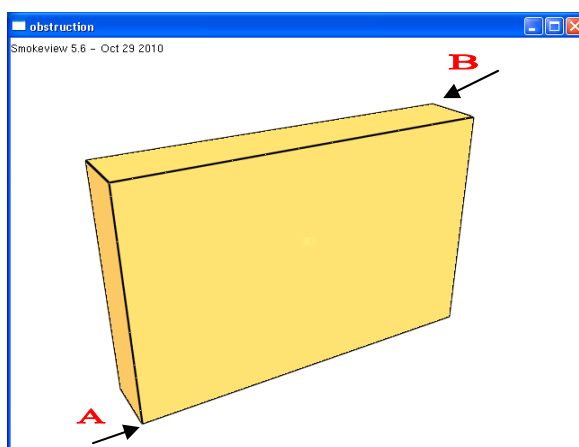
Medzi základné prvky, ktoré definujú geometriu priestoru a telies v priestore, patria prekážky (OBST) a otvory typu HOLE (HOLE) a VENT (VENT).

3.1.1. Prekážky

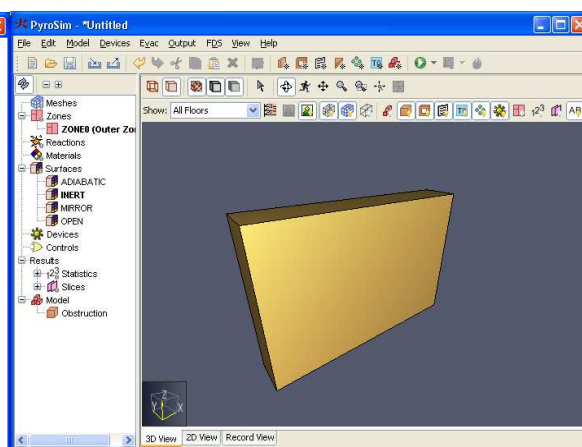
Prekážky sa vo **FDS** reprezentujú príkazom OBST. Napríklad

&OBST XB=0.0,3.0,0.0,0.5,0.0,2.0 / Obstruction

znamená prekážku tvaru pravouhlého kvádra XB so stenami rovnobežnými so súradnicovými rovinami o rozmeroch 3 x 0,5 x 2 m, ktorý je definovaný svojimi dvoma protiľahlými vrcholmi (0.0,0.0,0.0) a (3.0,0.5,2.0) s minimálnymi, resp. maximálnymi hodnotami súradníc prekážky (na Obr. 1, ktorý predstavuje vizualizáciu tejto vytvorenej prekážky v systéme FDS, sú tieto body označené ako body A a B).



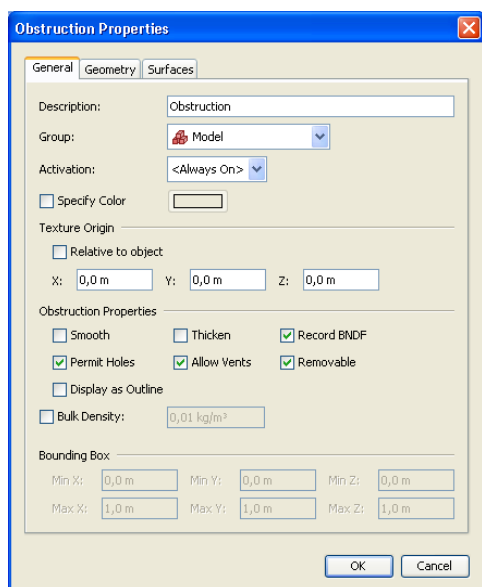
Obr. 1 Prekážka zobrazená vo FDS



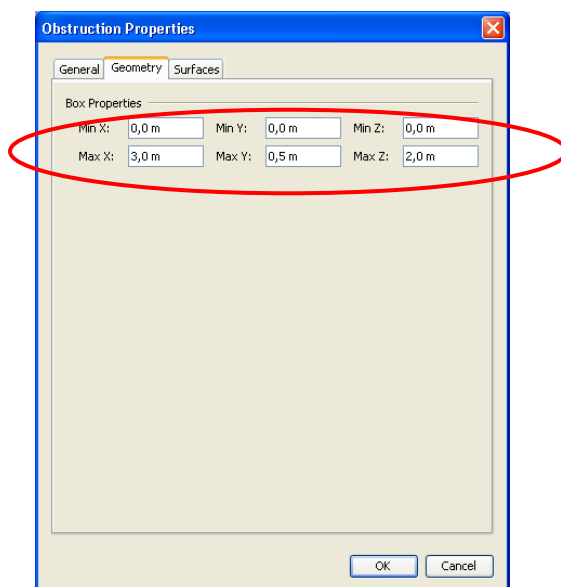
Obr. 2 Prekážka vytvorená v PyroSim-e

Obr. 2 znázorňuje stenu miestnosti (**WALL**) v danom stavebnom priestore, vytvorenú v GPR **PyroSim**, ktorá je reprezentovaná prekážkou z Obr. 1. Na tomto príklade si ukážeme postup pri vytvorení prekážok v PyroSim-e:

- 1) V režime **3D View** klikneme na nástroj  na vytvorenie novej prekážky (13. ikona na druhej lište zhora, Obr. 2), pričom sa otvorí okno s vlastnosťami prekážky (**Obstruction Properties**, vid'. Obr. 3).
- 2) Z ponúkaných možností vyberieme editovanie geometrie prekážky (**Geometry**, vid'. Obr. 3) a zadáme požadované rozmery prekážky v metroch (vid'. Obr. 4).
- 3) Nastavíme ďalšie vlastnosti prekážky.

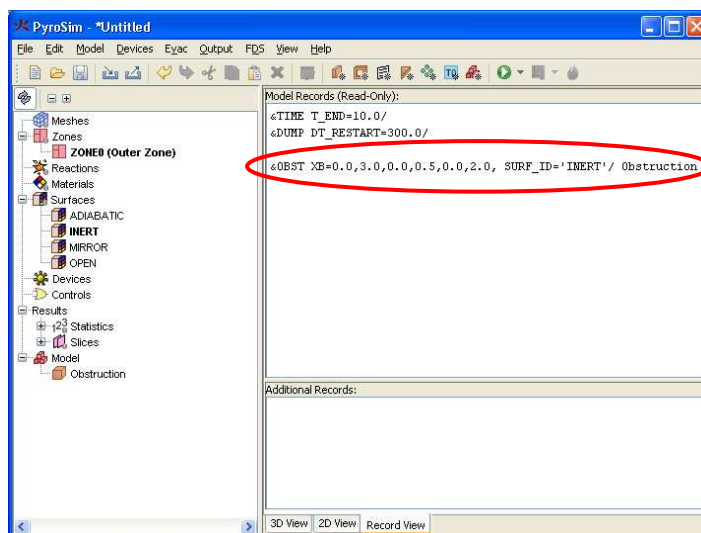


Obr. 3 Okno s vlastnosťami prekážky



Obr. 4 Editovanie rozmerov prekážky

Výslednú syntax prekážky vo vytváranom vstupnom FDS súbore si môžeme pozrieť v režime **Record View** v PyroSim-e (vid'. dolnú lištu na Obr. 2). Po kliknutí sa nám zobrazí vstupný FDS súbor (vid'. Obr. 5).



Obr. 5 Zobrazenie vstupného FDS súboru v PyroSim-e

V **PyroSim-e** je možné vytvárať steny (**WALL**) aj jednoduchším spôsobom bez prácného zadávania súradníc. PyroSim umožňuje vložiť obrázok na pozadie (Background Image) v režime 2D View, kde môžeme jednotlivé steny vytvárať pomocou myši. Po vytvorení prekážky nastavíme vlastnosti prekážok (povrchové vlastnosti, farba, priehľadnosť, obrysy).

Vo **FDS** sa okrajové podmienky pre povrch telesa (reprezentovaného povrchom prekážky) definujú pomocou parametrov **SURF_ID**, **SURF_IDS** a **SURF_ID6** s nasledujúcou syntaxou:

```
<OBST XB=0.0,3.0,0.0,0.5,0.0,2.0, SURF_ID='INERT' /
```

```
<OBST XB=0.0,3.0,0.0,0.5,0.0,2.0, SURF_IDS='CONCRETE', 'WOOD', 'CONCRETE' /
```

```
<OBST XB=0.0,3.0,0.0,0.5,0.0,2.0, SURF_ID6='ADIABATIC', 'ADIABATIC', 'STEEL',  
'STEEL', 'CONCRETE', 'WOOD' /.
```

Štandardná (defaultná) okrajová podmienka (v prvom prípade) je hladký inertný povrch (**INERT**) s teplotou danou parametrom **TMPA** (okolitá teplota zadaná na inom mieste vstupného FDS súboru, defaultná hodnota tohto parametra je 20 °C). Parameter **SURF_ID** znamená, že daná okrajová podmienka sa priradí ku všetkým 6 stenám prekážky. V druhom prípade parameter **SURF_IDS** znamená, že danej prekážke sa priradia 3 typy okrajových podmienok: betón pre vrchnú stenu, drevo pre 4 zvislé steny a betón pre spodnú stenu prekážky. V treťom prípade parameter **SURF_ID6** znamená, že ku každej

stene prekážky sa priradí daná (iná) okrajová podmienka: adiabatický povrch pre steny rovnobežné s rovinou yz, železo pre steny rovnobežné s rovinou xz, betón pre spodnú stenu a drevo pre vrchnú stenu prekážky.

Vo **FDS** rozoznávame pre povrchy tieto typy okrajových podmienok:

- **ADIABATIC** – nedochádza k žiadnej tepelnej výmene medzi okolím (plynom) a povrchom telesa,
- **INERT** – nízku schopnosť vytvárať chemické zlúčeniny, teplota daná parametrom TMPA,
- **OPEN** – pasívne otvorenie smerom von z výpočtovej oblasti (aplikuje sa na hranice výpočtovej oblasti a na otvor typu VENT),
- **MIRROR** – zdvojnásobí veľkosť domény (aplikuje sa na hranice výpočtovej oblasti a na otvor typu VENT).

Okrajové podmienky OPEN a MIRROR sú rezervované pre otvor typu VENT. Požiarne vlastnosti materiálu (napríklad betón=CONCRETE) priradené danému povrchu sa popíšu na inom mieste vstupného FDS súboru. Príklad takéhoto popisu pre tehlovú stenu:

&OBST XB=0.0,3.0,0.0,0.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRICK WALL' / tehlová stena

&SURF ID = 'BRICK WALL'

MATL_ID = 'BRICK'

BACKING = 'EXPOSED'

THICKNESS = 0.20 /

&MATL ID = 'BRICK'

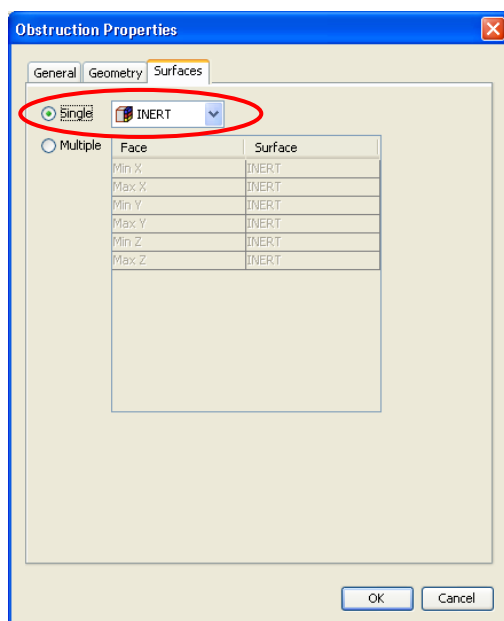
CONDUCTIVITY = 0.69

SPECIFIC_HEAT = 0.84

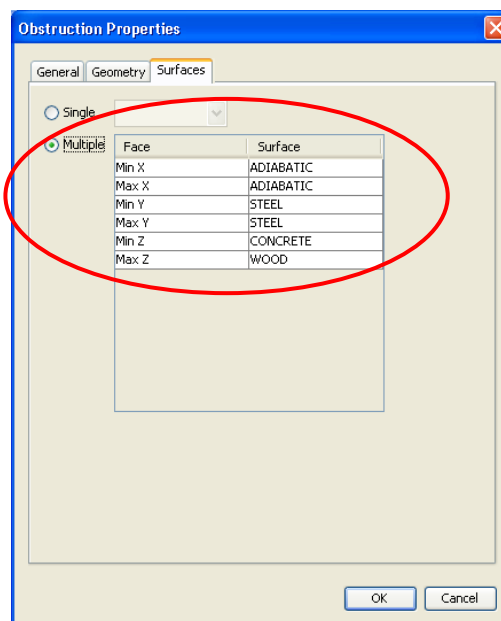
DENSITY = 1600. /

V **PyroSim**-e sú možnosti výberu okrajových podmienok (ADIABATIC, INERT, MIRROR, OPEN) zobrazené v režime Navigation View (na ľavej strane obrazovky na Obr. 2). V Navigation View vyberieme prekážku, ktorej vlastnosti povrchu chceme

nastaviť a pravým tlačítkom myši si vyberieme ponuku vlastností (**Properties**). Z ponúkaných možností vyberieme editovanie povrchu prekážky (**Surfaces**, vid'. Obr. 3) a vyberieme typ podmienky **Single** (čo zodpovedá povrchu SURF_ID), ak sa má podmienka vzťahovať na všetky steny prekážky a zvolíme typ povrchu prekážky (napr. **INERT**, vid'. Obr. 6), inak vyberieme typ podmienky **Multiple** a zvolíme povrch prekážky pre každú stenu prekážky osobitne (vid'. Obr. 7).



Obr. 6 Nastavenie okrajovej podmienky
INERT pre povrch prekážky



Obr. 7 Nastavenie rôznych okrajových
podmienok pre povrch stien prekážky

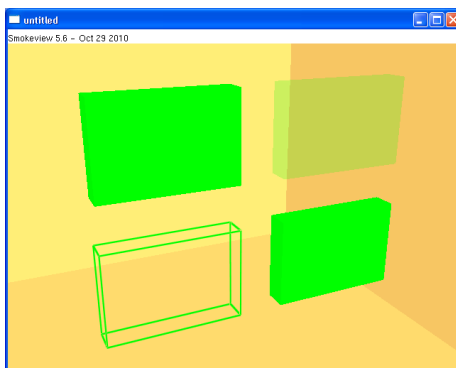
Ak majú dve prekážky jednu alebo viac spoločných stien alebo ich častí (**prekrývanie prekážok**), prekážka, ktorá je uvedená ako posledná, má prednosť. To znamená, že okrajové podmienky platné pre túto prekážku budú aplikované na príslušné časti stien ostatných prekrývajúcich sa prekážok. Vo FDS sa zobrazia všetky prekrývajúce sa prekážky samostatne, nezávisle na sebe, čím často dochádza k neprehľadnému šrafovaniu s rôznymi farbami povrchu na miestach, kde dochádza k prekrývaniu. Jednoduchým riešením tohto problému je mierne zmenšenie rozmerov všetkých skôr uvedených prekrývajúcich sa prekážok.

Parameter farby (**COLOR** alebo **RGB**) povrchu prekážky môžeme určiť špecifikovaním farby jej názvom alebo trojicou hodnôt nasledovne:

&OBST XB=0.0,3.0,0.0,0.5,3.0,5.0, COLOR='GREEN', SURF_ID='INERT'/ zelena

&OBST XB=0.0,3.0,0.0,0.5,3.0,5.0, RGB=0,255,0, SURF_ID='INERT'/ zelena,

kde GREEN zodpovedá zelenej farbe s RGB hodnotami (0,255,0), vid'. Obr. 8, (vľavo hore).



Obr. 8 Nastavenie farby, priehľadnosti a vykresľovanie obrysov prekážky

Parameter priehľadnosti (**TRANSPARENCY**) prekážky môžeme nastaviť hodnotou z intervalu $<0,1>$, pričom hodnota 0 znamená úplnú priehľadnosť (neviditeľnosť) prekážky a hodnota 1 znamená nepriehľadnosť prekážky. Napríklad

&OBST XB=4.0,7.0,0.0,0.5,3.0,5.0, COLOR='GREEN', TRANSPARENCY=0.2 /

reprezentuje zelenú čiastočne priehľadnú prekážku (vid'. Obr. 8, vpravo hore). Parameter priehľadnosti musí byť nastavený spolu s farbou prekážky, alebo môže byť uvedený v zodpovedajúcom riadku popisujúcom materiálové (okrajové) podmienky.

Parameter zobrazovania obrysov (**OUTLINE**) prekážky môžeme nastaviť voľbou hodnoty TRUE (pre vykreslenie obrysov prekážky, Obr. 8 vľavo dole) alebo FALSE (v takom prípade nie sú zobrazené neviditeľné hrany prekážky, Obr. 8 vpravo dole, identický s vľavo hore), pričom defaultná hodnota je FALSE:

&OBST XB=0.0,3.0,0.0,0.5,0.0,2.0, COLOR='GREEN', OUTLINE=.TRUE. /

&OBST XB=4.0,7.0,0.0,0.5,0.0,2.0, COLOR='GREEN', OUTLINE=.FALSE. /.

V **PyroSim**-e je možné hodnoty parametrov **TRANSPARENCY** (**COLOR** alebo **RGB**) nastaviť v nástroji **Specify Color** (Obr. 3), kde parameter **TRANSPARENCY**

zodpovedá parametru **Alpha** a parameter **OUTLINE** (voľba, **Display as Outline**) volíme zaškrknutím príslušného políčka.

Vo **FDS** existuje veľmi užitočný nástroj na vytváranie prekážok, ktoré sa viacnásobne opakujú, tzv. multiplikátor (**MULT**). Multiplikátor umožňuje výrazne skrátiť vstupný FDS súbor, aj keď jeho forma môže byť pre začínajúceho užívateľa dosť náročná. Jeho syntax a funkciu si ukážeme na jednoduchom príklade:

```
&MULT ID='south', DXB=0.1,-.1,0.1,0.1,0.1,0.1, N_LOWER=0, N_UPPER=9 / south
&OBST XB=0.0,2.0,0.0,0.1,0.1,0.2, MULT_ID='south', COLOR='BLUE' / obstruction.
```

Príkaz **MULT** obsahuje názov multiplikátora **south** a parameter **DXB**, ktorý popisuje šesticu prírastkov, ktoré sa pripočítajú (alebo odpočítajú) k šiestici XB určujúcej rozmery a polohu prekážky, na ktorú je multiplikátor aplikovaný. Potom nasledujú parametre **N_LOWER** a **N_UPPER**, ktoré určujú počet opakovaní prekážky. Uvedená dvojica parametrov funguje ako horná a dolná medza cyklu (opakovania sa prekážky). V uvedenom príklade sa multiplikátor **south** aplikuje 10-krát na modrú prekážku o rozmeroch 2 x 0.1 x 0.1 m nasledovne. Pre hodnotu $i = N_LOWER$ vytvoríme prvú modrú prekážku danú vrcholmi (0.0, 0.0, 0.1) a (2.0, 0.1, 0.2) a zvýšime hodnotu $i=i+1$. Kým $i \leq N_UPPER$, vytvárame ďalšie modré prekážky dané vrcholmi (0.0+ $i*0.1$, 0.0+ $i*0.1$, 0.1+ $i*0.1$) a (2.0+ $i*(-0.1)$, 0.1+ $i*0.1$, 0.2+ $i*0.1$). Týmto postupom sme vytvorili zložitý objekt zložený z 10 modrých prekážok, ktoré sa skracujú, ako stúpame smerom na vrchol objektu (viď. Obr. 9). Tento objekt je časťou jednoduchej šikmej strechy znázornenej na Obr. 10-11, ktorú vytvoríme pomocou troch ďalších multiplikátorov:

```
&MULT ID='north', DXB=0.1,-.1,-.1,-.1,0.1,0.1, N_LOWER=0, N_UPPER=9 / 2.
&OBST XB=0.0,2.0,1.9,2.0,0.1,0.2, MULT_ID='north', COLOR='ORANGE' /
```

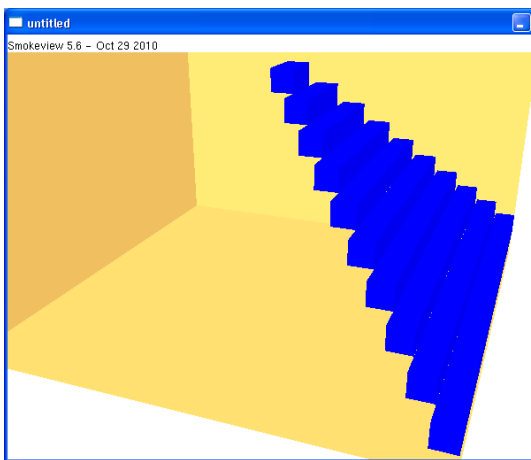
```
&MULT ID='east', DXB=-.1,-.1,0.1,-.1,0.1,0.1, N_LOWER=0, N_UPPER=9 / 3.
&OBST XB=1.9,2.0,0.1,1.9,0.1,0.2,MULT_ID='east', COLOR='GRAY' /
```

```
&MULT ID='west', DXB=0.1,0.1,0.1,-.1,0.1,0.1, N_LOWER=0, N_UPPER=9 / 4.
&OBST XB=0.0,0.1,0.1,1.9,0.1,0.2,MULT_ID='west', COLOR='GREEN' /.
```

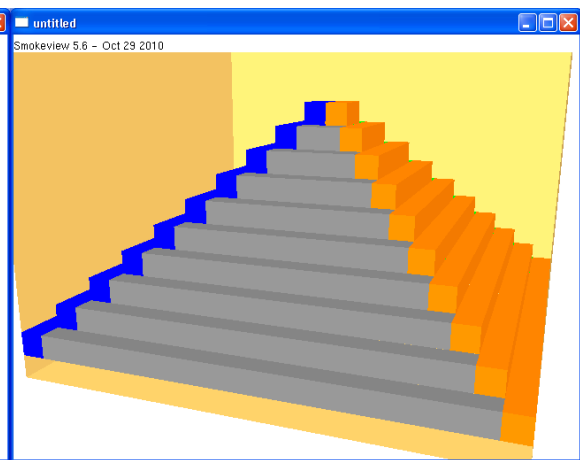
Ďalší príklad využitia multiplikátora je vytvorenie schodov (**stair**) hnedej farby (viď. Obr. 12):

```
&MULT ID='stair', DXB=0.8,0.8,0.0,0.0,0.5,0.5, N_LOWER=0, N_UPPER=5 /  
&OBST XB=0.0,0.8,0.0,2.0,0.0,0.5, MULT_ID='stair', COLOR='BROWN' / schod,
```

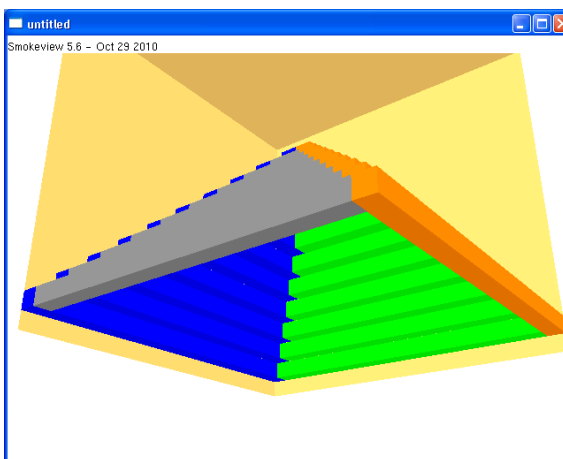
kde sa šesťnásobným opakovaním hnedej prekážky (**schod**), vytvorí schodisko aplikovaním multiplikátora **stair**.



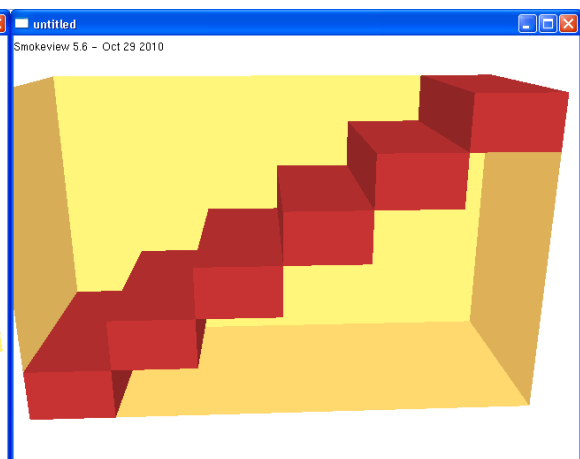
Obr. 9 Vytvorenie zložitého objektu



Obr. 10 Vytvorená strecha



Obr. 11 Vytvorená strecha (iný pohľad)



Obr. 12 Vytvorenie schodov

Vyššie opísaný postup pri vytváraní zložitejších prvkov stavby, ktoré sa skladajú z pravouhlých prekážok sa niekedy nazýva „stair-stepping“. V prípade šikmej strechy (alebo naklonenej roviny) stair-stepping zmení prúdenie plynov v blízkosti steny, ktorej povrch je v skutočnosti hladký. Jednou z možností, ako môžeme zmierniť **vplyv** stair-

stepping-u na prúdenie v blízkosti povrchu steny, je predpísanie parametra SAWTOOTH, ktorý určuje, či je povrch telesa vytvoreného pomocou prekážok „vyhladený“ (v prípade hodnoty FALSE) alebo stair-stepping spôsobí turbulentné prúdenie v oblasti ostrých rohov povrchu (v prípade hodnoty TRUE). Defaultná hodnota parametra SAWTOOTH je .TRUE. Parameter predpíšeme pre všetky prekážky, ktoré tvoria objekt vytvorený procesom stair-stepping. Využitie parametra SAWTOOTH nie je kompletným riešením problému: zabezpečuje, že prúdenie v blízkosti povrchu objektu, vytvoreného procesom stair-stepping, nie je neúmerne rušené turbulentnými prúdeniami v blízkosti ostrých rohov.

Napríklad naklonenú rovinu je možné vytvoriť pomocou pravouhlých prekážok, na ktoré bude aplikovaný parameter SAWTOOTH=.FALSE. Pripomíname, že výpočtová mriežka musí byť dostatočne hustá vzhľadom na rozmery prekážok. Ukážeme efekt vyhládzania aplikovaním hodnoty .FALSE.

Na Obr. 13 (vľavo) je znázornená naklonená rovina

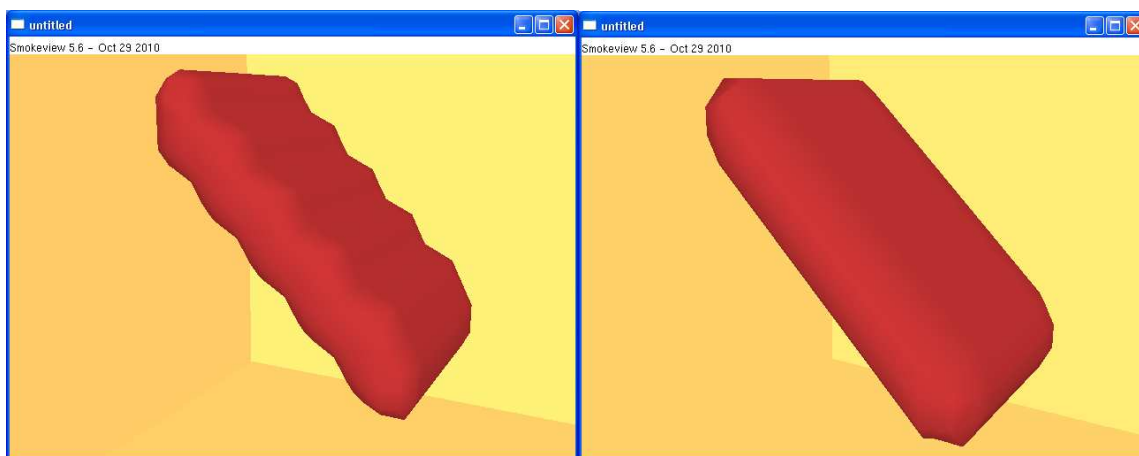
```
&MULT ID='stair', DXB=0,0,0.2,0.2,0.2,0.2, N_LOWER=0, N_UPPER=9 /
&OBST XB=0.0,2.0,0.0,0.2,0.0,0.2, MULT_ID='stair', COLOR='BROWN',
SAWTOOTH=.FALSE. / prva
```

```
&OBST XB=0.0,2.0,0.0,0.2,0.2,0.4, MULT_ID='stair', COLOR='BROWN',
SAWTOOTH=.FALSE. / druha
```

```
&OBST XB=0.0,2.0,0.0,0.2,0.4,0.6, MULT_ID='stair', COLOR='BROWN',
SAWTOOTH=.FALSE. / tretia ,
```

ktorá je vytvorená z 30 hranolov o rozmeroch 2 x 0.2 x 0.2 m aplikovaním multiplikátora stair na tri prekážky (prva, druha a tretia). Hustota výpočtovej mriežky je 13 cm.

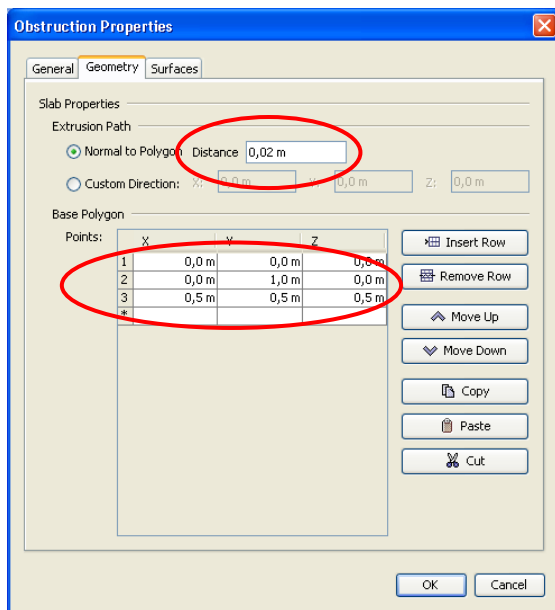
Na Obr. 13 (vpravo) je rovnakým spôsobom vytvorená naklonená rovina pri 10 cm hustote výpočtovej mriežky.



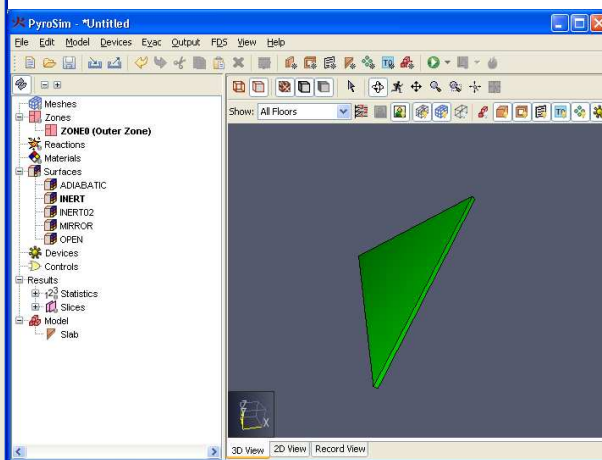
Obr. 13 Efekt potlačenia stair-steppingu, závislom na hustote mriežky

Konštrukcia multiplikátora v kombinácii s parametrom SAWTOOTH vo **FDS** je náročná. **PyroSim** poskytuje spôsob na efektívne vytváranie zložitých prvkov v stavbách danej hrúbky s polygonálnou podstavou, ktoré nemusia mať steny rovnobežné so súradnicovými rovinami (dosky) alebo ich kombinácií.

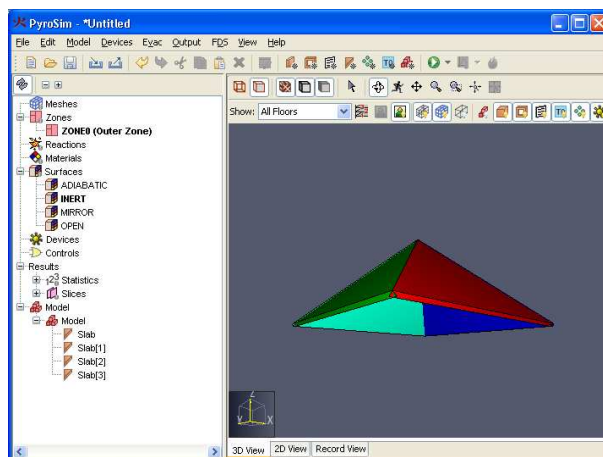
V režime **3D View** klikneme na nástroj  na vytvorenie dosky (**slab**) s polygonálnou podstavou (16. ikona na druhej lište zhora, Obr. 2), pričom sa otvorí okno s vlastnosťami prekážky (**Obstruction Properties**, vid'. Obr. 3), kde vyberieme editovanie geometrie dosky (**Geometry**, vid'. Obr. 3) a zadáme požadované rozmery: súradnice vrcholov polygonálnej podstavy v bodoch (**Poinst**) a hrúbku dosky (**Normal to Polygon Distance**) v metroch (vid'. Obr. 14). Výsledok tohto postupu je znázornený na Obr. 15. Obdobne vytvoríme ďalšie 3 časti (dosky) výslednej strechy určené vrcholmi (1.0,0.0,0.0), (0.0,0.0,0.0), (0.5,0.5,0.5); (1.0,1.0,0.0), (1.0,0.0,0.0), (0.5,0.5,0.5) a (0.0,1.0,0.0), (1.0,1.0,0.0), (0.5,0.5,0.5) a hrúbkou 0.02 m (vid'. Obr. 16).



Obr. 14 Vytvorenie dosky



Obr. 15 Vytvorená doska v PyroSim-e



Obr. 16 Strecha vytvorená v PyroSim-e

Na jednoduchom príklade si uvedieme efekt parametra SAWTOOTH v PyroSim-e. Na Obr. 17-18 je znázornené teleso tvaru kocky vytvorené ako jedna prekážka o rozmeroch 2 x 2 x 2 m, pričom nastavenie parametra SAWTOOTH sa urobí zaškrknutím políčka **smooth** v okne s nastavením vlastností prekážky (**Obstruction Properties**, Obr. 3).



Obr. 17 Kocka s parametrom
SAWTOOTH=.TRUE.

Obr. 18 Kocka s parametrom
SAWTOOTH=.FALSE.

3.1.2. Otvor typu HOLE

Ďalším prvkom na definovanie geometrie telies vo **FDS** je otvor typu **HOLE**, ktorý vytvorí otvor v prekážke, pričom z prekážky (alebo zo skupiny prekážok) bude odstránený definovaný objem (XB). Na Obr. 18 je zobrazená hnedozelená prekážka s rozmermi 3.0 x 0.5 x 2.0 m s otvorom typu HOLE, s rozmermi 1.0 x 0.52 x 1.5 m:

```
&OBST XB=0.0,3.0,0.0,0.5,0.0,2.0, RGB=51,51,0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&HOLE XB=1.0,2.0,-0.01,0.51,0.0,1.5/ Hole.
```

Takýto otvor nám môže reprezentovať (a vo väčšine prípadov aj reprezentuje) otvorené dvere alebo otvorené okno. Pri vytváraní dverí (alebo okna) je potrebné vytvoriť hlbší a plytší otvor ako je hrúbka prekážky (steny), čo zabezpečíme ubratím a pridaním 1 cm k hrúbke diery vzhľadom na hrúbku steny. Zaisťujeme tým, že otvor bude vytvorený v prekážke korektne.

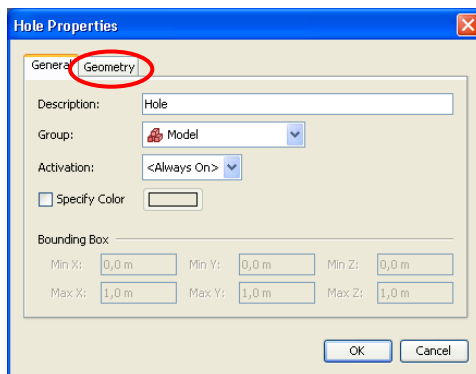


Obr. 18 Zobrazenie otvoru reprezentujúceho dvere v SmokeView.

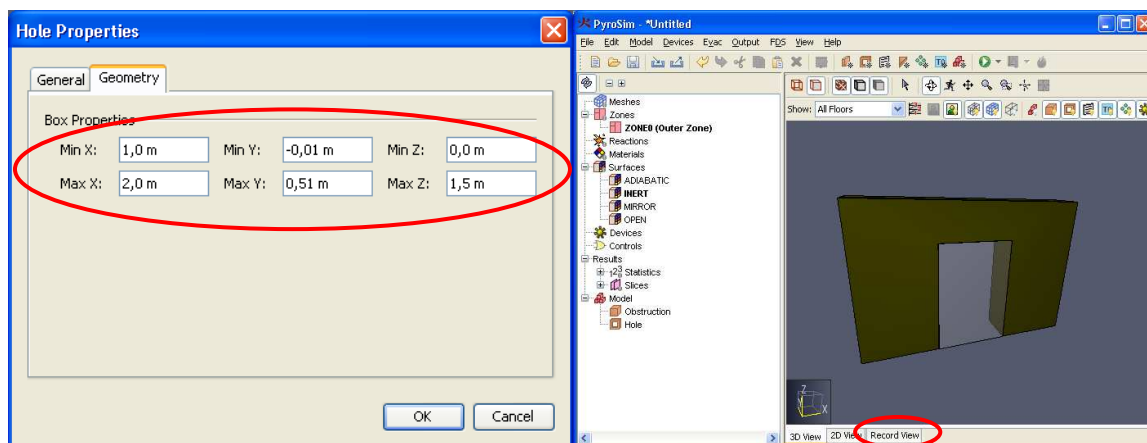
V **PyroSim**-e je postup na vytvorenie otvoru typu HOLE nasledovný:

- 1) Vytvoríme prekážku.
- 2) V režime **3D View** klikneme na nástroj  na vytvorenie nového otvoru typu HOLE (14. ikona na druhej lište zhora, Obr. 2), pričom sa otvorí okno s vlastnosťami otvoru typu HOLE (**Hole Properties**, vid'. Obr. 19)
- 3) Z ponúkaných možností vyberieme editovanie geometrie (**Geometry**, vid'. Obr. 19) a zadáme požadované rozmery v metroch pričom rozmer 0.0 (zodpovedajúci súradnici min y) zmenšíme o 1 cm a rozmer 0.5 (zodpovedajúci súradnici max y) zväčšíme o 1 cm (vid'. Obr. 20).
- 4) Nastavíme ďalšie vlastnosti otvoru typu HOLE.

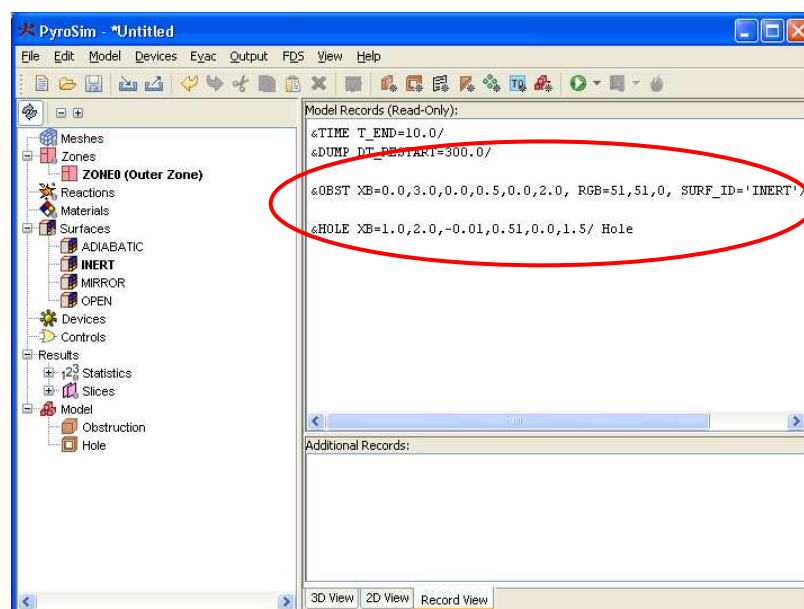
Výslednú syntax prekážky s otvorom typu **HOLE** vo vytváranom vstupnom FDS súbore si môžeme pozrieť v režime **Record View** v PyroSim-e (na dolnej lište, vid'. Obr. 21). Po kliknutí sa nám zobrazí vstupný FDS súbor (vid'. Obr. 22).



Obr. 19 Editovanie vlastností otvoru typu HOLE



Obr. 20 Editovanie tvaru a polohy otvoru Obr. 21 Vytvorenie diery
typu HOLE



Obr. 22 Zobrazenie vstupného FDS súboru v PyroSim-e

Uvedieme ďalšie nastavenia vlastností otvoru typu **HOLE** v systéme **FDS**.

V niektorých prípadoch si nemusíme želať, aby na niektorej prekážke bol vytvorený otvor typu **HOLE**. Takýto prípad môže nastať vtedy, ak skúmame dva požiarne scenáre, kde v prvom scenári je v prekážke vytvorený otvor typu HOLE a v druhom scenári na rovnakej prekážke môžeme otvor typu HOLE zakázať príkazom `PERMIT_HOLE=.FALSE.`, ktorý obsahuje OBST riadok:

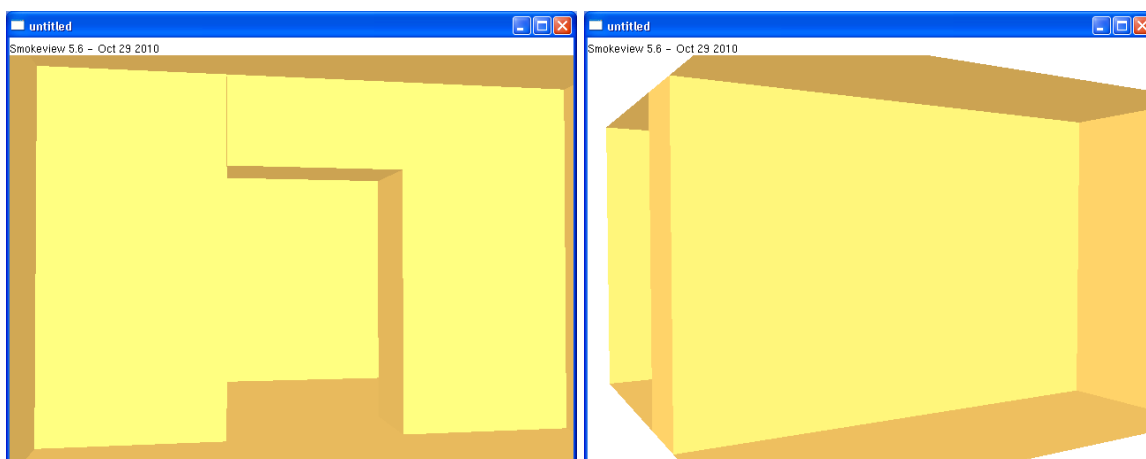
`&OBST XB=0.0,3.0,0.0,0.5,0.0,2.0, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='INERT'/`

&HOLE XB=1.0,2.0,-0.01,0.51,0.0,1.5/ Hole.

Táto hodnota parametra PERMIT_HOLE zabezpečí zaplnenie otvoru typu HOLE. Defaultná hodnota je PERMIT_HOLE=.TRUE., prekážka je v mieste otvoru typu HOLE prestupná, ak nie je uvedené inak. Ak sa prestupná a neprestupná prekážka prekrývajú, prekážka s hodnotou PERMIT_HOLE=.FALSE. by mala byť uvedená prvá.

Ak chceme rozlíšiť farbu otvoru typu HOLE a prekážky, nastavíme parameter COLOR alebo RGB a TRANSPARENCY v HOLE príkaze obdobne ako v príkaze OBST. Otvor typu HOLE musí byť aplikovaný iba na prekážku (OBST).

Na Obr. 23 je znázornená prekážka s otvorom typu HOLE (vid'. Obr. 23, vľavo) s parametrom PERMIT_HOLE=.TRUE. a s parametrom PERMIT_HOLE=.FALSE. (vid'. Obr. 23, vpravo).



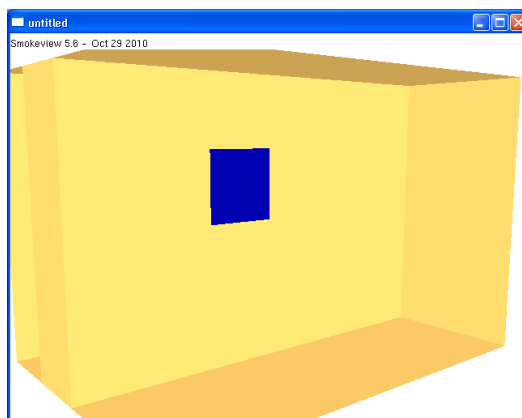
Obr. 23 Otvor typu HOLE v prekážke s parametrom PERMIT_HOLE=.TRUE. (vľavo) a PERMIT_HOLE=.FALSE. (vpravo)

3.1.3. Otvor typu VENT

Tretím príkazom pre definovanie geometrie simulovaného priestoru vo **FDS** je otvor typu **VENT**. Má podobnú syntax ako prekážka (**OBST**), pričom šesťica XB označuje rovinu priliehajúcu na povrch prekážky alebo hranicu oblasti, t.j. dve zo šiestich súradníc musia byť rovnaké (vid'. Obr. 25):

&OBST XB=0.0,3.0,0.0,0.5,0.0,2.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&VENT SURF_ID='INERT', XB=1.0,1.5,0.0,0.0,1.0,1.5, RGB=0,0,153/ Vent.



Obr. 25 Zobrazenie otvoru typu VENT vo FDS

Pre danú bunku siete je možné špecifikovať iba jeden otvor typu VENT. Ak je špecifikovaných pre danú bunku viac VENT-ov, FDS bude ignorovať všetky nasledujúce a bude aplikovaný iba prvý VENT.

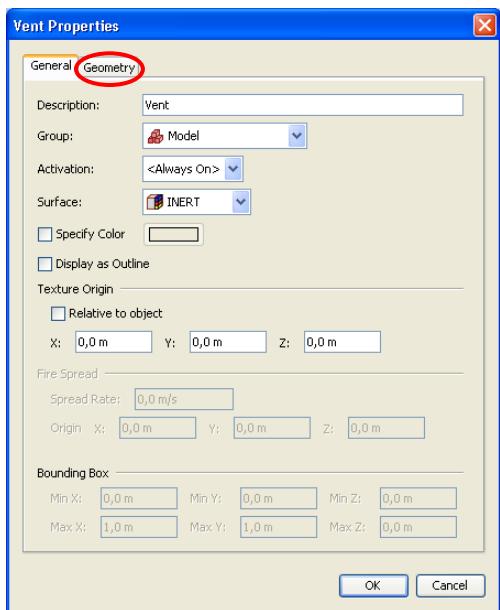
Ak chceme, aby nebolo možné vytvoriť na prekážke otvor typu VENT, použijeme v OBST riadku parameter **ALLOW_VENT**, ktorý nadobúda hodnotu .TRUE. alebo .FALSE. Defaultne je nastavená hodnota .TRUE. Ak chceme zabezpečiť, že prekážka bude chránená pred vytvorením otvoru typu **VENT** nastavíme hodnotu parameter na .FALSE.

```
&OBST XB=0.0,3.0,0.0,0.5,0.0,2.0,
```

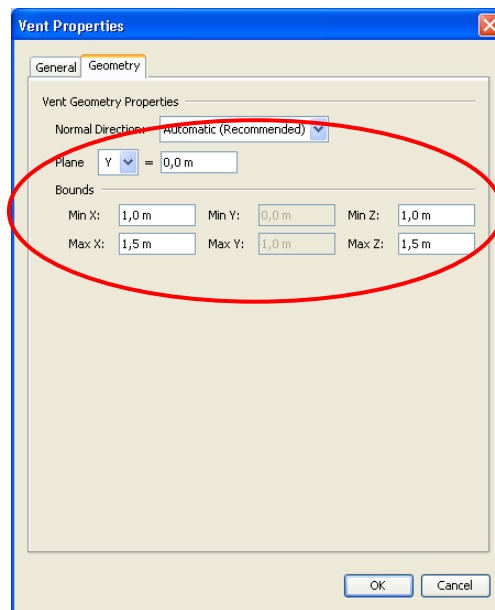
```
ALLOW_VENT=.FALSE., SURF_ID='INERT'/ Obstruction
```

Následne si uvedieme ako vytvoriť otvor typu VENT aplikovaný na prekážku v **PyroSim-e** (viď. Obr. 28):

- 1) Vytvoríme prekážku.
- 2) V režime **3D View** klikneme na nástroj  na vytvorenie nového otvoru typu VENT (15. ikona na druhej lište zhora, Obr. 2), pričom sa otvorí okno s vlastnosťami otvoru typu VENT (**Vent Properties**, viď. Obr. 26).
- 3) Z ponúkaných možností vyberieme editovanie otvoru typu VENT (**Geometry** viď. Obr. 26) a zadáme požadovanú polohu a rozmery v m (viď. Obr. 27).
- 4) Nastavíme ďalšie vlastnosti otvoru typu VENT.

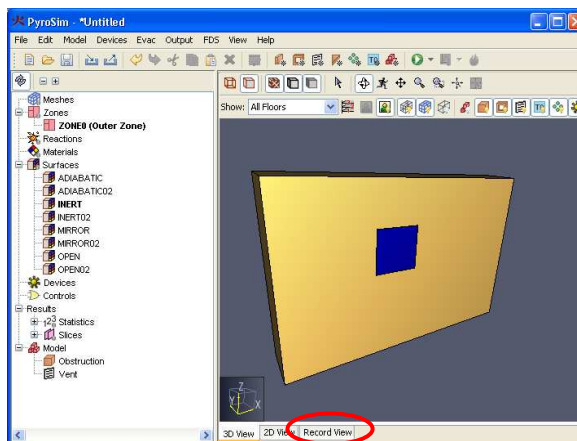


Obr. 26 Vlastnosti otvoru typu VENT

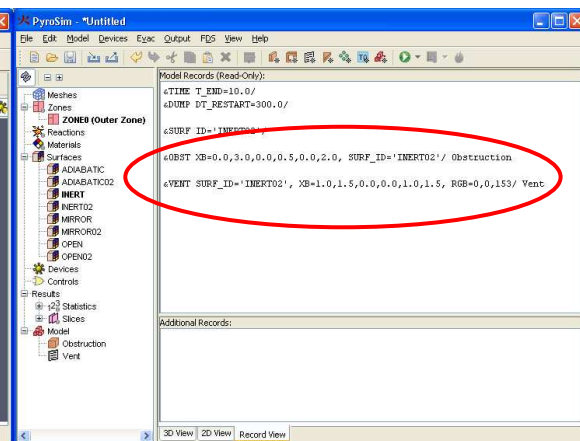


Obr. 27 Zadávania geometrie

Výslednú syntax prekážky s otvorom typu **VENT** (vo vytváranom vstupnom FDS súbore) si môžeme pozrieť v režime **Record View** v PyroSim-e (na dolnej lište, viď. Obr. 28). Po kliknutí sa nám zobrazí vstupný FDS súbor (viď. Obr. 29).



Obr. 28 Vytvorenie otvoru typu VENT

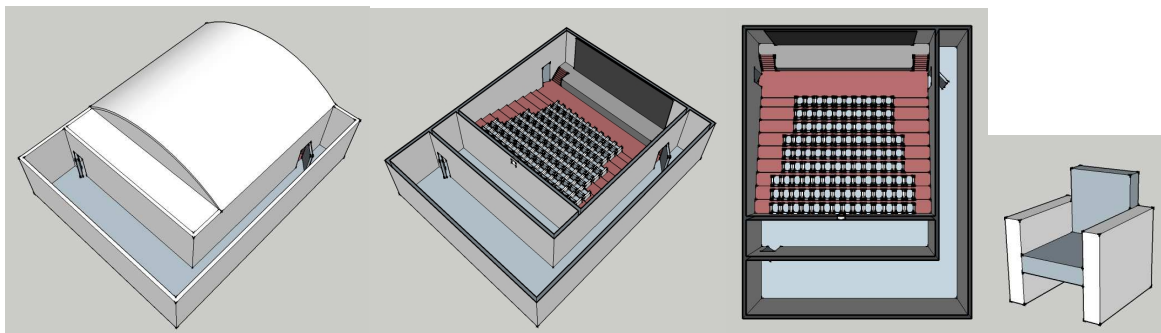


Obr. 29 Vytvorený otvor typu VENT
v režime Record View v PyroSim-e

3.2. 3D model kina

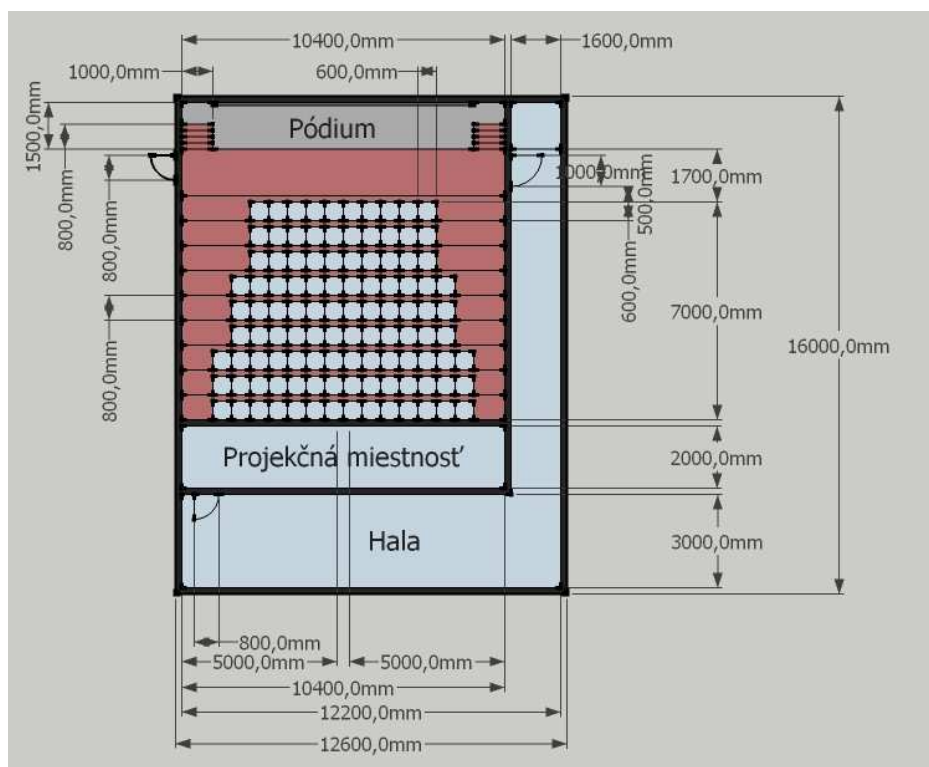
Pre potrebu tejto práce sme vytvorili jednoduchý model kina (Obr. 30-31) pozostávajúci z troch miestností:

- vstupnej haly o rozmeroch 12,2 x 3 x 4,8 m a chodby o rozmeroch 1,6 x 12,6 x 4,8 m
- projekčnej miestnosti o rozmeroch 10,4 x 2 x 4,8 m
- kinosály so zakriveným stropom o rozmeroch 10,4 x 10,2 x 4,8 m.



Obr. 30 Model kina: schéma stavby, bočný pohľad zhora, pohľad zhora a model kresla

Pôdorys celého komplexu s rozmermi je znázornený na Obr. 31. Vstupná hala slúži na príchod a odchod divákov a personálu, je prepojená dvermi s kinosálou a projekčnou miestnosťou.



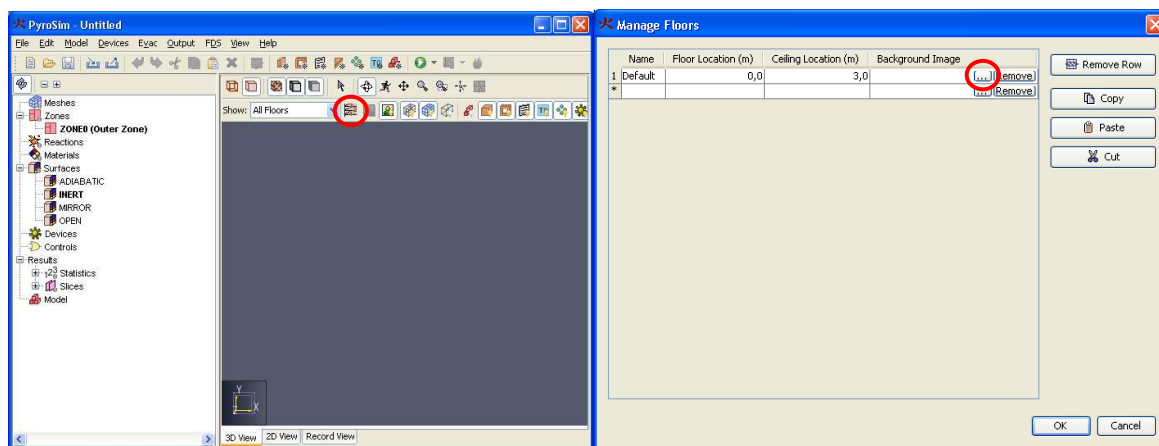
Obr. 31 Pôdorys komplexu kina

V kinosále sa nachádza:

- premietacie plátno a pódium s 2 malými schodišťami
- 108 miest na sedenie usporiadaných do 9 radov kresiel (3 rady po 10 kresiel, 3 rady po 12 kresiel a 3 rady po 14 kresiel), každý rad je umiestnený na 20 cm vysokom schode vzostupne
- prístupové schodište k miestam na sedenie
- vchod do kinosály a bezpečnostný únikový východ.

3.3. Vytváranie geometrie kina v systéme PyroSim

PyroSim umožňuje uložiť na pozadie pôdorys danej stavby (Obr. 31) a zobraziť ho v správnej mierke vzhľadom na zvolenú výpočtovú mriežku v režimoch 3D alebo 2D View. Takýto postup výrazne uľahčuje vytváranie geometrie zložitých stavebných priestorov.



Obr. 32 Grafické používateľské rozhranie PyroSim (režim 3D View)

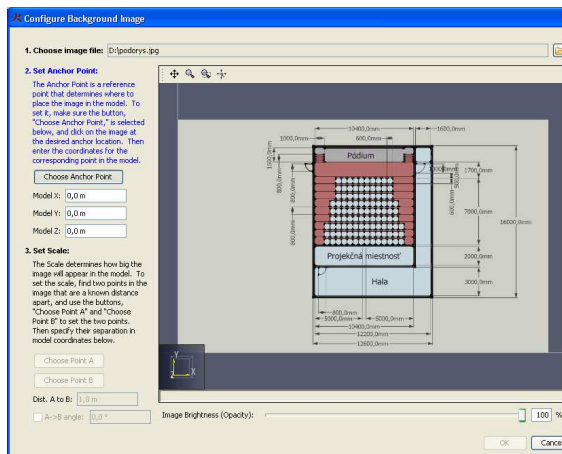
Obr. 33 Správca poschodí

Postup je nasledovný:

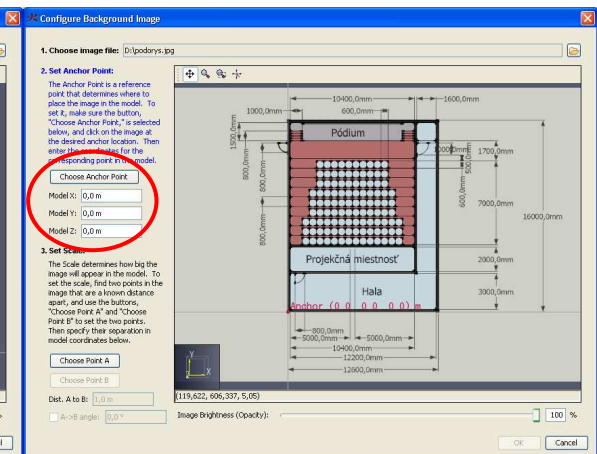
- 1) V režime **3D** alebo **2D View** klikneme na nástroj  na definovanie poschodia (**Define Floor Locations**, prvá ikona na tretej lište zhora na Obr. 32). Otvorí sa okno **Správca poschodí** (**Manager Floors**, Obr. 33) s nastavenými defaultnými hodnotami pre meno

vytváraného modelu poschodia (Default), pre výšku podlahy (0,0 m) a pre výšku stropu (3,0 m).

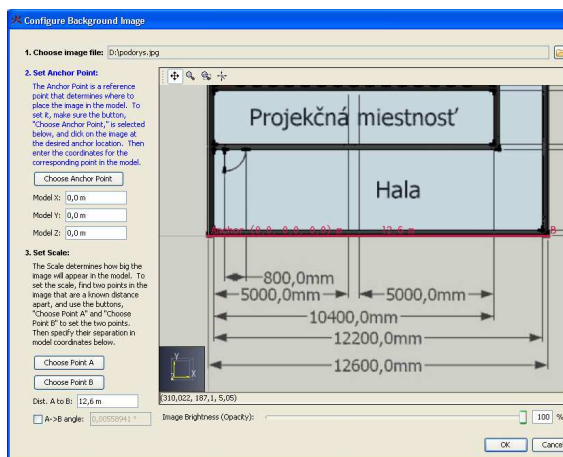
- 2) Klikneme na nástroj  na načítanie obrázku zo súboru (zvýraznený na Obr. 33). Otvorí sa prehľadávanie súborov, pomocou ktorého vyberieme súbor, v ktorom je uložený pôdorys.
- 3) Po načítaní súboru sa otvorí okno Konfigurácia obrázka (**Configure Background Image**, vid'. Obr. 34), v ktorom nastavíme súradnice počiatočného bodu súradnicového systému (**Anchor Point**, na Obr. 35) a myšou klikneme v načítanom obrázku postupne na dvojicu bodov (na Obr. 36 sú označené A a B), ktorých vzdialenosť poznáme. Po ich označení zadáme ich vzdialenosť pomocou nástroja na určenie vzdialenosti (**Dist. A to B**, v ľavom dolnom rohu Obr. 36).
- 4) Takto sme nastavili mierku obrázka a odklikneme <OK>. Načítaný obrázok sa na pozadí zobrazí v režime **3D View** (vid'. Obr. 37), resp. v režime **2D View** (vid'. Obr. 38).



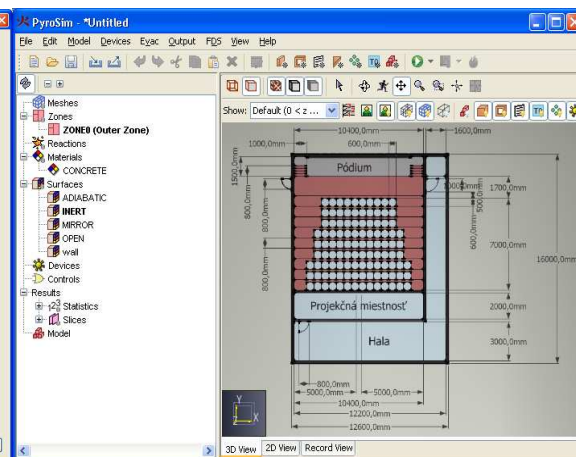
Obr. 34 Konfigurácia obrázka na pozadí



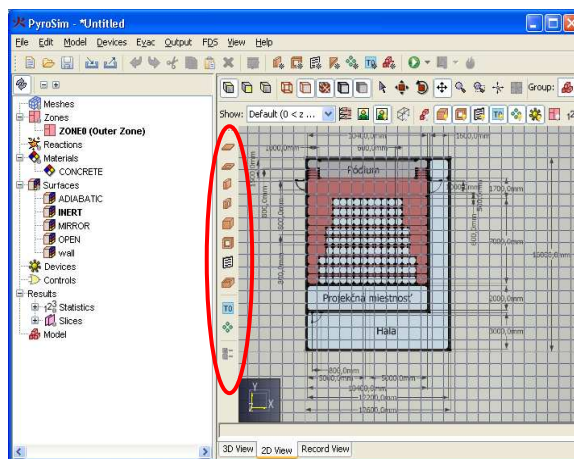
Obr. 35 Nastavenie počiatku súradnicového systému



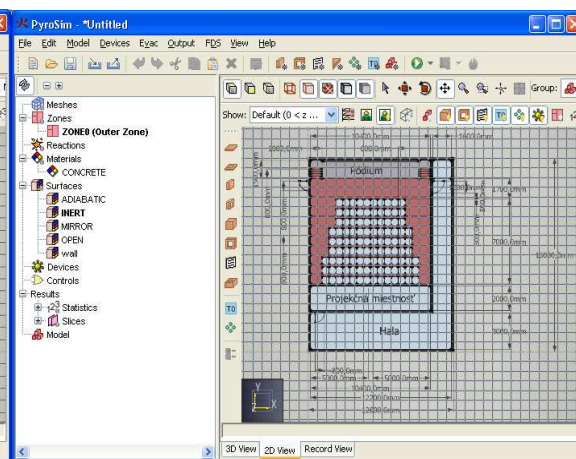
Obr. 36 Nastavenie mierky



Obr. 37 Obrázok načítaný na pozadie



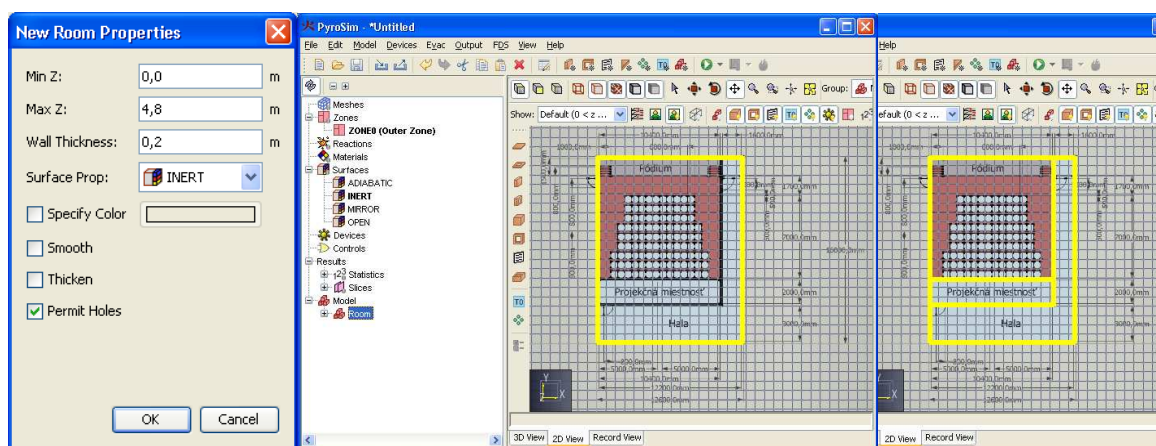
Obr. 38 Obrázok načítaný na pozadí



Obr. 39 Úprava hustoty siete na pozadí

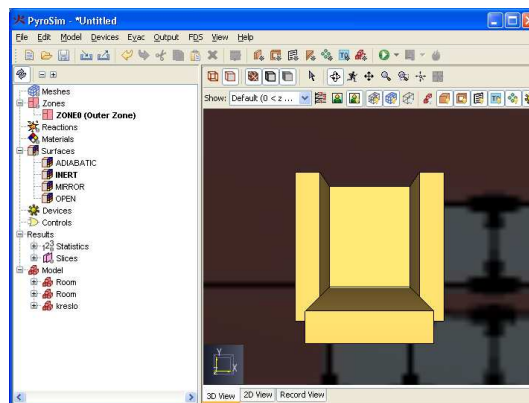
Načítaný pôdorys kina na pozadí využijeme pri vytváraní 3D modelu. Na Obr. 38 sú v režime **2D View** zvýraznené nástroje, pomocou ktorých vytvárame jednoduché prvky stavby. Sú to: kreslenie prekážky (**Draw an Obstruction**), kreslenie otvoru typu HOLE (**Draw a Hole**), kreslenie steny (**Draw a Wall**), kreslenie otvoru typu HOLE v stene (**Draw a Wall Hole**), kreslenie bloku (**Draw a Block**), kreslenie diery v bloku (**Draw a Block Hole**), kreslenie otvoru typu VENT (**Draw a Vent**), kreslenie miestnosti (**Draw a Room**), kreslenie počiatočnej oblasti (**Draw an Init Region**), kreslenie oblaku častíc (**Draw a Particle Cloud**) a vlastnosti nástroja (**Tool Properties**). Znáznornená je tiež štvorcová defaultná sieť (**Sketch Grid**) vytvorená systémom na pozadí (na uľahčenie kreslenia objektov) s defaultnou hustotou 1 m. V režime **2D View** je možné upraviť hustotu tejto siete pomocou nástroja na nastavenie siete (**Set Sketch Grid Spacing**). Nastavíme hustotu siete na 0,1 m (viď. Obr. 39), aby hustota siete na pozadí zodpovedala hustote výpočtovej mriežky.

Pristúpime k vytváraní miestností. Vytvoríme postupne všetky steny podľa pôdorysu tak, že: klikneme na nástroj  na kreslenie miestnosti (**Draw a Room**) a následne na nástroj  na nastavenie vlastností nástroja (**Tool Properties**). Otvorí sa nástroj (**New Room Properties**, Obr. 40, vľavo), ktorým nastavíme výšku miestnosti, hrúbku stien (prípadne iné parametre stien, napr. farbu). Klikneme na jeden z rohov najväčšej miestnosti a diagonálne prejdeme myšou do protiahlého rohu najväčšej miestnosti a odklikneme, čím vytvoríme požadovanú najväčšiu miestnosť (zvýraznenú na Obr. 40, v strede žltou farbou). Obdobne vytvoríme ďalšie miestnosti, pričom priebežne mažeme nepotrebné steny miestnosti tak, že ich označíme a klikneme na klávesu <delete> (Obr. 40, vpravo).



Obr. 40 Nastavenie vlastností miestnosti (vľavo), vytvorenie 1. miestnosti (v strede) a vytvorenie všetkých miestností (výrez vpravo)

Pri vytváraní geometrie kinosály, ktorá obsahuje viaceré komplexné stavebné prvky, použijeme vopred pripravený model kresla (viď. Obr. 30, vpravo), ktorý pozostáva zo štyroch prekážok (**Obstruction**) reprezentujúcich sedák o rozmeroch 0.4 x 0.6 x 0.1 m, operadlo o rozmeroch 0.4 x 0.1 x 0.4 a dve bočné opierky o rozmeroch 0.1 x 0.6 x 0.5 m.



Obr. 41 Vytvorené kreslo

Geometriu kresla možno v PyroSim-e vytvoriť nasledovným postupom:

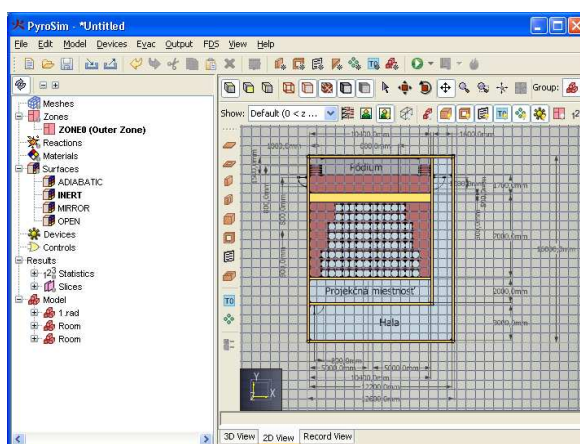
- 1) V režime **3D View** klikneme na nástroj  na vytvorenie novej prekážky (**New Obstruction**), pričom zadáme dva protiľahlé vrcholy prekážky (2.4,12.0,0.2) a (2.5, 12.6,0.7). Takto vytvoríme ľavú opierku.
- 2) Obdobne vytvoríme pravú opierku, sedák a operadlo zadáním dvojíc vrcholov (2.9,12.0,0.2), (3.0, 12.6,0.7); (2.5,12.0,0.4), (2.9, 12.6,0.5); (2.5,12.0,0.5), (2.9, 12.1,0.9); (vid'. Obr. 41).

Týmto spôsobom sme vytvorili miesto na kreslo v PyroSim-e (vid'. Obr. 41).

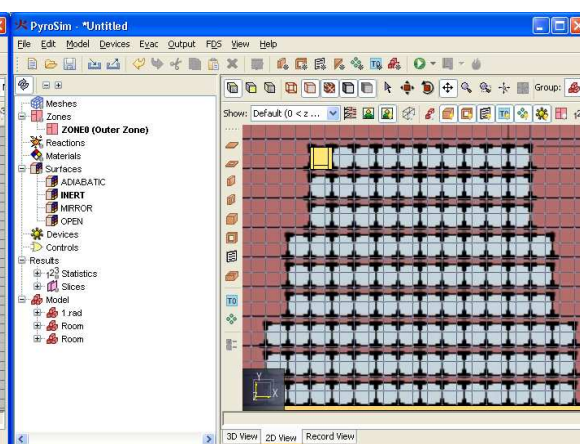
Vytvoríme zošíkmenú podlahu v kinosále. Realizujeme ju ako schodište pozostávajúce z deviatich 20 cm vysokých schodov. Na každom schode umiestnime rad kresiel. Postupujeme nasledujúcim spôsobom:

- 1) Vytvoríme prvý schod vysoký 0.2 m a na ňom rad kresiel. Klikneme na nástroj  na kreslenie prekážky (**Draw an Obstruction**), nastavíme výšku schodu (**Max Z**) v nástroji vlastnosti nástroja (**Tool Properties**) na 0.2 m a myšou klikneme na jeden z rohov prvého schodu a diagonálne prejdeme myšou do protiľahlého rohu schodu a odklikneme, čím vytvoríme požadovaný schod (Obr. 42).
- 2) Klikneme pravým tlačítkom na vytvorený schod a „zneviditeľníme“ ho pomocou nástroja **Hide Objects**, aby sme mohli využiť pôdorys na uľahčenie umiestňovania jednotlivých kresiel na správnu pozíciu.
- 3) Kliknutím na nástroj  premiestňovanie objektov (**Translate Objects**) premiestnime kreslo na správnu pozíciu podľa pôdorysu (vid'. Obr. 43).

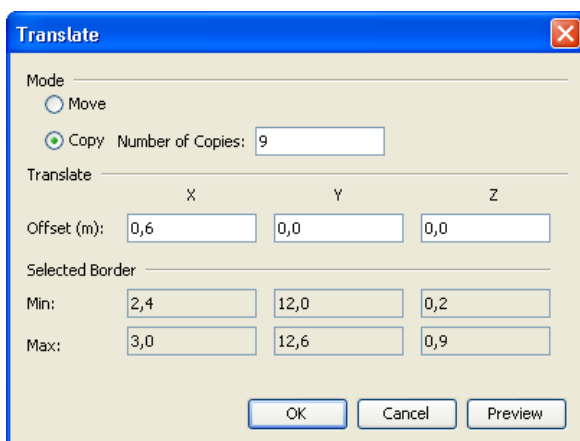
- 4) Pravým tlačítkom myši vyberieme nástroj **Copy/Move** a nastavíme, koľkokrát chceme kreslo kopírovať (**Number of Copies**), a o akú vzdialenosť (v m) ho chceme skopírovať v smere jednotlivých osí (**Offset**, vid'. Obr. 44).
- 5) Zviditeľníme schod nástrojom **Show Objects** (vid'. Obr. 45), označíme celý prvý rad kresiel a prvý schod a skopírujeme tento objekt obdobným postupom ako pri vytváraní 1. radu kresiel (vid'. Obr. 46).
- 6) Podľa pôdorysu doplníme chýbajúce kreslá v radoch, kde podľa pôdorysu chýbajú. Týmto postupom dostaneme priestor pre divákov so 108 kreslami (vid'. Obr. 47) a prístupové schodište slúžiace na prístup divákov k miestam na sedenie.



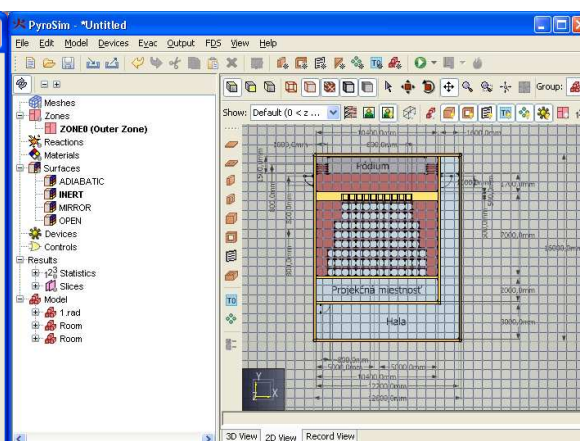
Obr. 42 Vytvorenie 1. schodu



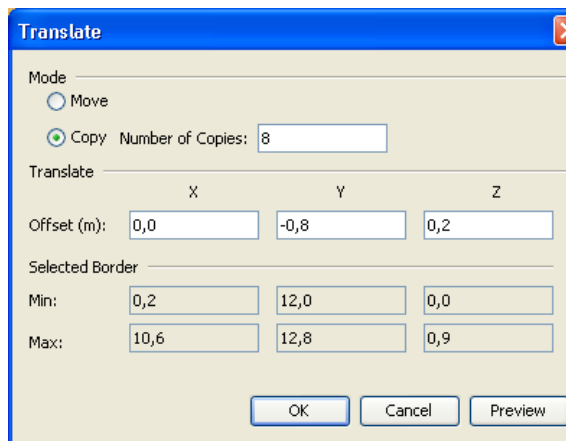
Obr. 43 Umiestnenie kresla podľa pôdorysu



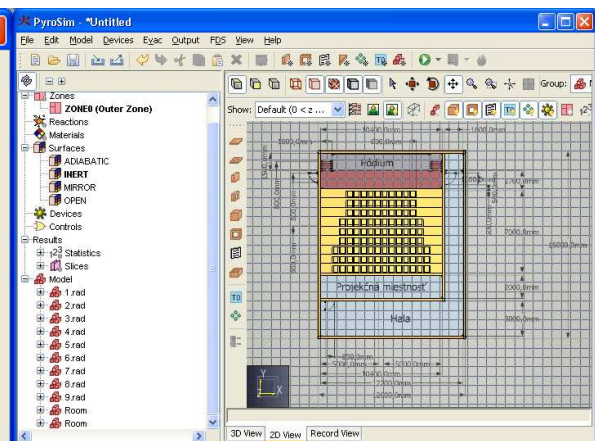
Obr. 44 Kopírovanie miest na sedenie
v 1. rade



Obr. 45 Vytvorenie prvého radu kresiel



Obr. 46 Kopírovanie 1. schodu a 1. radu miest na sedenie

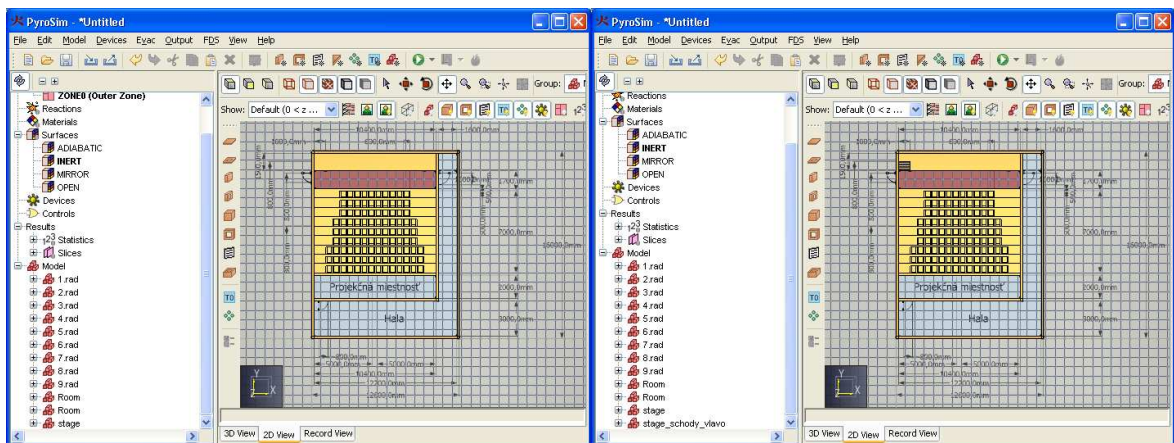


Obr. 47 Priestor pre divákov v kinosále

Prejdeme k vytvoreniu pódia s 2 schodišťami po jeho bokoch:

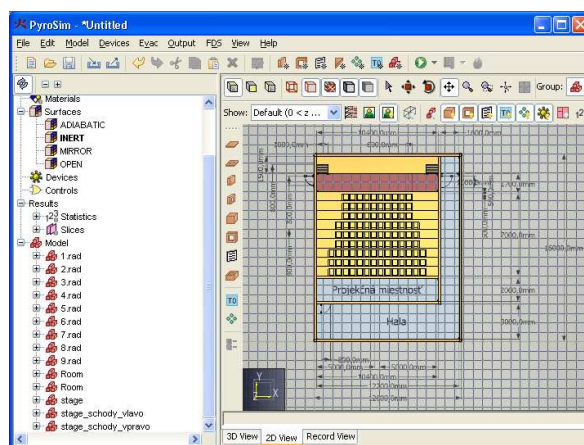
- 1) V režime **2D View** klikneme na nástroj  na kreslenie prekážky (**Draw an Obstruction**), nastavíme výšku pódia na 0.8 m v nástroji vlastnosti nástroja (**Tool Properties**) a obdobne ako pri vytváraní schodu vytvoríme prekážku (viď. Obr. 48).
- 2) Vytvoríme ľavé schodište. Klikneme na nástroj  na kreslenie otvoru typu HOLE (**Draw a Hole**) a vytvoríme dieru podľa pôdorysu v pódii (v ktorej následne vytvoríme schodište). Klikneme na nástroj  na kreslenie prekážky (**Draw an Obstruction**), nastavíme výšku schodu na 0,1 m a odškrtneme políčko **Permit Holes** v nástroji vlastnosti nástroja (**Tool Properties**). Nakreslíme 1. schod na pódium a pomocou nástroja **Copy/Move** prvý schod sedemkrát skopírujeme, čím vytvoríme schodisko (viď. Obr. 49).
- 3) Takto vytvorené schodisko aj s dierou skopírujeme pomocou nástroja **Copy/Move** o 9.4 m v smere osi x, čím vytvoríme pravé schodište.

Uvedeným postupom sme dostali kompletne pódium s oboma schodišťami (viď. Obr. 50).



Obr. 48 Vytvorenie pódia

Obr. 49 Vytvorenie ľavého schodišťa



Obr. 50 Kinosála s pódium

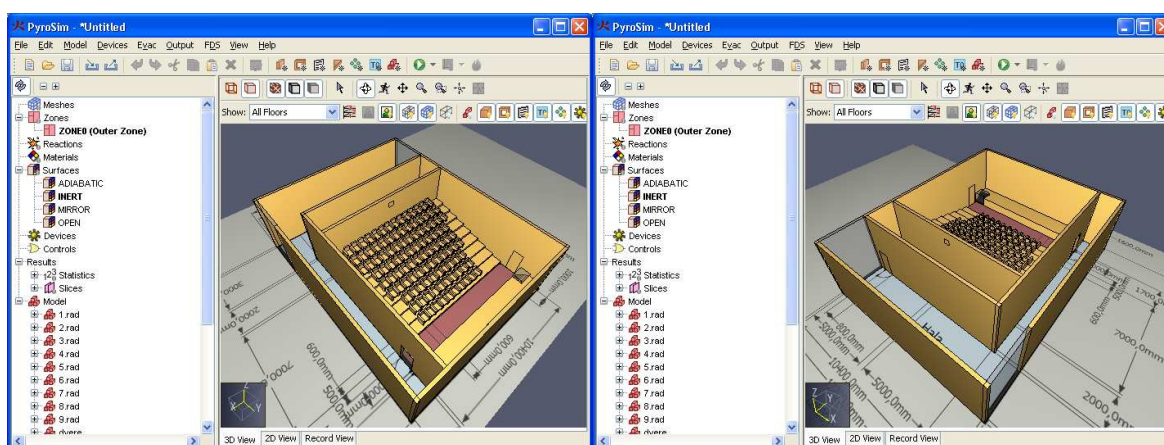
Otvorený vchod do kinosály, uzavretý vchod do projekčnej miestnosti a uzavretý únikový východ vytvoríme takto:

- 1) V režime **2D View** klikneme na nástroj  kreslenie otvoru typu **HOLE (Draw a Hole)** a na danom mieste vytvoríme diery do steny kinosály, pričom v nástroji **Tool Properties** nastavíme výšku dverí (**Max Z**) na 2.0 m. Upravíme rozmery diery tak, že klikneme na otvor typu **HOLE** a pravým tlačítkom myši vyberieme **Properties** a následne **Geometry**. V nástroji **Geometry** pridáme a odoberieme 1 cm v príslušnom smere, aby sme zabezpečili, správne fungovanie diery. Takýto otvor typu **HOLE** nám reprezentuje otvorené dvere.
- 2) Vytvorenie zatvorených dvier do projekčnej miestnosti zrealizujeme tak, že v režime **2D View** klikneme na nástroj  kreslenie otvoru typu **VENT (Draw a Vent)** a na danom mieste vytvoríme otvor typu **VENT** do steny projekčnej miestnosti, pričom v nástroji **Tool Properties** nastavíme priliehajúce steny (**X Location**, **Y Location** a **Z**

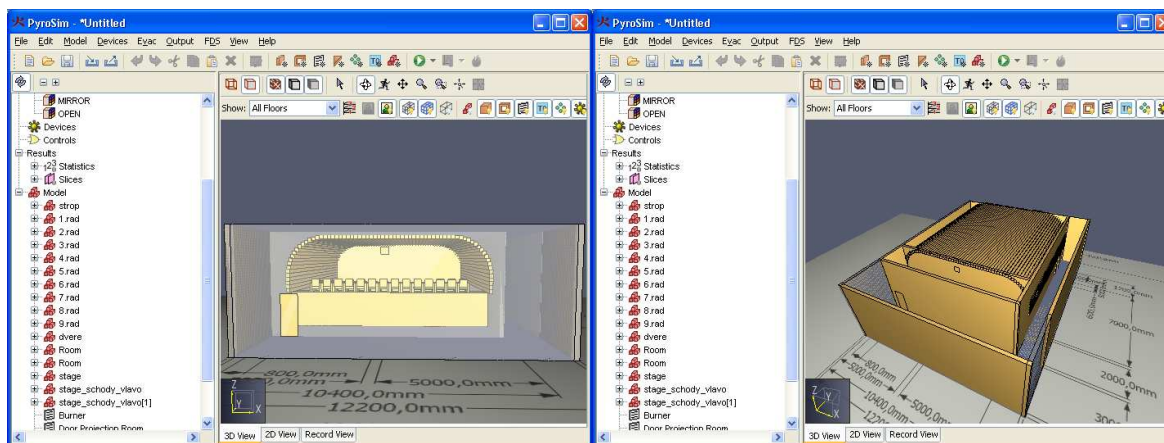
Location) pomocou prepínania režimu zobrazenia (**Top View** , **Front View**  a **Left View** )

3) Obdobne vytvoríme zavretý únikový východ.

Takto sme dostali model, kde otvorený vchod do kinosály reprezentuje otvor typu HOLE, zavretý únikový východ a vchod do projekčnej miestnosti reprezentujú otvory typu VENT (viď. Obr. 51). Pri požari budeme predpokladať, že v prvej fáze požiaru budú všetky vchody v kine zavreté.



Obr. 51 Model vytvorený pomocou pôdorysu: pohľad spredu (vľavo) a pohľad zozadu (vpravo)



Obr. 52 Kinosála so zakrivenou strechou (vľavo) a komplex kina (vpravo)

Zakrivená strecha predstavuje geometricky veľmi zložitý prvok vytváraného modelu, keďže musí byť vytvorený z prekážok, ktorých rozmery a poloha musia zodpovedať zvolenej výpočtovej mriežke. Preto sme využili znalosť syntaxe prekážok vo FDS a v jazyku C sme vytvorili program, ktorý pre požadované rozmery a zakrivenie strechy

vypočíta pre jednotlivé prekážky, ktoré tvoria strechu, dvojice bodov, ktorými sú určene a následne ich všetky zapíše do externého textového súboru vo forme príkazov pre prekážky. Takto vytvorené príkazy tvoria blok, ktorý reprezentuje zakrivenú strechu, ktorý následne skopírujeme do vstupného FDS súboru a načítame do PyroSim-u (viď. Obr. 52, v ktorom sme kvôli viditeľnosti zakrivenej strechy upravili priehľadnosť stien).

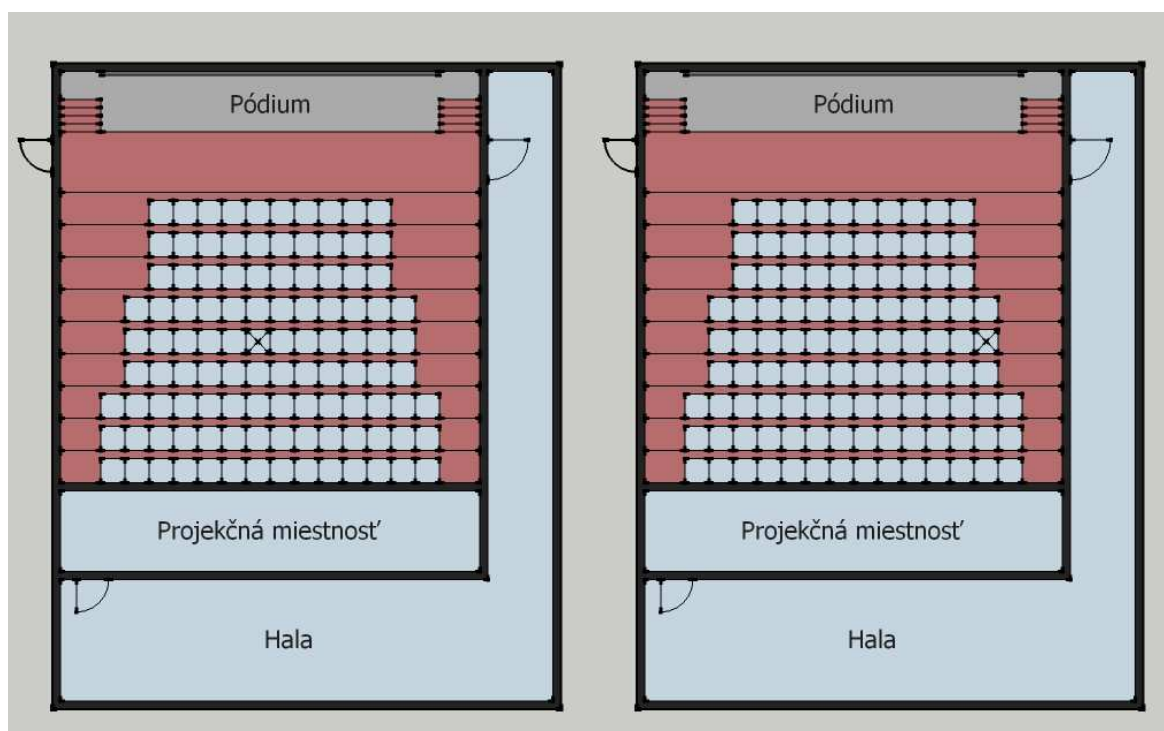
4. Simulácia požiaru v kine

4.1. Opis požiarneho scenára

Predpokladajme, že v kinosále počas premietania filmu (s uzavretým vchodom do kinosály) vznikol v priestore pre divákov skrat na kabeláži, od ktorého sa následne vznietilo kreslo. Budeme uvažovať dva požiarne scenáre. V prvom scenári sa vznietilo 6. kreslo zľava v 5. rade (na Obr. 53 vľavo je označené krížikom) a v druhom scenári sa vznietilo 1. kreslo zľava v tom istom rade (na Obr. 53 vpravo je označené krížikom). Prvý scenár zodpovedá iniciácii požiaru v strede 5. radu a druhý na začiatku 5. radu kinosály. Požiar sa potom ďalej rozšíril na susedné kreslá v rámci 5. radu (v prvom scenári na obe strany) a neskôr sa rozšíril smerom k pódiumu na ďalšie rady kresiel. Požiar sa spočiatku šíri pomaly a je bezprostredne nebezpečný iba pre veľmi blízko sediacich návštevníkov. Pri horení čalúnených kresiel vznikajú toxické plyny, ktoré sa pri požiari uvoľňujú a tieto plyny sú nebezpečenstvom pre divákov sediacich v najvyššom rade, čo by mala potvrdiť simulácia.

Pri simuláciách sa zameriame na 1. minútu požiaru, keďže predpokladáme, že už v 1. minúte môže byť priebeh šírenia toxických plynov nebezpečný. Súčasne predpokladáme, že zvyšovanie teploty bezprostredne neohrozí divákov. Normálna teplota ľudského tela, pri ktorej optimálne funguje tkanivo a orgány, je 37 °C. Už pri zvýšení teploty nad 45 °C nastáva poškodenie buniek a tkanív. Pri teplote 45 - 55 °C sa môže jednať o poškodenie reverzibilné, pri zvýšení teploty nad 55 °C dochádza v tkanive k denaturácii bielkovín a odumretiu buniek, čím nastáva ireverzibilné poškodenie. Rozsah poškodenia tkanív závisí od množstva tepelnej energie, ktoré sa dostane do tkaniva, pričom poškodenie je priamo úmerné teplote a času pôsobenia [11]. Počas prvej minúty požiaru nepredpokladáme ohrozenie divákov zmenou teploty. Pri simulácii týchto dvoch scenárov

požiaru sa teda zameriame na analýzu priebehu požiaru a šírenie toxického dymu v 1. minúte a s tým spojené bezpečnostné riziká pre divákov.



Obr. 53 Zobrazenie polohy kresla, pod ktorým je umiestnený inicializačný zdroj požiaru v kinosále: prvý scenár (vľavo) a druhý scenár (vpravo)

4.2. Simulácia požiaru v kine

Okrem vytvorenia geometrie celého komplexu kina (ktoré sme opísali v 2. kapitole), ktoré predstavuje priestor, v ktorom sa šíri požiar, je potrebné pripraviť aj všetky ostatné vstupy, ktoré súvisia s daným požiarom scenárom a stanoviť všetky nevyhnutné podmienky pre výpočet.

Simuláciu vykonáme na počítači Intel Core i7 990-X, 3.46 GHz, 24 GB RAM na ÚI SAV. Výpočtová oblasť o rozmeroch 12,6 x 16 x 4,8 m je rozdelená na 967 680 buniek tvaru kocky (126 buniek v smere osi x, 160 buniek v smere osi y a 48 buniek v smere osi z). Výpočtová mriežka má teda hustotu 10 cm. Pri definovaní mriežky sme splnili podmienku vyplývajúcu z toho, že efektívnosť výpočtu jedného z kľúčových modulov systému FDS je zabezpečená použitím FFT (Fast Fourier Transform), t.j., že počet buniek v smere osi y a z sme zvolili tak, aby sa dal vyjadriť v tvare súčinu mocnín čísel 2, 3 a 5.

Veľmi dôležitou úlohou, ktorú je potrebné splniť, aby bolo možné očakávať spoľahlivé výsledky simulácie, je získať spoľahlivé údaje o horľavých materiáloch v priestore, kde sa šíri požiar. Steny miestností sú z nehorľavého betónu a kreslá sú z čalúnnického materiálu. Ostatné povrchy majú priradené vlastnosti inertného materiálu. Materiálové vlastnosti (hodnoty veličín, ktoré určujú požiarne vlastnosti materiálu) pre betón a čalúnnický materiál sme získali z databázy GPR PyroSim. Hodnoty pre čalúnnický materiál (v databáze PyroSim-u) sú prebraté z prác [9, 20], ktoré opisujú laboratórne merania a požiarne skúšky týkajúce sa požiaru čaluneného nábytku, ktoré sa vykonali vo Fínsku. Tieto hodnoty sme tiež konzultovali s odborníkmi z ÚI SAV. Všetky ostatné konštrukčné súčasti kina (podlaha, pódium, dvere a pod.) sú teda nehorľavé a majú pridelené materiálové vlastnosti inertného materiálu.

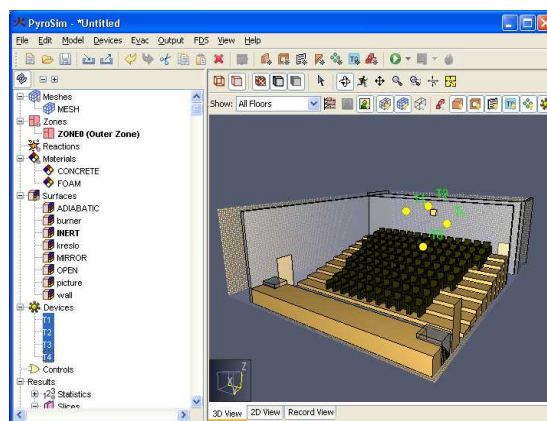
Inicializačný zdroj požiaru je reprezentovaný ako plôška o rozmeroch 0,2 x 0,2 m, ktorej tepelný výkon na jednotkovú plochu je 800 kW/m². Je umiestnený na podlahe pod kreslom (viď. Obr. 53), vycentrovaný a posunutý k pravej opierke. Dĺžka inicializačného požiaru je nastavená na 12 s.

Keďže simulácia má ukázať, ako sa chová požiar v prvých fázach šírenia, či a nakoľko ohrozí divákov v kinosále, za rozhodujúcu považujeme prvú minútu požiaru. Preto sa pri simulácii zameriame na podrobnejšiu analýzu prvej minúty šírenia požiaru.

Pri simulácii prvého požiarneho scenára sme určili nasledovnú formu výstupu:

- bodová teplota na štyroch termočláňkoch T1, T2, T3, T4, pričom termočláňky T3 a T4 sme umiestnili do výšky očí (t.j. 1,68 m, vychádzali sme z priemernej výšky človeka, ktorá je 1,78 m) a termočláňky T1 a T2 vo výške 10 cm pod strop. T1 sme umiestnili do 5. radu nad 6. kreslo, T2 do 9. radu nad 6. kreslo, T3 do 5. radu nad 4. kreslo (zľava) a T4 do 9. radu nad 4. kreslo (zľava). Termočláňky sú na Obr. 54 žltými krúžkami.
- Teplotné a rýchlostné rezy rovnobežné s rovinou yz a xz prechádzajúce stredom inicializačného zdroja požiaru
- 3D vizualizácie požiaru
- 3D vizualizácie dymu
- krivka teplotného výkonu požiaru.

Pre simuláciu druhého požiarneho scenára ponecháme umiestnenie termočláňkov a teplotných a rýchlostných rezov nezmenené, aby sme mohli pozorovať obe simulácie.



Obr. 54 Umiestnenie termočlánkov

4.3. Analýza výsledkov simulácie: prvý požiarneho scenár

Simulácia 60-sekundového požiaru v kine na počítači Intel Core i7 990-X, 3.46 GHz, 24 GB RAM trvala 3 hodín 46 minút a 12 sekúnd pri 60 sekundovej dĺžke požiaru.

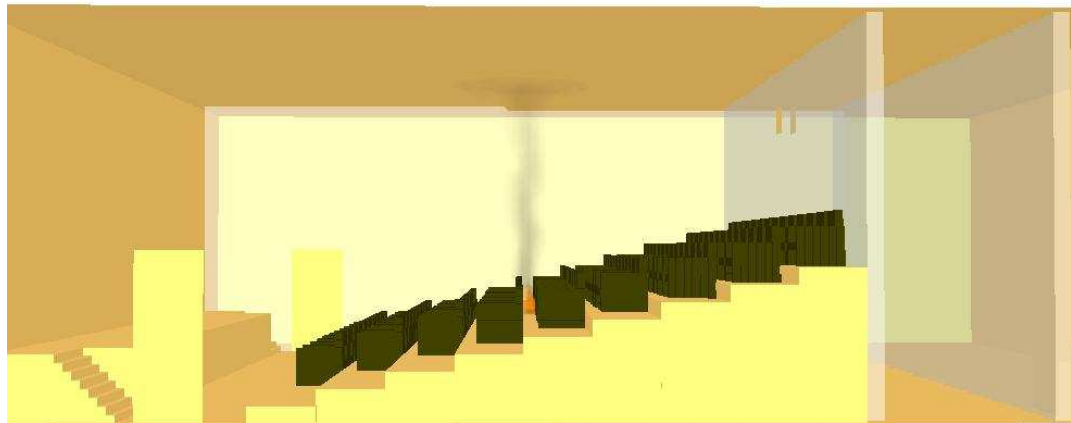
Už v **0.3-tej sekunde** požiaru sa spod kresla, pod ktorým je umiestnený inicializačný zdroj požiaru, začína viditeľne šíriť požiar, ktorý je na vizualizáciách simulácie reprezentovaný oranžovou farbou (ktorá zodpovedá požiaru s väčšou intenzitou ako 200 kW/m^3). Požiar sa šíri dopredu smerom k plátnu, lebo šíreniu smerom do strán bránia bočné opierky a smerom dozadu bráni skutočnosť, že schod, na ktorom stojí vyšší rad kresiel a zadné operadlo kresla sú v tej istej línii.

Na Obr. 55 je zobrazená simulácia požiaru v **2.4-tej sekunde**. Na obrázku sme zneviditeľnili niektoré steny, aby sme mohli lepšie pozorovať horenie a šírenie plynov v kinosále v rôznych fázach vývoja požiaru. Vo všetkých nasledujúcich obrázkoch zobrazujúcich priebeh požiaru zneviditeľníme tie steny, ktoré nie sú pre orientáciu čitateľa v obrázku podstatné, ale bránia v sledovaní zobrazovaného javu. Nad požiarom môžeme pozorovať úzky pás dymu, ktorý rýchlo vystupuje smerom nahor ku stropu kinosály.



Obr. 55 Simulácia požiaru a dymu v 2.4-tej sekunde

Do 4.2-hej sekundy požiar naberal na intenzite. Na Obr. 56-57 sú znázornené horúce plyny, ktoré stúpajú smerom od inicializačného požiaru k stropu. Na Obr. 57 je znázornený rez teplotného poľa prechádzajúci stredom inicializačného zdroja požiaru rovnobežne s rovinou yz. Farebná škála hodnôt teploty je zobrazená na pravej strane obrázka. Teplota toxických horúcich plynov sa smerom nahor znižuje, lebo sa ochladzujú v styku s okolitým prostredím, ale v tejto fáze nedochádza k výraznému premiešavaniu a preto nie sú bezprostredným ohrozením divákov. Po náraze na strop sa toxické horúce plyny šíria rovnomerne od miesta nárazu popri stropu miestnosti všetkými smermi, pričom dominantné šírenie je v smere osi y kvôli zakriveniu stropu. Výraznejšie sa táto tendencia zvýrazní na nasledujúcich obrázkoch.

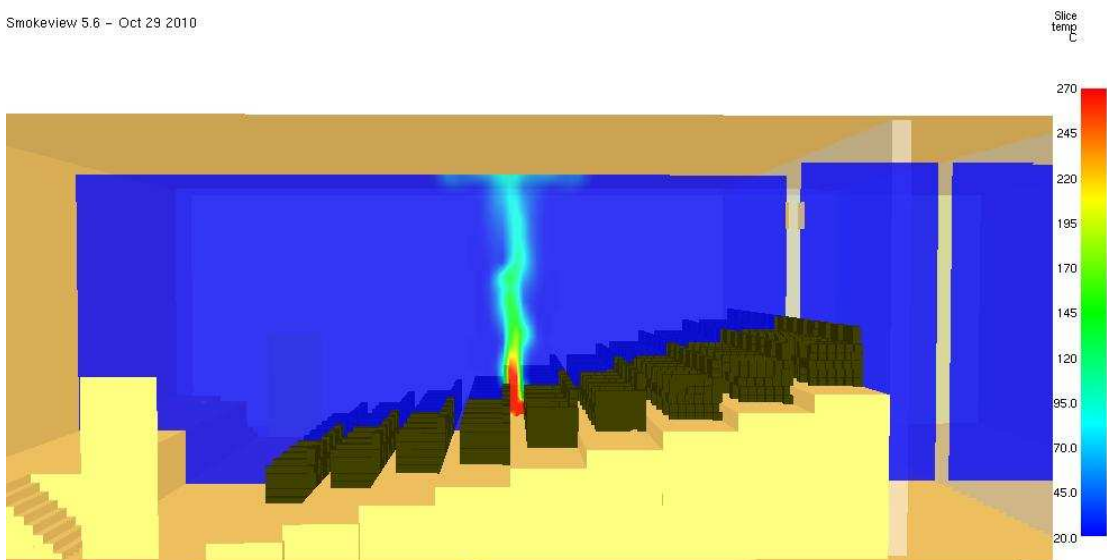


Frame: 14
Time: 4.2

>200 (kW/m³)

Obr. 56 Simulácia požiaru a dymu v čase 4.2 s

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

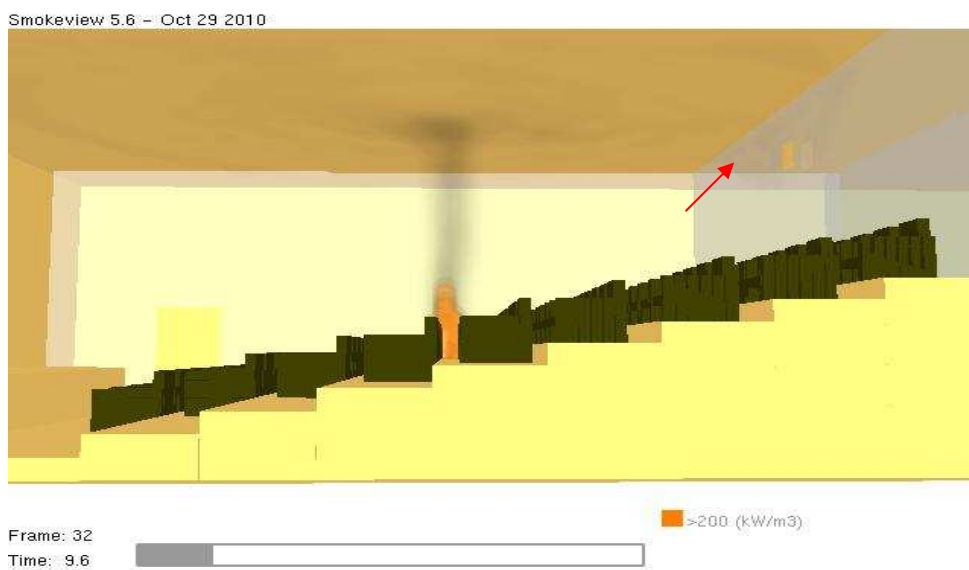


Frame: 14
Time: 4.2

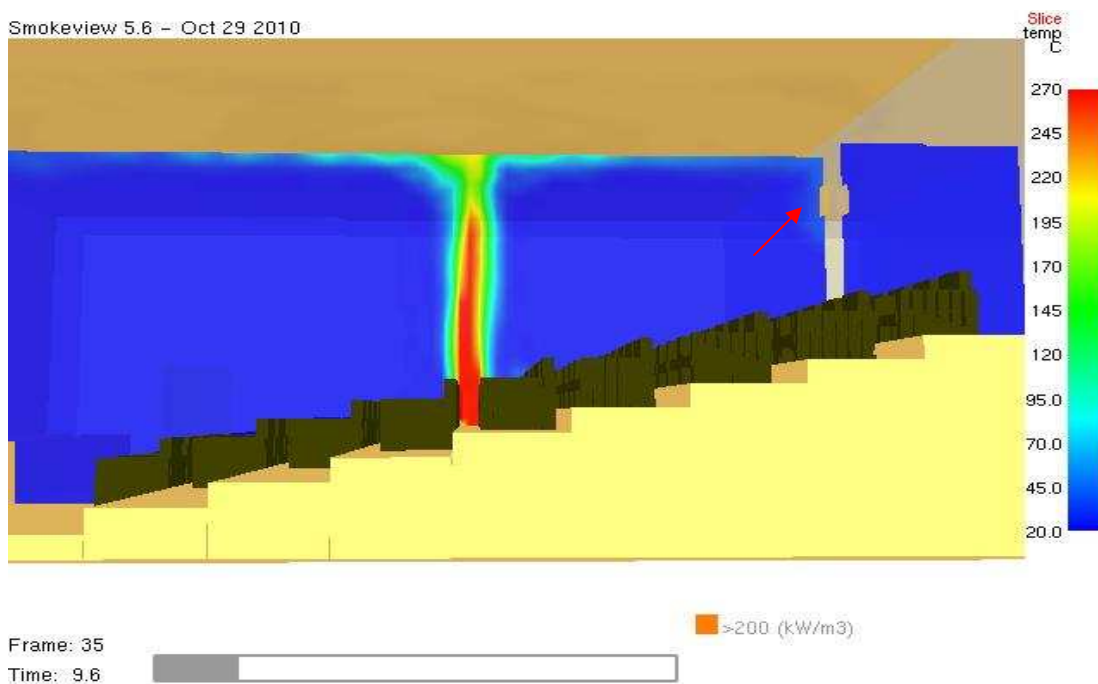
Obr. 57 Teplotný rez pre simuláciu v čase 4.2 s

V čase 9.6 s požiaru (Obr. 58-60) sa horúce plyny (šíriace sa pozdĺž stropu miestnosti) po náraze na zvislú stenu miestnosti šíria smerom nadol a začínú ohrozovať divákov v poslednom 9. rade. Tento jav je spôsobený turbulentným premiešavaním studeného vzduchu v sále s rýchlo sa šíracimi horúcimi plynmi (na Obr. 58-59 je znázornený červenou šípkou). Podobný jav možno sledovať aj po tom, ako plyny dorazia

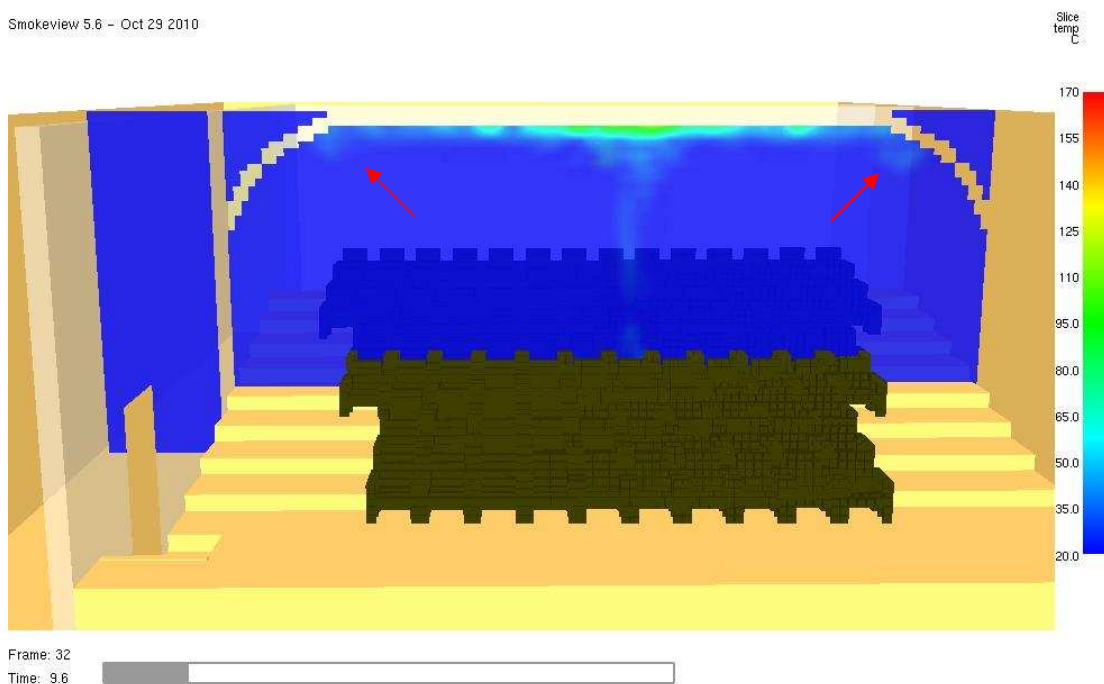
ku zakrivenej časti stropu (viď. Obr. 60). Bezprostredné nebezpečenstvo ešte v tejto fáze požiaru nehrozí, nakoľko množstvo toxického plynu pod stropom ešte nie je veľké.



Obr. 58 Simulácia šírenia požiaru a dymu v 9.6-tej sekunde (pohľad z boku)



Obr. 59 Teplotný rez pre simuláciu v čase 9.6 s (rez prechádza stredom inicializačného zdroja požiaru rovnobežne s rovinou yz)



Obr. 60 Teplotný rez pre simuláciu v čase 9.6 s (rez prechádza stredom inicializačného zdroja požiaru rovnobežne s rovinou xz)

V 12. sekunde požiaru (Obr. 61-64) horúce plyny šíriace sa pozdĺž stropu narazia na zadnú stenu sály, preto formujúci sa turbulentný mrak toxických plynov sa začne tvoriť skôr v zadnej časti miestnosti a je väčší ako mrak v prednej časti sály. Ohrozuje najviac divákov, ktorí sedia v kreslách v strede posledných radov (9. a 8. rad kresiel). Obdobne nebezpečné šírenie toxických plynov je možné pozorovať na zakrivenej časti stropu po bokoch kinosály, najviac na úrovni 5. radu.

Smokeyview 5.6 – Oct 29 2010



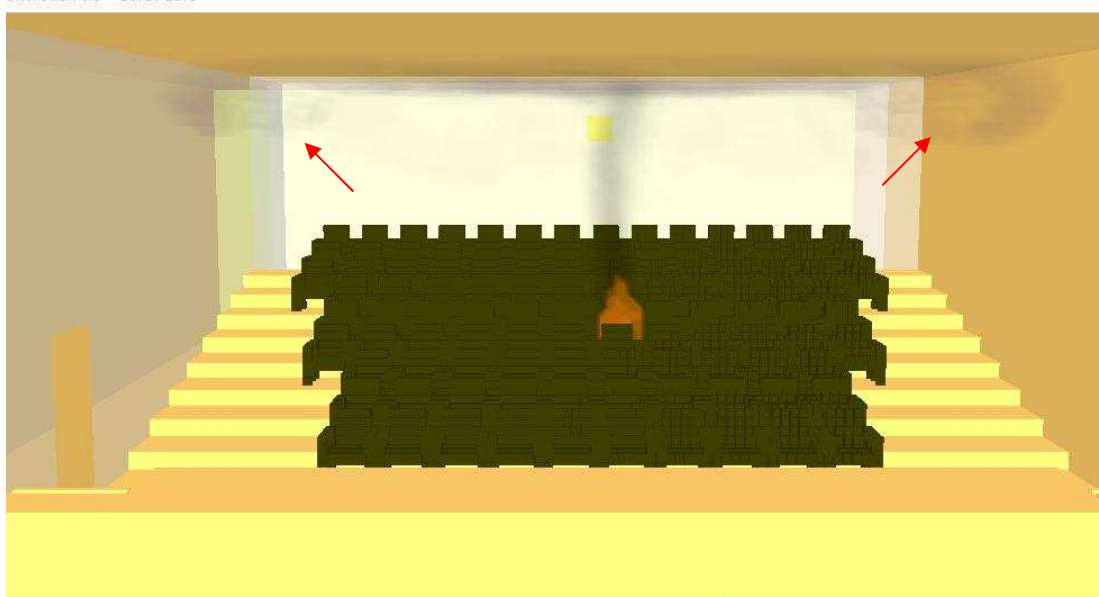
Frame: 40

Time: 12.0

>200 (kW/m³)

Obr. 61 Simulácia šírenia požiaru a dymu v 12-tej sekunde (pohľad z boku)

Smokeyview 5.6 – Oct 29 2010

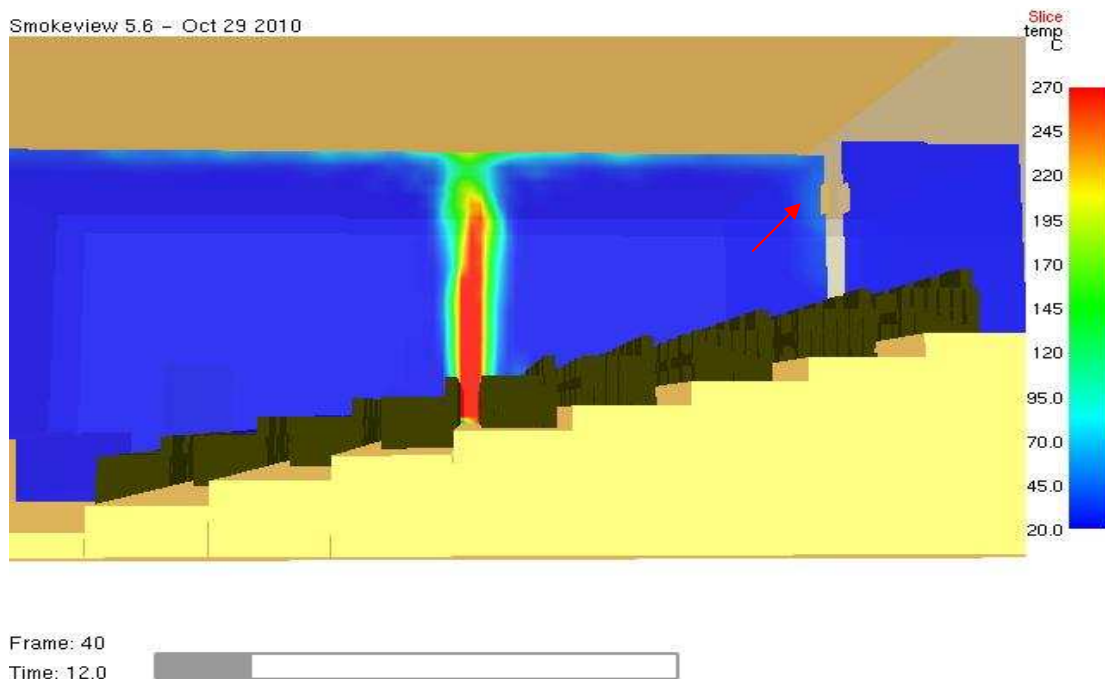


Frame: 40

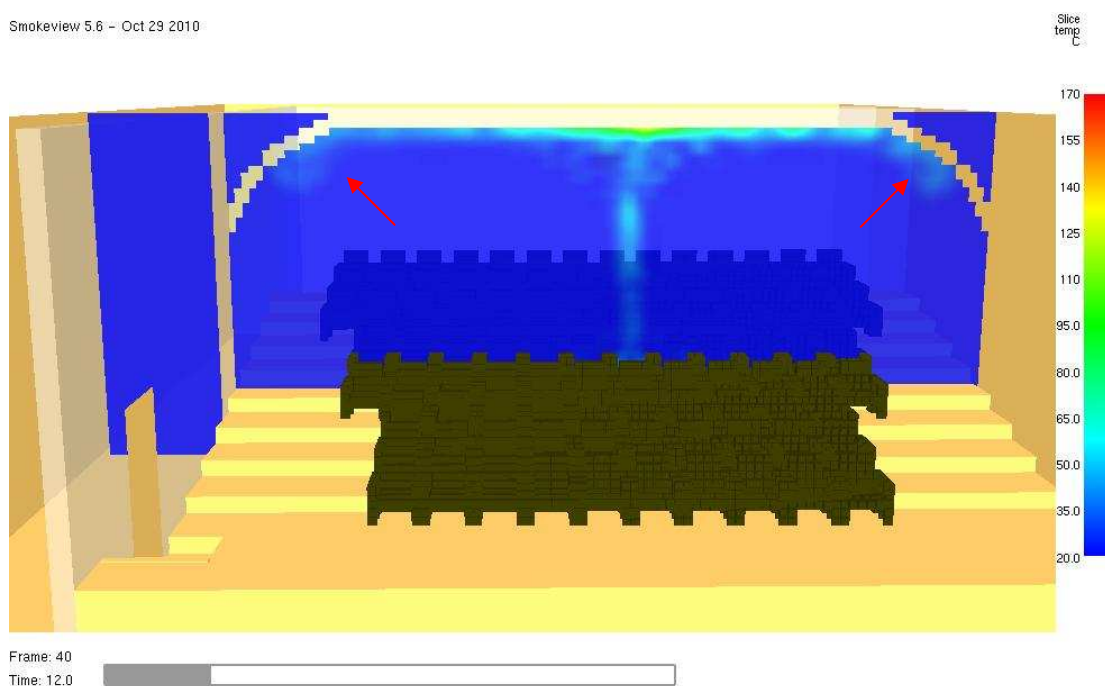
Time: 12.0

>200 (kW/m³)

Obr. 62 Simulácia šírenia požiaru a dymu v 12-tej sekunde (pohľad spredu)



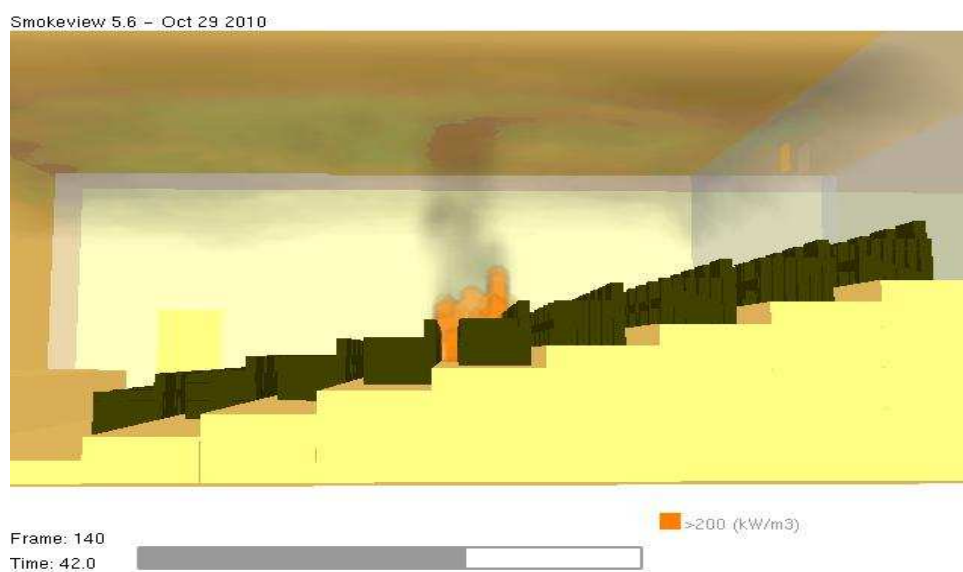
Obr. 63 Teplotný rez pre simuláciu v 12-tej sekunde (pohľad z boku)



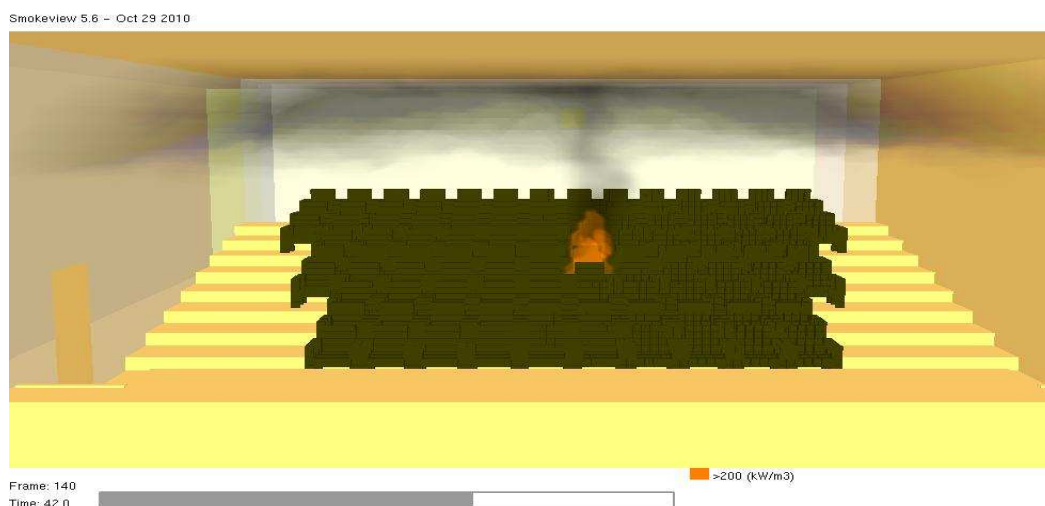
Obr. 64 Teplotný rez pre simuláciu v 12-tej sekunde (pohľad spredu)

Hlavné tendencie požiaru pokračujú aj v ďalších fázach rozvoja požiaru. Toxické plyny sa zhromažďujú pod stropom a celá vrstva toxických plynov sa šíri smerom nadol k hlavám divákov. V zakrivenej časti stropu a v zadnej časti sály pokračujú turbulencie (toxické mraky plynu).

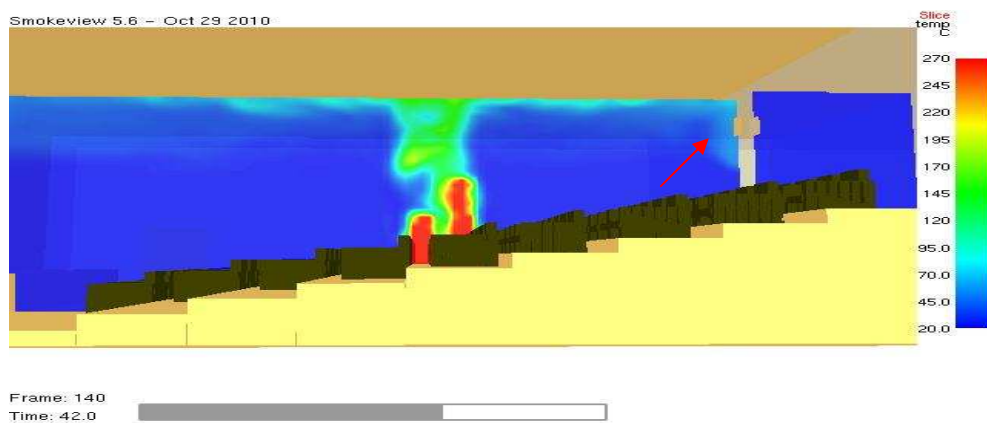
V **42.-hej sekunde** požiaru (Obr. 65-68) sa vznietila zadná opierka kresla z dôvodu vytrvalého tepelného namáhania materiálu spodnej časti sedáka a spodnej vnútornej časti bočných opierok. Predpokladáme, že v tomto čase sedák prehorel v prednej časti a požiar sa rozšíril na prednú časť zadnej opierky, čo má za následok zväčšenie intenzity požiaru. Zároveň si môžeme všimnúť, že mraky horúcich toxických plynov po bokoch miestnosti klesajú. Dym sa približuje k hlavám ľudí a je stále väčšie riziko nadýchania sa toxických plynov, ktoré vznikajú pri spaľovaní materiálu.



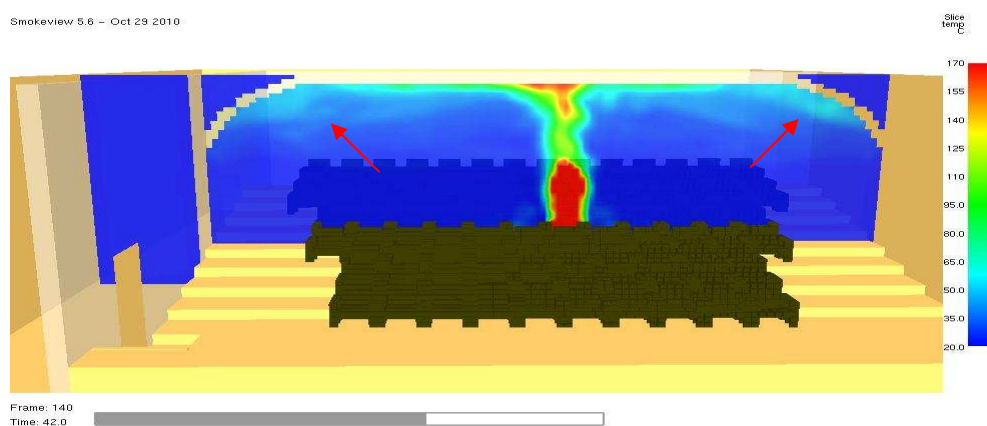
Obr. 65 Simulácia šírenia požiaru a dymu v 42. sekunde (pohľad z boku)



Obr. 66 Simulácia šírenia požiaru a dymu v 42. sekunde (pohľad spredu)



Obr. 67 Teplotný rez pre simuláciu v 42. sekunde (pohľad z boku)



Obr. 68 Teplotný rez pre simuláciu v 42. sekunde (pohľad spredu)

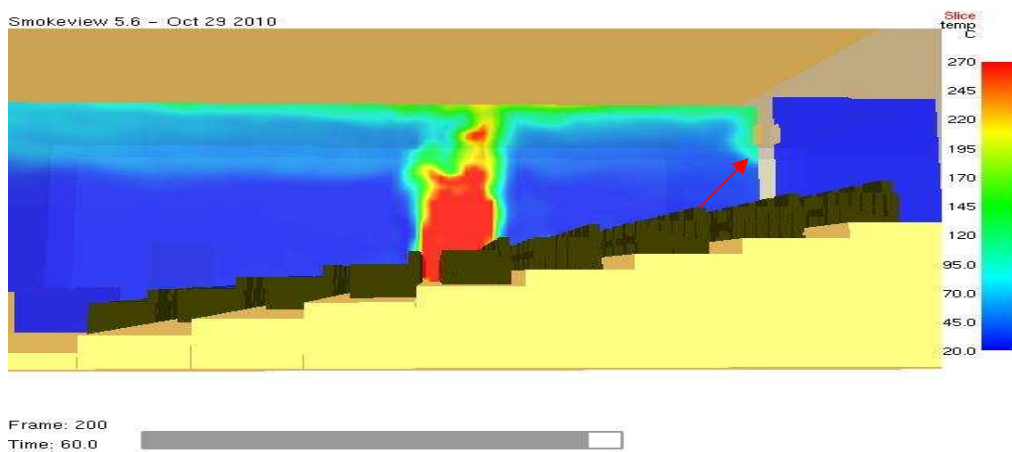
V 60. sekunde požiaru (Obr. 69-72) je intenzita požiaru vyššia a vrstva horúcich plynov pod stropom hrubne, čo ohrozuje divákov v posledných radoch kresiel. Simulácia potvrdila, že medzi najnebezpečnejšie priestory v kinosále patrí zadná časť sály (Obr. 69) a priestory po bokoch sály (Obr. 70) z dôvodu turbulentných mrakov toxických plynov. Popísané nebezpečne javy sa budú časom prehlbovať.



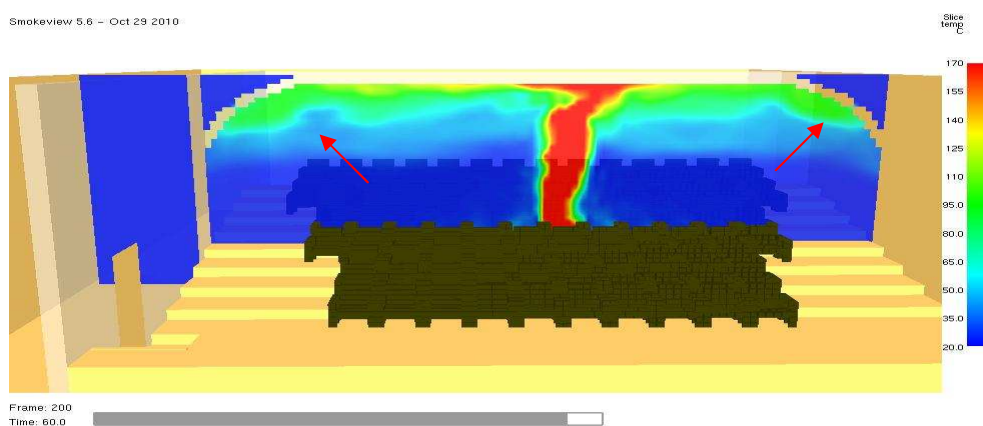
Obr. 69 Simulácia šírenia požiaru a dymu v 60-tej sekunde (pohľad z boku)



Obr. 70 Simulácia šírenia požiaru a dymu v 60-tej sekunde (pohľad spredu)



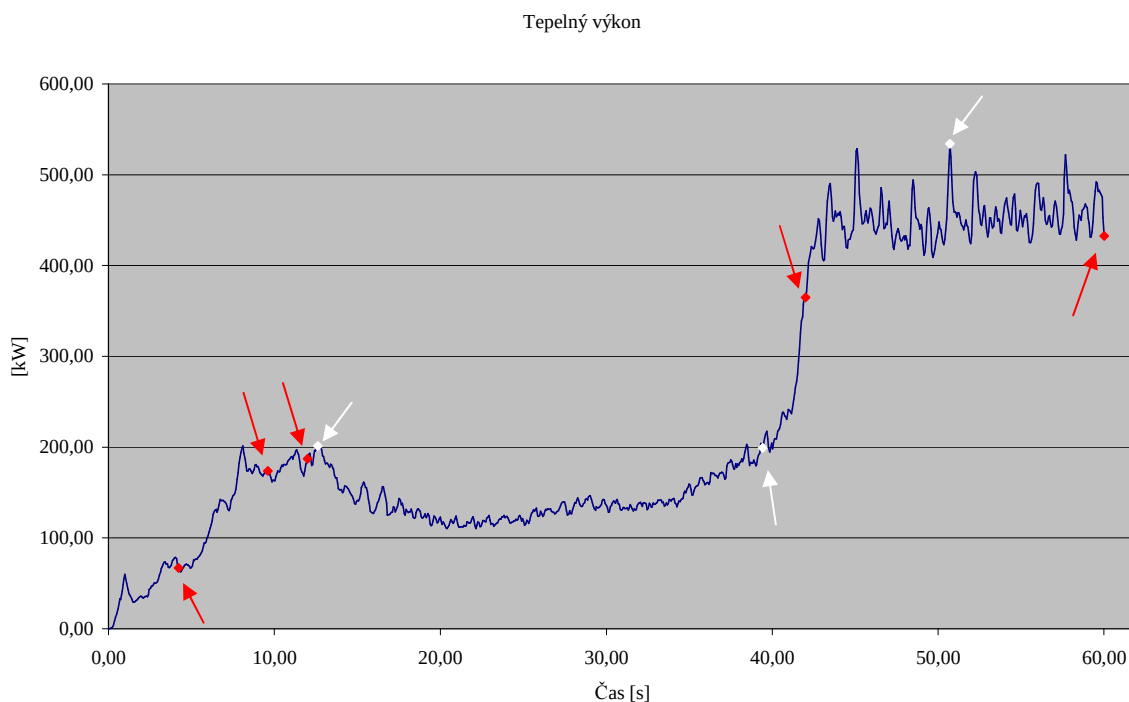
Obr. 71 Teplotný rez pre simuláciu v 60-tej sekunde (pohľad z boku)



Obr. 72 Teplotný rez pre simuláciu v 60-tej sekunde (pohľad spredu)

Na Obr. 73 je znázornený graf tepelného výkonu (HRR) požiaru. Hodnoty HRR v časoch, ktoré zodpovedajú stavom simulácie na Obr. 56 a 57, 58-60, 61-64, 65-68 a 69-

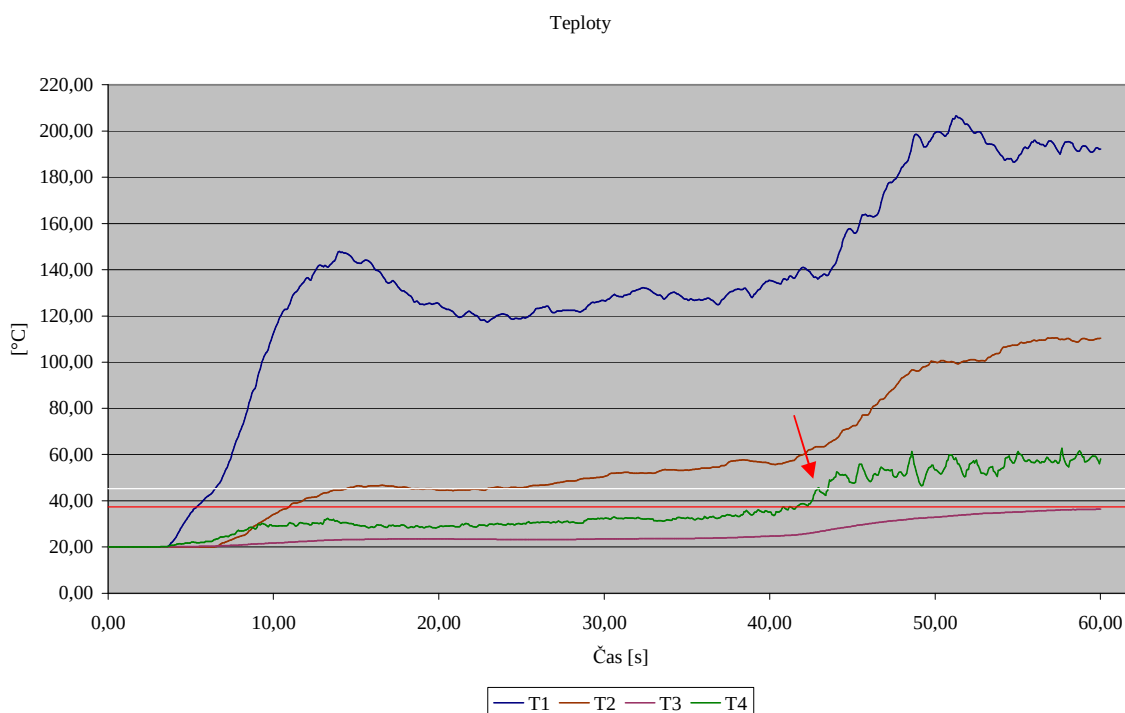
72 sú zvýraznené červenými krúžkami, ku ktorým smeruje červená šípka. Bielymi krúžkami (šípkami) sú na Obr. 73 zvýraznené zvyšné časy dôležité pre priebeh simulácie. Z grafu vidieť, že tepelný výkon počas prvých 9 sekúnd požiaru rýchlo rastie a nadobúda lokálne maximum 201.25 kW v čase 8.1 s. Počas nasledujúcich sekúnd hodnoty HRR ostávajú vysoké a napriek vypnutiu inicializačného zdroja požiaru v 12. sekunde, HRR dosiahne maximum 201.28 kW v 12.6 sekunde (zotrvačnosť požiaru). Potom 35 sekúnd HRR stagnuje, čo môže byť spôsobené nedostatkom kyslíka pod kreslom. Od času 39.42 s nastáva veľmi strmý nárast HRR, zapríčinený pravdepodobne prehorením sedáku. Po nadobudnutí lokálneho maxima 529.03 kW v čase 45.12 s až do 60.-tej sekundy, požiar pretrváva s veľmi vysokou intenzitou s výraznými osciláciami krivky HRR. Globálne maximum 533.95 kW dosahuje v čase 50.71 s.



Obr. 73 Graf HRR: červenými krúžkami sú znázornené hodnoty HRR v časoch 4.2, 9.6, 12, 42 a 60 s, bielymi krúžkami sú znázornené hodnoty HRR v čase po vypnutí inicializačného zdroja požiaru (12.6 s), na začiatku prehorevania sedáku (39.42 s) a v čase nadobudnutia maximálnej hodnoty HRR (v čase 50. 71 s)

Na Obr. 74 je znázornený graf teplotných kriviek na termočlánkoch T1 (modrá farba), T2 (hnedá farba), T3 (fialová farba) a T4 (zelená farba). Priebeh teploty na termočlánku T1 zodpovedá priebehu tepelného výkonu požiaru (porovnaj Obr. 73 a 74).

Priebeh teploty na termočlánku T2 s oneskorením kopíruje priebeh teploty na termočlánku T1 (ale s výrazne nižšími teplotami). Divák v 5. rade na mieste 4. kresla (zľava) nie je počas 1. minúty požiaru ohrozený (viď. Obr. 74, krivku T3). Divák v 9. rade na mieste 4. kresla (zľava) nie je bezprostredne ohrozený plameňmi z horiaceho kresla, ale 42.85 horúcimi toxickými plynmi prúdiacimi zhora od stropu (viď. Obr. 74, krivka T4). Z teplotných kriviek na termočlánoch T3 a T4 je vidieť čas potrebný na evakuáciu vybratých dvoch miest vzhľadom na zmenu teploty (viď. červenú šípku na Obr. 74). Podľa teplotnej krivky na termočlánku T4 musí byť toto miesto evakuované ešte pred 42. sekundou požiaru, aby nebol ohrozený divák, ktorý sa nachádza na tomto mieste. Teplotná krivka na termočlánku T3 naznačuje, že na mieste 4. kresla (zľava) v 5. rade nedôjde k ohrozeniu diváka počas 1. minúty požiaru, ale teplota od 42. sekundy začína prudšie narastať.



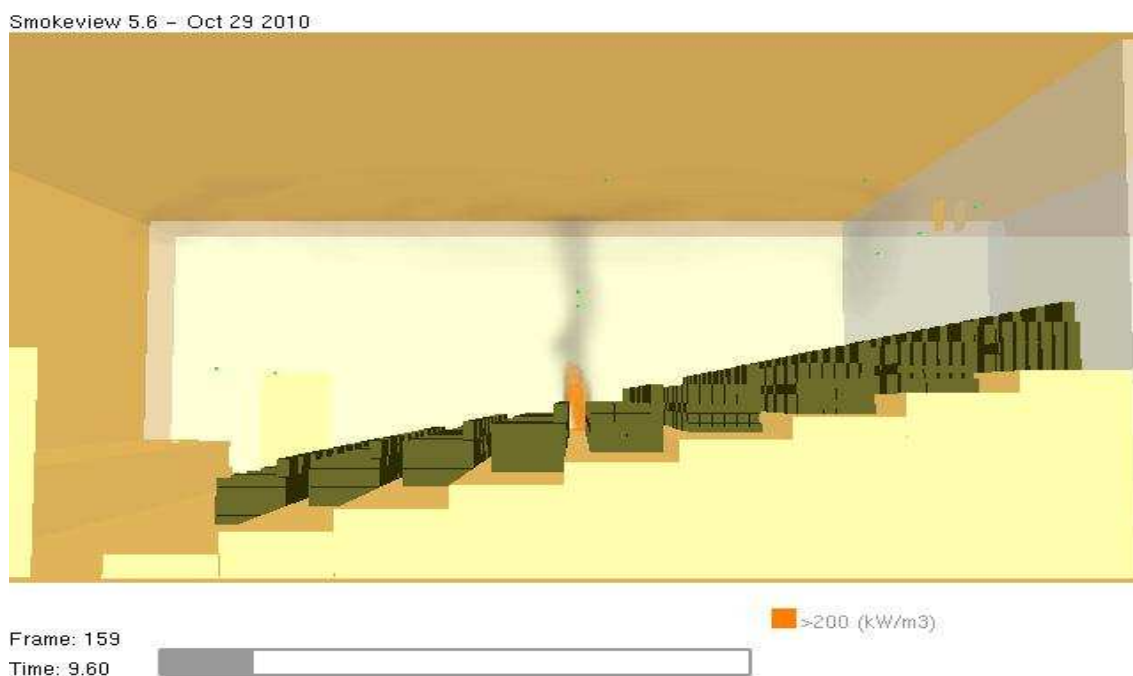
Obr. 74 Graf teplotných kriviek na termočlánoch T1-T4, červenou farbou je znázornená normálna teplota ľudského tela (37 °C) a bielou farbou je teplota pri ktorej nastáva poškodenie tkanív (45 °C)

4.4. Analýza výsledkov simulácie: druhý požiarly scenár

Simulácia 60-sekundového požiaru v kine na počítači Intel Core i7 990-X, 3.46 GHz, 24 GB RAM trvala 2 hodín 51 minút a 36 sekúnd pri 60 sekundovej dĺžke požiaru.

V počiatočných fázach vývoja požiaru sa požiar pri druhom scenári správal veľmi podobne ako pri prvom scenári. Spod kresla, pod ktorým je umiestnený inicializačný zdroj požiaru sa začal šíriť úzky stĺp horúcich plynov smerom nahor k stropu. Po náraze na strop sa toxické horúce plyny šíria rovnomerne od miesta nárazu popri strope miestnosti všetkými smermi ako v predošlej simulácii. Dominantný smer šírenia je v smere osi y, avšak v tomto prípade dym narazí na zakrivenie stropu (už v 4. sekunde požiaru).

V čase 9.6 s (Obr. 75-78) šírenie toxických plynov je tiež veľmi podobné ako v prvom požiarom scenári. V mieste zakrivenia stropu, ktoré je na úrovni radu s horiacim kreslom, vzniká turbulentný mrak toxických plynov. Plyny sa šíria tiež v opačnom smere popod stropom až smerom k zakriveniu stropu na druhej strane kinosály. Na pohľade spredu na Obr. 78 je vidieť na ľavej strane mrak toxického plynu a pomalšie, menej výrazné šírenie plynu na druhú stranu. Rovnako ako v prvom požiarom scenári, ani v tomto prípade v sledovanom čase ešte divákovi bezprostredné nebezpečenstvo nehrozí.



Obr. 75 Simulácia šírenia požiaru a dymu v 9.6-tej sekunde (pohľad z boku)



Obr. 76 Simulácia šírenia požiaru a dymu v 9.6-tej sekunde (pohľad spredu)



Obr. 77 Teplotný rez pre simuláciu v čase 9.6 s (pohľad z boku)

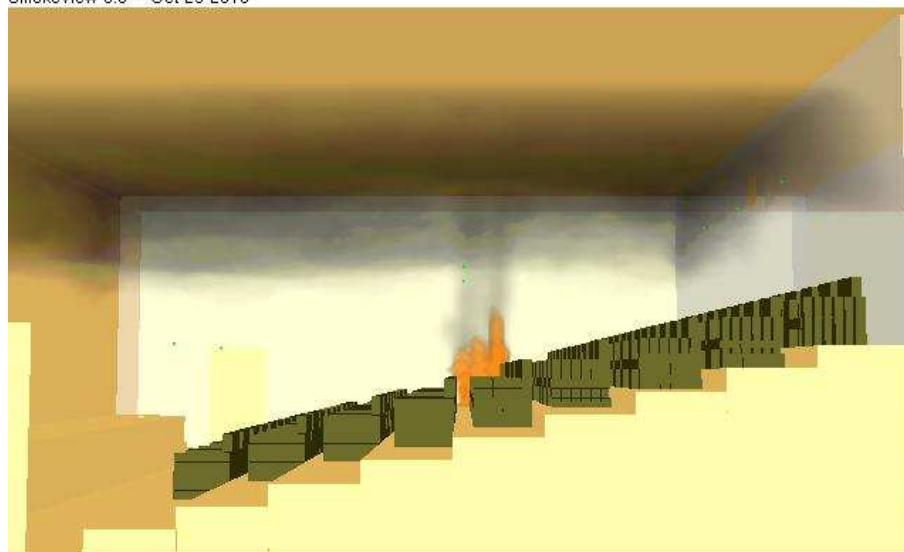


Obr. 78 Teplotný rez pre simuláciu v čase 9.6 s (pohľad spredu)

V ďalších sekundách simulácia ukazuje podobné tendencie správania sa požiaru ako v predchádzajúcom scenári. Horúce plyny sa hromadia v súvislej vrstve pod stropom, pričom hrúbka tejto vrstvy sa časom zväčšuje a na zakriveniach stropu a na miestach, kde strop končí a začína zvislá stena, sa vytvárajú turbulentné mraky toxických plynov, ktoré ohrozujú divákov.

V 60. sekunde požiaru (Obr. 79-82) je tepelný výkon požiaru veľmi podobný ako pri požiaru v prvom scenári, rozdiel v správaní sa požiaru môžeme vidieť v zadymení kinosály na miestach zakrivenia stropu. Najnebezpečnejší mrak toxických plynov sa vytvoril v časti kinosály, ktorá je ďalej od inicializačného zdroja požiaru. Zakrivená stena nachádzajúca sa bližšie k inicializačnému zdroju požiaru bráni nerušenému toku horúcich plynov v tomto smere, pričom v opačnom smere je tok plynov nerušený. Preto sa plyny šíria dominantne smerom k vzdialenejšej zakrivenej stene kinosály vyššou rýchlosťou a preto po náraze plynov na zakrivenie vzniká väčší mrak toxických plynov v tejto časti kinosály. Teplotné rezy na Obr. 81-82 ukazujú tieto pre divákov nebezpečné tendencie šírenia sa požiaru v sledovanom čase ešte výraznejšie. Simulácia druhého požiarneho scenára potvrdila, že podobne ako pri prvom scenári medzi najnebezpečnejšie časti v kinosále patria zadná časť kinosály vzhľadom na to, že podlaha v sále je zošíkmená a vystupuje vzostupne smerom na koniec sály (k 9. radu kresiel) a priestory po bokoch sály vzhľadom na zakrivenie stropu.

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



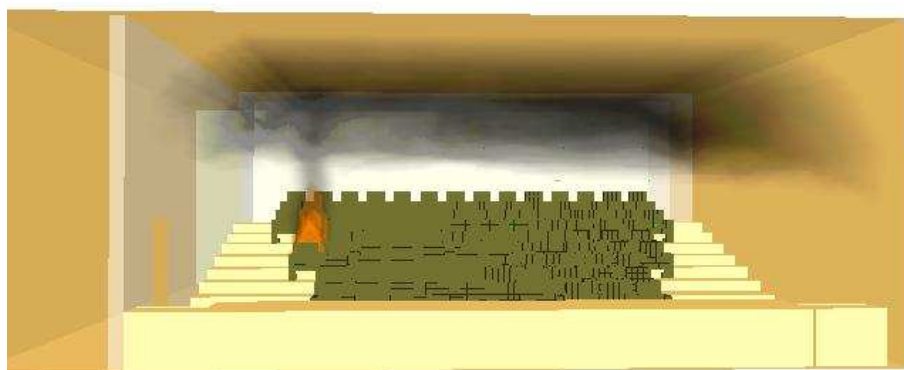
Frame: 999

Time: 60.00

>200 (kW/m³)

Obr. 79 Simulácia šírenia požiaru a dymu v 60-tej sekunde (pohľad z boku)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

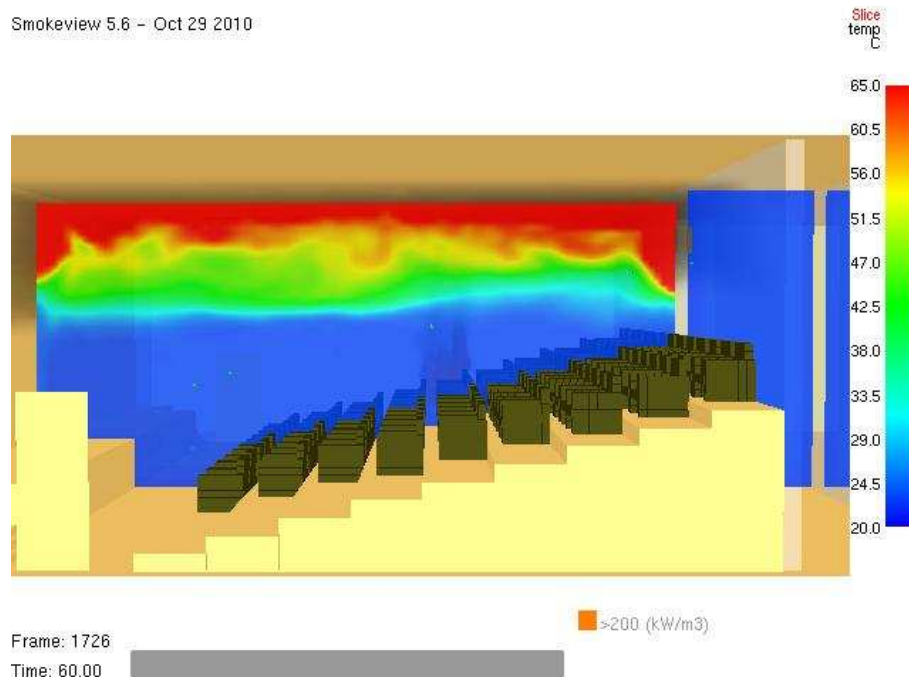


Frame: 999

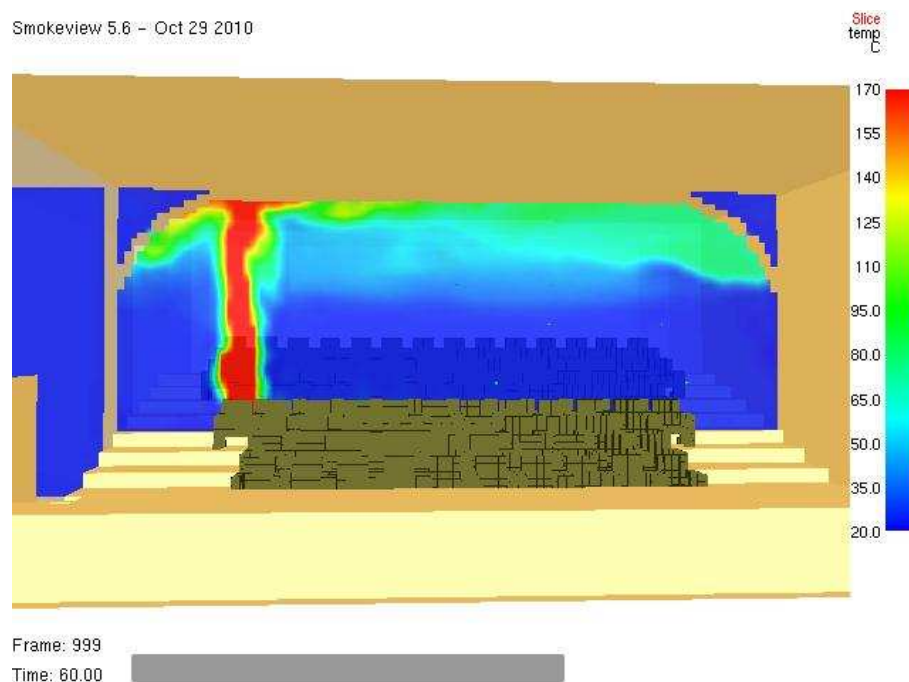
Time: 60.00

>200 (kW/m³)

Obr. 80 Simulácia šírenia požiaru a dymu v 60-tej sekunde (pohľad spredu)



Obr. 81 Teplotný rez pre simuláciu v 60-tej sekunde (pohľad z boku)



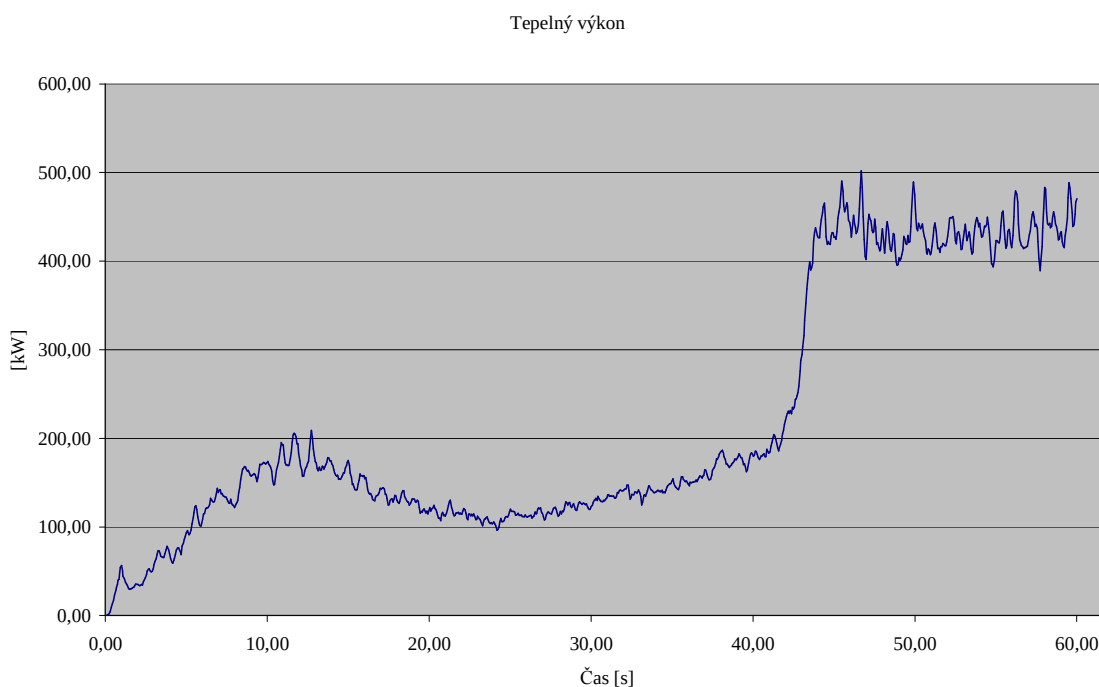
Obr. 82 Teplotný rez pre simuláciu v 60-tej sekunde (pohľad spredu)

Na Obr. 83 je znázornený graf tepelného výhonu požiaru, ktorý je podobný ako pri simulácii prvého požiarneho scenára (porovnaj Obr. 73 a 83). V prvých fázach stúpa mierne pomalšie a plynule dosiahne maximálne hodnoty v čase 12.7 sekundy. Neskôr podobne ako v prvom scenári stagnuje a približne od 41. sekundy v podobne ako v prvom

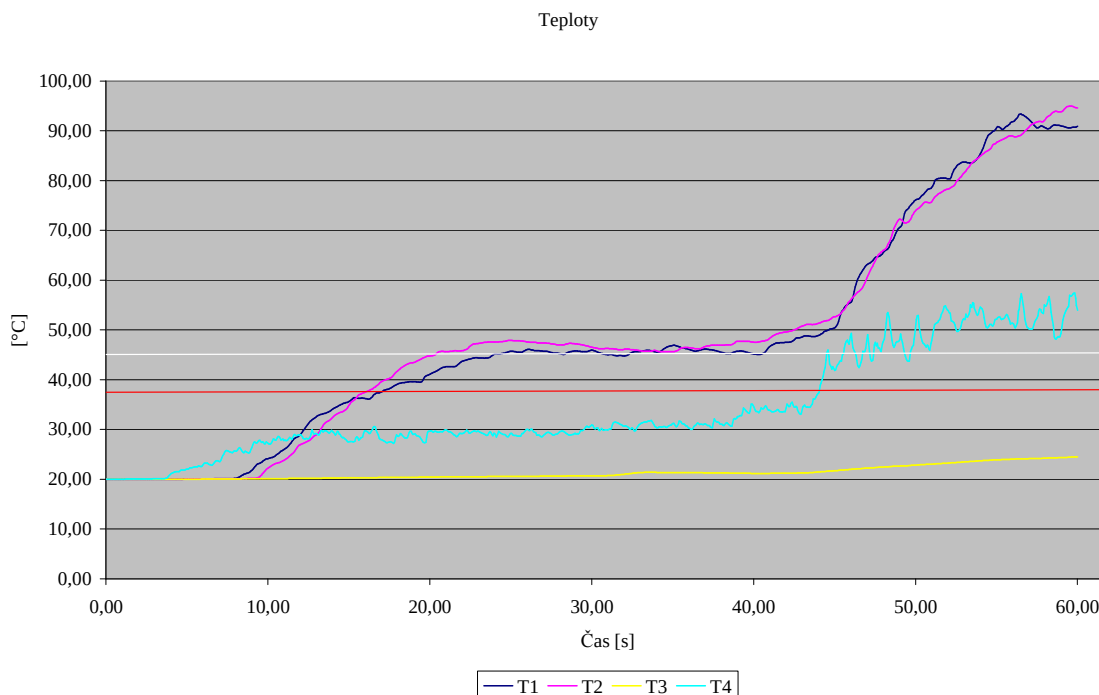
scenári rýchlo rastie. Globálne maximum nadobudne skôr ako v prvom prípade, avšak nadobudnutá hodnota 502.05 kW je mierne nižšia ako pri prvom scenári.

Graf teplotných kriviek na termočlánkoch T1-T4, ktoré sú umiestnené na rovnakých miestach ako pri prvom scenári, je zobrazený na Obr. 84. Podobne ako pri prvom scenári teplotná krivka na termočlánku T1 je podobná krivke tepelného výkonu požiaru. Má však oneskorený priebeh: pozvoľný nárast, stagnácia (mierne klesanie teploty nenastáva tak výrazne ako v prvom scenári), globálne maximum nadobúda v čase 56.58 sekundy a hodnota 93.25 °C je podstatne nižšia. Teplotná krivka na termočlánku T2 má podobný priebeh ako na termočlánku T1, pretože termočlánok T1 bol umiestnený v prvom scenári nad inicializačným zdrojom požiaru, ale v druhom scenári je od inicializačného požiaru významne vzdialený a preto nie je namáhaný teplom tak výrazne. Toto vysvetľuje aj podobný priebeh teploty na termočlánkoch T1 a T2.

Teploty na termočlánkoch T3 a T4 zodpovedajú teplotám vo výške očí na tých istých miestach ako v prvom scenári. Sú teda dôležité pre určenie rizika pre divákov vzhľadom na zmenu teploty. Teplotný graf zodpovedajúci termočlánku T3 (4. kreslo v 5. rade) naznačuje, že diváci na tomto mieste nebudú počas prvej minúty požiaru ohrození zmenou teploty. Teplotný graf zodpovedajúci termočlánku T4 (4. kreslo v 9. rade) naznačuje, že diváci na tomto mieste budú ohrození zmenou teploty už v čase 44. sekunde požiaru (iba o 2 sekundy neskôr ako v prvom požiarom scenári)



Obr. 83 Graf tepelného výkonu druhého požiarneho scenára



Obr. 84 Graf teplotných kriviek na termočláňkoch T1-T4 druhého požiarneho scenára

Podobnú analýzu by bolo možné urobiť pre ktorékoľvek miesto na sedenie, aj pre celú kinosálu. Celkovo je možné konštatovať, že aj keď simulácie ukázali relatívne výrazne odlišný priebeh šírenia toxických plynov a vytváranie mrakov toxických plynov na tých istých miestach v rôznych časoch, súčasne je z analýzy výsledkov simulácií vidno, že tepelný výkon obidvoch požiarov je veľmi podobný a hlavné tendencie šírenia požiaru v danej kinosále sú veľmi podobné (aj keď čas, kedy nastanú, veľmi závisí od iniciácie požiaru).

Naznačený postup poukazuje na veľké možnosti analýzy bezpečnostných rizík požiaru v kine, keďže počítačová simulácia (ako som spomínal vyššie) umožňuje ľubovoľne meniť parametre požiarneho scenára podľa požiadaviek užívateľa.

5. Záver

V tejto práci sme na príklade modelu kina, ktorý obsahoval viaceré komplexné architektonické prvky, ukázali možnosti využitia grafického používateľského rozhrania (GPR) PyroSim pre efektívnu prípravu vstupov pre simuláciu pomocou simulačného systému FDS. Komplex kina pozostával z kinosály so zakriveným stropom a dvoch príľahlých miestností. V kinosále bolo pódium s dvoma menšími schodiskami a 108 miest na sedenie, ktoré boli usporiadané do 9 radov kresiel na schodoch výšky 20 cm. Vytvorenie geometrie kina umožnilo ukázať prednosti systému PyroSim a zrýchlenie prípravy topológie priestoru, v ktorom sa simuluje požiar. Najnáročnejším sa ukázalo navrhnuť zakrivený strop kinosály. Za týmto účelom sme vytvorili program (v programovacom jazyku C), ktorý na základe poznania syntaxe vstupného FDS súboru vytvoril blok prekážok, ktorých rozmery a poloha zodpovedali výpočtovej mriežke. Tento blok sme potom vložili na správne miesto vo vstupnom FDS súbore v GPR PyroSim. Celkový počet základných prvkov, ktoré reprezentujú kompletnú geometriu kina, bol 530 prekážok (z toho 65 prekážok reprezentuje zakrivenú strechu), 4 otvory typu HOLE a 7 otvorov typu VENT. Veľký počet prekážok, ktoré je potrebné vo vstupnom FDS súbore zadať dvojicou bodov, ktoré ich reprezentujú, dokumentuje prácnosť prípravy geometrie stavieb, v ktorých sú komplexné konštrukčné prvky a naznačuje uľahčenie práce pri zadávaní topológie oblasti a geometrie kina pomocou GPR PyroSim.

Pre simuláciu požiaru v kine, ktorú sme vytvorili, sme opísali dva požiarne scenáre a vytvorili sme pre nich kompletné vstupné FDS súbory. Analyzovali sme priebeh požiaru a šírenie dymu v kinosále počas prvej minúty požiaru. Na základe výsledkov simulácie sme popísali jednotlivé fázy šírenia požiaru a dymu v kine a nebezpečné javy ohrozujúce divákov v kinosále sediacich v rôznych radoch v kinosále resp. na rôznych miestach v danom rade kinosály. Takáto podrobná analýza použitia GPR PyroSim pre účely simulácie požiaru v kine ešte nebola urobená, čo považujeme za prínos tejto práce.

V budúcnosti by bolo potrebné venovať pozornosť analýze začiatku požiaru (šírenie v prvých sekundách), analýze prehorenia sedáku (resp. rozšírenia požiaru na celé kreslo), analýze rozšírenia požiaru z horiaceho kresla na susedné kreslá (resp. rady kresiel) a tiež prípadne doplniť ďalšie horľavé materiály do scenára požiaru (napr. horľavú podlahu). Zaujímavým bude priebeh požiaru v ďalších minútach a vplyv otvorenia vstupného vchodu a únikového priestoru a šírenie dymu v kinosále a do ďalších priestorov kina. Budúci

výskum smeruje k simulácii požiaru v multiplexe (komplex s viacerými kinosálami) s väčšou koncentráciou divákov a analýze bezpečnostných rizík a k modelovaniu evakuácie divákov. V tejto súvislosti sa bude potrebné venovať paralelnej realizácii takejto simulácie, lebo požiadavky na výpočtový výkon prevýšia možnosti dostupných počítačov. Bude potrebné skúmať vhodné rozdelenie výpočtovej oblasti na viac výpočtových mriežok a výpočet na každej výpočtovej mriežke prideliť inému počítaču (alebo počítačovému jadrú), teda realizovať výpočet paralelne na výpočtovom klastri (alebo na výkonnom viacjadrovom počítači).

Literatúra

- [1] ABREU, V. – MENDES, P. 2009. *STRATEGIES FOR ROUTE PLANNING ON CATASTROPHE ENVIRONMENTS Coordinating Agents on a Fire Fighting Scenario*, Italy, p. 277-280, ISBN 978-989-8111-85-2.
- [2] BABRAUSKAS, V. - WILLIAMSON, R. B. 1979. Post-flashover Compartment Fires: Application of a theoretical model, *Fire and materials*, ISSN: 1099-1018, 1979, Vol. 3, p. 1-7.
- [3] CFX User's Guide, www.ansys.com
- [4] GLASA, J. - HALADA, L. 2009. *On mathematical foundations of elliptical forest fire spread model* (Chapter 12, p. 315-333), IN: *Forest fires: detection, suppression and prevention* (Gomez E., Alvarez K., eds.), Nova Science Publishers, New York, 2009, ISBN 978-1-60741-716-3, 350 p.
- [5] HALADA, L. - WEISENPACHER, P. - GLASA, J. 2012. *Computer simulation of automobile fires* (Chapter), IN: *Fluidodynamics* (Ch. Liu, editor), INTECH Publisher, Rijeka, 2012, ISBN 980-953-307-311-3.
- [6] EWER, J. - GALEA, E. – PATEL, M. - JIA, F. - GRANDISON, A. - WANG, Z. 2010. *SMARTFIRE - The Fire Field Modelling Environment* 2010, The Fifth European Conference on Computational Fluid Dynamics, ECCOMAS CFD 2010 (Pereira, J. C. F., Sequeira, A, Pereira, J. M. C., eds.), Lisbon, Portugal, June 2010, ISBN 978-989-96778-1-4.
- [7] FANG, Z M. – SONG, W G. – WU, H. – ZHANG, J. 2012. *A Multi-Grid Model for Evacuation Coupling with effects of Fire Products*, Article 91-104, Chine, January 2012, ISSN 0015-2684.

- [8] FORNEY, G. P. - MOSS, W. F. 1994. *Analyzing and Exploiting Numerical Characteristics of Zone Fire Models*, *Fire Science and Technology*, Vol. 14, p. 49–60, ISSN: 0285-9521.
- [9] HIETANIEMI, J. – HOSTIKKA, S. VAARI, J. 2004. *FDS simulation of fire spread-comparison of model results with experimental data*, VTT Working Papers 1459-7683, VTT Building and Transport, Finland.
- [10] KOLEKTÍV, 2008. *PyroSim: A model construction tool for fire dynamics simulator (FDS)*, PyroSim User Manual, 2008.1, Thunderhead Engineering, Manhattan, USA
- [11] KOLLER, J. *Starostlivosť o popálených v ambulancii praktického lekára*, via practica, 11/2005, s. 458 - 462, www.meduca.sk
- [12] LING, D. – KAN, K. 2011. *Numerical Simulations on Fire and Analysis of the Spread Characteristics of Smoke in Supermarket*, College of Civil Engineering, Yangzhou University, Part II, CCIS 176, p. 7-13, China, CESM 2011
- [13] MATHEISLOVÁ, H. – JAHODA, M. – KUNDRATA, T. – DVOŘÁK, O. 2010. *CFD simulations of compartment fires*, *Chemical Engineering Transactions*, 21, 1117-1122 DOI: 10.3303/CET1021187, ISBN 978-88-95608-05-1, ISSN 1974-9791
- [14] MCGRATTAN, K. – MCDERMOTT, R. - HOSTIKKA, S. – FLOYD, J. 2010. *Fire Dynamics Simulator (Version 5), User's Guide*, NIST Special Publication 1019-5, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, 222 p
- [15] MCGRATTAN, K. - BAUM H. – REHM, R. – MELL, W. – MCDERMOTT, R. 2009. *Fire Dynamics Simulator (Version 5), Technical Reference Guide*, NIST Special Publication 1018-5, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, 108 p.
- [16] MOIN, P. – MAHESH, K. 1998. *Direct numerical simulation: A tool in turbulence research*, Center for Turbulence Research, Stanford University, Stanford, CA 94305 and NASA Ames Research Center, Moffett Field, California 94035.
- [17] MOLNÁR, V. 2009. *Počítačová dynamika tekutín: Interdisciplinárny prístup s aplikáciami CFD* (2. vydanie, STU Bratislava, September 2009, <http://www.cfd.sk/cfd-book>).
- [18] PETTERSSON, O. - MAGNUSON, S. E. - THOR, J. 1976. *Fire Engineering Design of Structures*, Swedish Institute of Steel Construction, Publication 50.
- [19] POPE, S. B. 2004. *Ten questions concerning the large-eddy simulation of turbulent flows*. *New Journal of Physics*, 6:1–24, 2004. 34.

- [20] PRASAD, K. – KRAMER, R. – MARSH, N. – NYDEN, M. – OHLEMILLER, T. – ZAMMARANO, M. *Numerical simulation of fire spread on polyurethane foam slabs*, Fire Research Division National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA.
- [21] QUINTIERE, J. 1984. *A Perspective on Compartment Fire Growth*. Combustion Science and Technology, Vol. 39, s. 11–54, ISSN: 0010-2202.
- [22] REHM, R. G. - BAUM, H. R. 1978. *The Equations of Motion for Thermally Driven, Buoyant Flows*, Journal of Research of the NBS, ISSN: 1740-0449, Vol. 83, s. 297–308.
- [23] ANGELIS, J. – KUNDRATA, T. – DVOŘÁK, O. – MATHEISLOVÁ, H. – BURSÍKOVÁ, P. – JAHODA, M. 2010. *Počítačové modelování požární zkoušky v Mokrsku*, Požární ochrana 2010.
- [24] VALÁŠEK, L. – GLASA, J. 2011. *Analýza prenosu geometrie medzi systémami AutoCAD a FDS pomocou grafického používateľského rozhrania PyroSim*, Výskumná správa č. ÚI SAV-2011-05, ÚI SAV, Bratislava, 2011. 33 s.
- [25] WANG, M. Y. – HAN, X. – WU, G. H. – LIU, Q. Q. 2008. *Simulation analysis of temperature characteristics for a theater fire*, s.1145-1152, China, ISBN 978-7-5641-0999-8
- [26] WEISENPACHER, P. - HALADA, L. - GLASA, J. 2011. *Computer simulation of fire in a tunnel using parallel version of FDS*, Proceedings of the 7th Mediterranean Combustion Symposium, MCS-7 2011, Associazione Sezione Italiana del Combustion Institute, 2011. ISBN 978-88-88104-12-6, 11 s.
- [27] WU, G. H. – HAN, X. – WANG, M. Y. – LIU, Q. Q. 2008. *Simulation analysis of smoke distribution features for a theater fire*, ISBN 978-7-5641-0999-8, s.1153-1159.

Príloha I - Vstupné FDS súbory pre simuláciu požiaru v kine

V tejto prílohe sú uvedené dva vstupné FDS súbory, v ktorých sú zhromaždené vstupné údaje pre simuláciu 1. a 2. požiarneho scenára, ktoré sú opísané v tejto práci. Súbory sa líšia iba v umiestnení inicializačného zdroja požiaru. Príslušnú časť (inštrukciu popisujúcu inicializačný zdroj požiaru) v oboch vstupných súboroch označíme šedou farbou. Druhý vstupný súbor bude uvedený úsporným spôsobom.

Prvý vstupný FDS súbor:

Vstupný FDS súbor pre simuláciu požiaru v kine – 1. scenár

cinema_model_1_scenar.fds

Generated by PyroSim - Version 2011.1.1114

Hlavicka, mriezka, dĺžka simulácie

```
&HEAD CHID='cinema_model_1_scenar' /
&MESH ID='MESH', IJK=126,160,48, XB=0.0,12.6,0.0,16.0,0.0,4.8/
&TIME T_END=60.0/
```

Materialové vlastnosti

```
&MATL ID='CONCRETE',
      FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',
      SPECIFIC_HEAT=1.04,
      CONDUCTIVITY=1.8,
      DENSITY=2280.0/
&MATL ID='FOAM',
      FYI='Caution: Reaction Rate Not Validated, remaining data from
Jukka Hietaniemi, et al., "FDS simulation of fire spread..."',
      SPECIFIC_HEAT=1.7,
      CONDUCTIVITY=0.05,
      DENSITY=28.0,
      HEAT_OF_COMBUSTION=2.54E4,
      N_REACTIONS=1,
      HEAT_OF_REACTION=1750.0,
      NU_FUEL=1.0,
      REFERENCE_TEMPERATURE=350.0/

&SURF ID='wall',
      RGB=204,204,204,
      TRANSPARENCY=0.501961,
      MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
      MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
      THICKNESS(1)=0.2/
&SURF ID='kreslo',
      RGB=51,51,0,
      BURN_AWAY=.TRUE.,
      BACKING='EXPOSED',
      MATL_ID(1,1)='FOAM',
      MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
```

```

        THICKNESS(1)=0.1/
&SURF ID='burner',
      COLOR='RED',
      HRRPUA=800.0,
      RAMP_Q='burner_RAMP_Q'/          inicializacyjny zdroj poziaru
&RAMP ID='burner_RAMP_Q', T=0.0, F=1.0/
&RAMP ID='burner_RAMP_Q', T=12.0, F=1.0/
&RAMP ID='burner_RAMP_Q', T=13.0, F=0.0/
&SURF ID='picture',
      COLOR='GRAY 80',
      ADIABATIC=.TRUE./

```

Geometria kina

```

&OBST XB=0.0,0.2,5.6,15.8,2.6,2.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=0.010956,0.210956,5.6,15.8,2.80906,3.00906, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=0.043705,0.243705,5.6,15.8,3.01582,3.21582, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=0.097887,0.297887,5.6,15.8,3.21803,3.41803, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=0.172909,0.372909,5.6,15.8,3.41347,3.61347, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=0.267949,0.467949,5.6,15.8,3.6,3.8, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=0.381966,0.581966,5.6,15.8,3.77557,3.97557, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=0.51371,0.71371,5.6,15.8,3.93826,4.13826, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=0.661739,0.861739,5.6,15.8,4.08629,4.28629, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=0.824429,1.02443,5.6,15.8,4.21803,4.41803, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=1.0,1.2,5.6,15.8,4.33205,4.53205, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=1.18653,1.38653,5.6,15.8,4.42709,4.62709, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=1.38197,1.58197,5.6,15.8,4.50211,4.70211, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=1.58418,1.78418,5.6,15.8,4.55629,4.7563, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=1.79094,1.99094,5.6,15.8,4.58904,4.78904, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=2.0,2.2,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=10.6,10.8,5.6,15.8,2.6,2.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=10.589,10.789,5.6,15.8,2.80906,3.00906, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=10.5563,10.7563,5.6,15.8,3.01582,3.21582, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=10.5021,10.7021,5.6,15.8,3.21803,3.41803, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=10.4271,10.6271,5.6,15.8,3.41347,3.61347, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=10.3321,10.5321,5.6,15.8,3.6,3.8, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop
&OBST XB=10.218,10.418,5.6,15.8,3.77557,3.97557, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ stop

```

```

&OBST XB=10.0863,10.2863,5.6,15.8,3.93826,4.13826, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=9.93826,10.1383,5.6,15.8,4.08629,4.28629, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=9.77557,9.97557,5.6,15.8,4.21803,4.41803, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=9.6,9.8,5.6,15.8,4.33205,4.53205, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=9.41347,9.61347,5.6,15.8,4.42709,4.62709, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=9.21803,9.41803,5.6,15.8,4.50211,4.70211, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=9.01582,9.21582,5.6,15.8,4.55629,4.7563, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=8.80906,9.00906,5.6,15.8,4.58904,4.78904, COLOR='INVISIBLE',
SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=8.6,8.8,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=8.4,8.6,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=8.2,8.4,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=8.0,8.2,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=7.8,8.0,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=7.6,7.8,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=7.4,7.6,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=7.2,7.4,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=7.0,7.2,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=6.8,7.0,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=6.6,6.8,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=6.4,6.6,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=6.2,6.4,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=6.0,6.2,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=5.8,6.0,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=5.6,5.8,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=5.4,5.6,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=5.2,5.4,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=5.0,5.2,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=4.8,5.0,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=4.6,4.8,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=4.4,4.6,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop

```

```

&OBST XB=4.2,4.4,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=4.0,4.2,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=3.8,4.0,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=3.6,3.8,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=3.4,3.6,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=3.2,3.4,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=3.0,3.2,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=2.8,3.0,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=2.6,2.8,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=2.4,2.6,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=2.2,2.4,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=2.0,2.2,5.6,15.8,4.6,4.8, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='wall'/ strop
&OBST XB=2.5,2.9,12.0,12.6,0.4,0.5, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=3.1,3.5,12.0,12.6,0.4,0.5, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=3.7,4.1,12.0,12.6,0.4,0.5, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=4.3,4.7,12.0,12.6,0.4,0.5, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=4.9,5.3,12.0,12.6,0.4,0.5, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=5.5,5.9,12.0,12.6,0.4,0.5, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=6.1,6.5,12.0,12.6,0.4,0.5, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=6.7,7.1,12.0,12.6,0.4,0.5, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=7.3,7.7,12.0,12.6,0.4,0.5, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=7.9,8.3,12.0,12.6,0.4,0.5, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=2.5,2.9,11.2,11.8,0.6,0.7, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=3.1,3.5,11.2,11.8,0.6,0.7, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=3.7,4.1,11.2,11.8,0.6,0.7, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=4.3,4.7,11.2,11.8,0.6,0.7, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=4.9,5.3,11.2,11.8,0.6,0.7, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=5.5,5.9,11.2,11.8,0.6,0.7, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=6.1,6.5,11.2,11.8,0.6,0.7, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=6.7,7.1,11.2,11.8,0.6,0.7, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=7.3,7.7,11.2,11.8,0.6,0.7, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=7.9,8.3,11.2,11.8,0.6,0.7, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=2.5,2.9,10.4,11.0,0.8,0.9, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=3.1,3.5,10.4,11.0,0.8,0.9, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=3.7,4.1,10.4,11.0,0.8,0.9, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=4.3,4.7,10.4,11.0,0.8,0.9, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=4.9,5.3,10.4,11.0,0.8,0.9, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=5.5,5.9,10.4,11.0,0.8,0.9, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=6.1,6.5,10.4,11.0,0.8,0.9, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=6.7,7.1,10.4,11.0,0.8,0.9, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=7.3,7.7,10.4,11.0,0.8,0.9, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=7.9,8.3,10.4,11.0,0.8,0.9, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=2.5,2.9,9.6,10.2,1.0,1.1, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=3.1,3.5,9.6,10.2,1.0,1.1, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=3.7,4.1,9.6,10.2,1.0,1.1, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=4.3,4.7,9.6,10.2,1.0,1.1, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=4.9,5.3,9.6,10.2,1.0,1.1, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=5.5,5.9,9.6,10.2,1.0,1.1, SURF_ID='kreslo'/ sedak
&OBST XB=6.1,6.5,9.6,10.2,1.0,1.1, SURF_ID='kreslo'/ sedak

```


[illegible]

[illegible]

[illegible]


```

&OBST XB=7.9,8.3,7.2,7.3,1.7,2.1, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=2.5,2.9,6.4,6.5,1.9,2.3, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=1.9,2.3,6.4,6.5,1.9,2.3, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=1.3,1.7,6.4,6.5,1.9,2.3, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=8.5,8.9,6.4,6.5,1.9,2.3, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=9.1,9.5,6.4,6.5,1.9,2.3, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=3.1,3.5,6.4,6.5,1.9,2.3, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=3.7,4.1,6.4,6.5,1.9,2.3, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=4.3,4.7,6.4,6.5,1.9,2.3, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=4.9,5.3,6.4,6.5,1.9,2.3, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=5.5,5.9,6.4,6.5,1.9,2.3, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=6.1,6.5,6.4,6.5,1.9,2.3, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=6.7,7.1,6.4,6.5,1.9,2.3, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=7.3,7.7,6.4,6.5,1.9,2.3, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=7.9,8.3,6.4,6.5,1.9,2.3, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=2.5,2.9,5.6,5.7,2.1,2.5, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=1.9,2.3,5.6,5.7,2.1,2.5, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=1.3,1.7,5.6,5.7,2.1,2.5, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=8.5,8.9,5.6,5.7,2.1,2.5, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=9.1,9.5,5.6,5.7,2.1,2.5, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=3.1,3.5,5.6,5.7,2.1,2.5, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=3.7,4.1,5.6,5.7,2.1,2.5, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=4.3,4.7,5.6,5.7,2.1,2.5, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=4.9,5.3,5.6,5.7,2.1,2.5, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=5.5,5.9,5.6,5.7,2.1,2.5, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=6.1,6.5,5.6,5.7,2.1,2.5, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=6.7,7.1,5.6,5.7,2.1,2.5, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=7.3,7.7,5.6,5.7,2.1,2.5, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=7.9,8.3,5.6,5.7,2.1,2.5, SURF_ID='kreslo'/ zadna opierka
&OBST XB=0.2,10.6,12.0,12.8,0.0,0.2, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.2,10.6,11.2,12.0,0.0,0.4, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.2,10.6,10.4,11.2,0.0,0.6, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.2,10.6,9.6,10.4,0.0,0.8, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.2,10.6,8.8,9.6,0.0,1.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.2,10.6,8.0,8.8,0.0,1.2, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.2,10.6,7.2,8.0,0.0,1.4, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.2,10.6,6.4,7.2,0.0,1.6, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.2,10.6,5.6,6.4,0.0,1.8, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.2,10.6,14.3,15.8,0.0,0.8, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.2,1.2,14.3,14.4,0.0,0.1, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='INERT'/
Obstruction
&OBST XB=9.6,10.6,14.3,14.4,0.0,0.1, PERMIT_HOLE=.FALSE.,
SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=0.0,12.6,0.0,0.2,0.0,4.8, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='wall'/
Bottom Wall (Min X)
&OBST XB=0.2,10.8,3.2,3.4,0.0,4.8, RGB=204,204,204,
TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='wall'/ Bottom Wall (Min X)
&OBST XB=12.4,12.6,0.0,16.0,0.0,4.8, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='wall'/
Right Wall (Max Y)
&OBST XB=10.6,10.8,3.2,15.8,0.0,4.8, RGB=204,204,204,
TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='wall'/ Right Wall (Max Y)
&OBST XB=0.0,12.6,15.8,16.0,0.0,4.8, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='wall'/
Top Wall (Max X)
&OBST XB=0.0,0.2,0.0,16.0,0.0,4.8, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='wall'/
Left Wall (Min Y)
&OBST XB=0.2,10.6,5.4,5.6,0.0,4.8, RGB=204,204,204,
TRANSPARENCY=0.501961, SURF_ID='wall'/ Wall
&OBST XB=0.2,1.2,14.4,14.5,0.0,0.2, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='INERT'/
Obstruction[1]
&OBST XB=9.6,10.6,14.4,14.5,0.0,0.2, PERMIT_HOLE=.FALSE.,
SURF_ID='INERT'/ Obstruction[1]

```

```

&OBST XB=0.2,1.2,14.5,14.6,0.0,0.3, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='INERT'/
Obstruction[2]
&OBST XB=9.6,10.6,14.5,14.6,0.0,0.3, PERMIT_HOLE=.FALSE.,
SURF_ID='INERT'/ Obstruction[2]
&OBST XB=0.2,1.2,14.6,14.7,0.0,0.4, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='INERT'/
Obstruction[3]
&OBST XB=9.6,10.6,14.6,14.7,0.0,0.4, PERMIT_HOLE=.FALSE.,
SURF_ID='INERT'/ Obstruction[3]
&OBST XB=0.2,1.2,14.7,14.8,0.0,0.5, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='INERT'/
Obstruction[4]
&OBST XB=9.6,10.6,14.7,14.8,0.0,0.5, PERMIT_HOLE=.FALSE.,
SURF_ID='INERT'/ Obstruction[4]
&OBST XB=0.2,1.2,14.8,14.9,0.0,0.6, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='INERT'/
Obstruction[5]
&OBST XB=9.6,10.6,14.8,14.9,0.0,0.6, PERMIT_HOLE=.FALSE.,
SURF_ID='INERT'/ Obstruction[5]
&OBST XB=0.2,1.2,14.9,15.0,0.0,0.7, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='INERT'/
Obstruction[6]
&OBST XB=9.6,10.6,14.9,15.0,0.0,0.7, PERMIT_HOLE=.FALSE.,
SURF_ID='INERT'/ Obstruction[6]
&OBST XB=0.2,1.2,15.0,15.1,0.0,0.8, PERMIT_HOLE=.FALSE., SURF_ID='INERT'/
Obstruction[7]
&OBST XB=9.6,10.6,15.0,15.1,0.0,0.8, PERMIT_HOLE=.FALSE.,
SURF_ID='INERT'/ Obstruction[7]

```

```

&HOLE XB=0.0,0.21,0.2,3.2,0.0,4.8/ Hall left side
&HOLE XB=12.39,12.6,0.2,3.2,0.0,4.8/ Hall right side
&HOLE XB=0.2,1.2,14.3,15.1,0.0,1.0/ Hole
&HOLE XB=9.6,10.6,14.3,15.1,0.0,1.0/ Hole

```

```

&VENT SURF_ID='INERT', XB=10.6,10.6,13.1,14.1,0.0,2.0/ Vent
&VENT SURF_ID='burner', XB=5.1,5.3,9.0,9.2,1.001,1.001/ Burner
&VENT SURF_ID='INERT', XB=0.6,1.4,3.2,3.2,0.0,2.0/ Door Projection Room
&VENT SURF_ID='INERT', XB=5.0,5.4,5.6,5.6,3.8,4.2/ Projector
&VENT SURF_ID='INERT', XB=5.0,5.4,5.4,5.4,3.8,4.2/ Projector
&VENT SURF_ID='picture', XB=0.2,10.6,15.8,15.8,0.8,4.8,
COLOR='INVISIBLE'/ screen
&VENT SURF_ID='INERT', XB=0.2,0.2,13.3,14.1,0.0,2.0/ Emergency Exit

```

Vystupne veliciny: rezy a cidla

```

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=5.2/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=9.1/

```

```

&DEVC ID='T1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,9.2,4.5/
&DEVC ID='T2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=5.2,6.4,4.5/
&DEVC ID='T3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=3.9,9.5,2.68/
&DEVC ID='T4', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=3.9,6.3,3.48/

```

Koniec vstupneho suboru

```

&TAIL /

```


Druhý vstupný FDS súbor:

Vstupny FDS subor pre simuláciu požiariu v kine – 2. scenar

cinema_model_2_scenar.fds

Generated by PyroSim - Version 2011.1.1114

Hlavicka, mriezka, dlzka simulacie

```
&HEAD CHID='cinema_model_2_scenar' /
```

```
&MESH ID='MESH', IJK=126,160,48, XB=0.0,12.6,0.0,16.0,0.0,4.8/
```

```
&TIME T_END=60.0/
```

```
...
```

```
&VENT SURF_ID='INERT', XB=10.6,10.6,13.1,14.1,0.0,2.0/ Vent
```

```
&VENT SURF_ID='burner', XB=8.7,8.9,9.0,9.2,1.001,1.001/ Burner
```

```
&VENT SURF_ID='INERT', XB=0.6,1.4,3.2,3.2,0.0,2.0/ Door Projection Room
```

```
&VENT SURF_ID='INERT', XB=5.0,5.4,5.6,5.6,3.8,4.2/ Projector
```

```
&VENT SURF_ID='INERT', XB=5.0,5.4,5.4,5.4,3.8,4.2/ Projector
```

```
&VENT SURF_ID='picture', XB=0.2,10.6,15.8,15.8,0.8,4.8,
```

```
COLOR='INVISIBLE' / screen
```

```
&VENT SURF_ID='INERT', XB=0.2,0.2,13.3,14.1,0.0,2.0/ Emergency Exit
```

```
...
```

```
&TAIL /
```

Príloha II - Program na vytvorenie vstupov pre zakrivený strop

V tejto časti uvidíme program na vytvorenie vstupov pre zakrivený strop vo formáte vhodnom pre FDS. Pre zadanie zakrivenie a rozmery stropu a hustotu výpočtovej mriežky program vytvorí súbor prekážok, ktoré reprezentujú zakrivený strop v kinosále a uloží ho v správnom formáte do textového súboru.

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <stdlib.h>
```

```
#include <math.h>
```

```
#include <string.h>
```

```
FILE *vystup=fopen("aprox.txt","w");
```

```
double nacitanie () {
```

```
    double a;
```

```
    printf("Zadaj polomer R: ");
```

```
    scanf("%lf",&a);
```

```
    return a;
```

```
}
```

```
main () {
```

```
    //deklaracie premennych
```

```
    double x,z,xs,zs,phi=360,R,y1,y2;
```

```
    char c[250],d[250];
```

```
    int poc=180;
```

```
    double pom;
```

```
    //nacitanie rozmerov a zakrivenia
```


Príloha III - 3D animácie vizualizácie požiaru v kine

Na CD nosiči pripájam 4. priestorové vizualizácie priebehu požiaru a dymu v 1. minúte požiaru v kine zodpovedajúce 1. a 2. požiarnemu scenáru pri pohľade spredu a z boku na komplex kina.