

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE

Stavebná fakulta

Evidenčné číslo: SvF-5342-9967

Počítačová simulácia šírenia dymu v hale

Bakalárska práca

Študijný program: matematicko-počítačové modelovanie

Číslo študijného odboru: 1114

Názov študijného odboru: 9.1.9 aplikovaná matematika

Školiace pracovisko: Katedra matematiky a deskriptívnej geometrie

Vedúci záverečnej práce: RNDr. Ján Glasa, CSc.

Bratislava 2014

Viera Štecková

Čestné prehlásenie

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

Bratislave 14. 05. 2014

.....

Vlastnoručný podpis

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu práce RNDr. Jánovi Glasovi, CSc. za odbornú pomoc, cenné rady a konzultácie, ktoré mi ochotne poskytoval pri tvorbe bakalárskej práce.

Abstrakt

Požiare každoročne spôsobujú straty na životoch, ujmy na zdraví a majetku, preto je dôležité ich skúmať, aby bolo možné predchádzať, prípadne obmedziť potenciálne budúce požiare. Počítačová simulácia je jednou z možností, ako minimalizovať dôsledky požiaru a prispieť k požiarnej bezpečnosti objektov. Táto práca sa zaoberá počítačovou simuláciou požiaru a šírenia dymu vo výrobnej hale. Pripravili a realizovali sme sadu simulácií v troch výrobných halách s rovnakou geometriou líšiacich sa výškou stropu s využitím paralelnej verzie simulačného systému FDS a zo získaných výsledkov sme analyzovali vplyv výšky stropu a protipožiarnych konštrukcií na priebeh a dynamiku šírenia dymu uvoľneného z požiaru.

Kľúčové slová: matematické modelovanie, počítačová simulácia, systém FDS, požiar vo výrobnej hale, šírenie dymu, paralelizácia výpočtu

Abstract

Fires annually cause losses of lives, bodily harm, and damage to property; therefore, it is important to research them to prevent or eventually limit potential fires. Computer simulation is one of the possibilities for minimizing the consequences of fires and increasing the safety of structures from damage caused by fire. Our work deals with the computer simulation of fire and smoke spread in an industrial hall. We prepared and realized a set of simulations of fire in three industrial halls with the same geometry but that varied in the heights of their ceilings using parallel version of the FDS simulation system. From the results obtained we analyzed the effect of height of the ceiling and the fire barriers on the fire course and smoke spread dynamics.

Key words: mathematical modelling, computer simulation, FDS system, fire in industrial hall, spread of fire, parallelization of computation

Obsah

Úvod	1
1 Matematické modelovanie a počítačová simulácia požiaru	1
1.1 Matematické modelovanie požiarov	3
1.2 Systém FDS	5
1.3 Aplikačné oblasti FDS	10
2 Ciele práce.....	11
3 Použité metodické postupy	11
4 Počítačová simulácia požiaru v hale	15
5 Záver	29
Literatúra	29
Príloha	32

Úvod

Požiare sú celospoločenský problém. Každoročne spôsobujú ujmy na zdraví a majetkoch, ohrozujú nielen obývané oblasti ale aj prírodné ekosystémy. Je dôležité rozumieť vzniku a šíreniu požiarov, aby sa im dalo predchádzať, prípadne obmedziť ich následky, a preto ich treba skúmať. Počítačová simulácia požiarov umožňuje testovať rôzne scenáre požiaru a modelovať priebeh a dôsledky požiaru pri rôznych podmienkach, odhaliť možné riziká a okolnosti, ktoré môžu viesť k škodám a predísť, prípadne obmedziť dôsledky potenciálnych budúcich požiarov.

Predmetom výskumu tejto práce je počítačová simulácia priebehu požiaru a šírenie dymu v hale. Oboznámime sa s najnovšími trendmi v oblasti matematických modelov v rámci programových systémov, opíšeme základné charakteristiky systému FDS (Fire Dynamics Simulator) a typy požiarov, na ktoré už bol FDS v minulosti úspešne použitý. Pripravíme a realizujeme sadu simulácií požiaru v hale a vyhodnotíme výsledky simulácie.

V prvej kapitole objasníme, prečo je dôležité modelovať požiare a aké typy požiarnych modelov existujú, stručne charakterizujeme programový systém FDS a jeho aplikačné oblasti. V druhej kapitole sformulujeme ciele práce. Metodiku práce a tvorbu vstupného súboru pre systém FDS ozrejníme v tretej kapitole. Štvrtá kapitola tvorí experimentálnu časť bakalárskej práce, kde pomocou systému FDS namodelujeme požiar a šírenie dymu v troch halách s rovnakou geometriou líšiacich sa výškou stropu a zanalyzujeme výsledky výskumu. V piatej kapitole stručne uvedieme závery práce. Súčasťou práce je zoznam použitej literatúry a v prílohe sú zaradené vstupné súbory pre počítačovú simuláciu požiaru v troch výrobných halách.

1 Matematické modelovanie a počítačová simulácia požiaru

Požiare sú komplexný a celospoločenský problém. Vyskytujú sa vo všetkých klimatických pásmach a krajinách. Môžu byť spôsobené prírodnými javmi, ako sú blesky či dlhotrvajúce suchá, prípadne zavinené činnosťou človeka úmyselne alebo aj neúmyselne. Horľavého paliva je dostatok, preto je nepravdepodobné, že by sa podarilo úplne zabrániť vzniku požiarov. Či už sa jedná o požiare v prírodnom prostredí (požiare lesov, lúk, pasienkov, záhrad) alebo v intraviláne, ako sú chatové oblasti, rodinné zástavby, bytové a priemyselné komplexy, požiare ohrozujú život a zdravie obyvateľov. Vážne narúšajú prírodné systémy priamym úhynom živočíchov a deštrukciou flóry ako aj uvoľnením

toxických látok počas požiaru a ich následným šírením. Spôsobujú škody na majetku a hasičské zásahy pri požiaroch každoročne predstavujú vysoké náklady v štátnych rozpočtoch. Zapríčiňujú sekundárne škody, ktoré môžu byť závažnejšie ako priame dôsledky požiaru, napríklad obmedzenie infraštruktúry uzavretím oblastí poškodených požiarom. Počas požiaru vzniká a šíri sa dym, ktorý má tiež negatívny dopad na okolie. Toxické látky obsiahnuté v dyme môžu v uzavretých priestoroch spôsobiť otravu ľudí nachádzajúcich sa v dymom zamorených objektoch. Prítomnosť dymu znižuje viditeľnosť a tým aj schopnosť orientovať sa v priestore, čo môže sťažiť, prípadne znemožniť hľadanie únikových východov a vo výsledku spôsobiť paniku unikajúcich ľudí. Dym obsahuje sadze, schopné poškodiť niektoré na čistotu ovzdušia citlivé zariadenia, ktoré musia byť následne vymenené (napríklad prístroje v jadrových elektrárňach). To môže zapríčiniť v lepšom prípade odstávky, v horšom prípade havárie požiarom a dymom ohrozených objektov, ako sú elektrárne, tunely, výrobné haly a iné. Požiar je komplexný jav zahŕňajúci mnohé fyzikálne a chemické procesy, ako je spaľovanie, šírenie žiarenia, vyžarovanie tepla, dynamika tekutín, turbulentné prúdenie plynov. Pri jeho vzniku a šírení hrajú úlohu rôzne parametre, ktoré ho môžu obmedziť alebo prispieť k jeho zintenzívneniu. Z toho dôvodu je potrebné skúmať priebeh požiaru a jeho dôsledky a hľadať prostriedky zvyšujúce bezpečnosť objektov ohrozených požiarom.

Jedným zo zdrojov poznatkov o správaní požiaru je pozorovanie minulých požiarov. Na základe skúseností a štúdiá dokumentácií o minulých požiaroch tak môžeme predpovedať, za akých okolností požiar vznikne v podobnom prostredí a pri podobných podmienkach, ako sa bude šíriť, ako ho možno čo najrýchlejšie lokalizovať (zabrániť postupu šírenia) a následne zdolať (uhasiť). Nanešťastie, šírenie požiaru ovplyvňuje množstvo rozličných okolností a parametrov, ako sú napríklad okolité (klimatické) podmienky (teplota, prúdenie vzduchu, ventilácia, vlhkosť vzduchu, tlak), prostredie (interiér, exteriér, prekážky, otvory), typ paliva a jeho množstvo. Preto sa v približne rovnakom prostredí požiar môže správať rozdielne, a tak na základe poznatkov z minulých požiarov je možné určiť vznik a šírenie potenciálne hroziacich požiarov len v obmedzenej miere a to pre objekty a podmienky podobného typu.

Iným spôsobom získavania informácií sú požiarne testy. Spočívajú v kontrolovanom zapálení a analýze šírenia požiaru. Testy môžu byť vykonané v laboratóriách. Tu sa skúmajú hlavne požiarne vlastnosti jednotlivých druhov materiálov a šírenie línie požiaru v rôznych podmienkach. Taktiež sa zisťujú aj vplyvy rôznych parametrov na rýchlosť šírenia požiaru a merajú sa vybrané parametre požiaru. Veľkorozmerné testy sa môžu týkať šírenia požiaru na vonkajších experimentálnych plochách alebo v objektoch. Tieto testy sú riadené, to znamená, že sú vykonávané podľa podrobne vypracovaných a príslušnými orgánmi

schválených metodík a je pri nich nevyhnutná prítomnosť bezpečnostných a záchranných zložiek, ako sú hasiči, polícia, zdravotníci. Experimenty sa tak stávajú nákladnými záležitosťami. V ich neprospech hovorí aj ich deštruktívnosť a malá flexibilita. Šírenie požiaru sa dá testovať v tom istom objekte iba pre niekoľko vybraných scenárov. Poškodený objekt by bolo nutné opraviť, prípadne nahradiť identickou kópiou. Navyše časť prístrojového vybavenia (na meranie parametrov požiaru) sa pri požiarom teste zvyčajne zničí. Napriek týmto nevýhodám patria veľkorozmerné požiarne testy a laboratórne experimenty k podstatným zdrojom poznatkov o požiaroch a ich šírení a predstavujú základ, na ktorom mohli vznikať nové, moderné prostriedky na boj s požiarom a na získanie poznatkov o požiaroch.

K takýmto prostriedkom patrí počítačová simulácia požiaru. Modely požiarov, ktoré sú implementované v programových systémoch, vznikli na základe pozorovaní získaných z minulých požiarov a z požiarnych testov. Počítačové simulovanie požiaru založené na empirických a vedeckých poznatkoch je porovnateľné s reálnym požiarom experimentom. Nezanedbateľnou výhodou oproti požiarom testom je nedeštruktívnosť a flexibilita požiarom simulácií. Požiar sa dá namodelovať v identickom priestore v rôznych podmienkach (napríklad s rôznymi inicializačnými zdrojmi požiaru) bez väčších nákladov. Pod tými si môžeme predstaviť v prípade počítačovej simulácie výpočtový čas počítačov. Obmedzenie takejto simulácie potom spočíva vo výpočtovej kapacite počítača a ohraničeníach implementovaného modelu. V súčasnej dobe, kedy sa dajú simulácie riešiť paralelne pomocou výkonných osobných počítačov, klastrov počítačov, gridov alebo superpočítačov, ktorých výpočtové parametre sa neustále zlepšujú, sa dá pomerne presne predpovedať šírenie požiaru prostredníctvom počítačových simulácií. Počítačová simulácia priebehu požiaru a modelovanie jeho dôsledkov sa tak v posledných rokoch stali dôležitou súčasťou zlepšenia požiarnej bezpečnosti.

1.1 Matematické modelovanie požiarov

Modely požiaru môžeme rozdeliť do dvoch veľkých skupín. Sú to empirické modely a fyzikálne modely [8,9].

Empirické modely vychádzajú zo skúseností (empírie) získanej z pozorovaní predchádzajúcich požiarov a požiarom testov, na základe ktorých dospeje výskum k odvodeniu fyzikálnych korelácií a zákonitostí popisujúcich správanie požiaru za daných podmienok. Modely riešia postup požiaru v 2D súradniciach. Využívajú sa predovšetkým na

modelovanie požiarov na rozľahlých plochách, ako sú lesy, lúky, pasienky. Základom je určenie rýchlosti postupu línie požiaru vzhľadom na prostredie, v ktorom sa modelovaný požiar nachádza a šíri. Dôležitý je typ paliva, meteorologické podmienky a topografia terénu (nadmorská výška, sklon svahu a podobne). *Metóda celulárnych automatov* rozdelí plochu na pravidelnú štruktúru buniek (spravidla štvorce 10 x 10 metrov) a rieši postup požiaru z horiacej bunky do susedných buniek v diskretnom čase pre daný typ paliva, meteorologické podmienky a topológiu terénu. Postup línie požiaru sa pritom počíta podľa známych fyzikálnych princípov. *Vektorová metóda* využíva eliptický vlnový princíp šírenia požiaru (Huygensov princíp). Plocha, na ktorej sa modeluje požiar, je braná ako spojité prostredie. Pre vybrané body na línii požiaru sa aplikuje Rothermelov vzťah [26], podľa ktorého je rýchlosť postupu požiaru definovaná na základe reakčnej intenzity (tepelnej produkcie na jednotkovú plochu). Každý bod na línii požiaru je zdrojom požiaru, ktorý sa v najbližšom okolí rozšíri na eliptickú plochu. Vychádza sa z experimentálne overenej hypotézy, že na rovinnej ploche za bezvetria sa požiar šíri v kruhovej línii a za vetra sa šíri v eliptickej línii. Pre empirické modely je charakteristické: sú určené pre požiare na rozsiahlych plochách (desiatky hektárov); realizujú dvojrozmernú simuláciu; využívajú delenie priestoru na relatívne veľké bunky, v ktorých sa predpokladajú priemerné hodnoty parametrov; zahŕňajú veľmi obmedzený rozsah fyziky a chémie horenia a uskutočňujú rýchly výpočet (obvykle stačí sériový počítač).

Fyzikálne modely sa využívajú na modelovanie požiarov v 3D priestoroch menšieho rozsahu. Ich rozvoj bol podmienený formulovaním fyzikálnych a chemických procesov počas požiarov. Tieto modely sú založené na zákonoch zachovania hmotnosti, hybnosti, energie a zložky (stavová rovnica), modeloch spaľovania paliva a tepelného žiarenia. Pomerne presne sa tak dajú určiť javy prebiehajúce v ľubovoľnom bode 3D priestoru, pričom jednotlivé body sa vzájomne ovplyvňujú. Fyzikálne modely spočívajú na numerickom riešení diferenciálnych rovníc riešených pre reálne hodnoty alebo pre diskretizované časové alebo priestorové veličiny. *Zónové modely* začali vznikať v 70. rokoch. Vzhľadom na malé výpočtové kapacity súvekých počítačov sa spravidla simuloval požiar v jednej miestnosti. Dvoj-zónový model spočíva v rozdelení miestnosti na dva homogénne kontrolné objemy. Horný, horúci kontrolný objem je vyplnený produktmi horenia, kužeľom požiaru a teplým vzduchom v hornej vrstve miestnosti. Dolný, studený kontrolný objem je tvorený zariadením miestnosti a chladnejším vzduchom v dolnej časti miestnosti, prípadne prisávaným vzduchom. V zónových modeloch sa neuvažuje prúdenie vo vnútri kontrolného objemu. Riešia sa diferenciálne rovnice zachovania hmotnosti a energie, Bernoulliho rovnica riešiaci výmenu plynov s okolitým prostredím a rovnica prenosu tepla. Zónové modely sú značne zjednodušené, zanedbávajú

tepelnú kapacitu predmetov v miestnosti, trenie tekutín, dobu potrebnú k prenosu splodín požiaru k stropu miestnosti a podobne. *Modely typu pole (field models)* sú v praxi často označované aj ako CFD (Computational Fluid Dynamics) modely. Metóda spočíva vo vytvorení trojrozmernej výpočtovej siete, pričom vlastnosti v rámci jednej bunky sú konštantné. CFD modely šírenia požiaru sú založené na dynamike plynov a na skúsenostiach získaných z používania CFD počítačových programov vychádzajúc zo zákonov zachovania hmotnosti, hybnosti a energie. Základom výpočtu sú parciálne diferenciálne rovnice, Navier-Stokesove rovnice obsahujúce druhé derivácie podľa priestoru a prvé derivácie podľa času. Tieto rovnice riešia prúdenie tekutín, dynamiku plynov indukovaných teplom uvoľňovaným z požiaru, pričom uvažujú trecie vnútorné sily. CFD modely spravidla obsahujú čiastkové modely, ktoré riešia procesy súvisiace s požiarom, ako sú spaľovanie, prenos tepla, turbulencia plynov a podobne. Niektoré z CFD modelov sú založené na RANS (Reynolds-averaged Navier–Stokes) rovniciach, ktoré predstavujú časovo aproximované pohybové rovnice pre prúdenie tekutín, pôvodne navrhnuté na popis turbulentného prúdenia. Tvar rovníc v CFD modeloch je upravený oproti pôvodným rovniciam, ktoré popisujú aj javy nevyskytujúce sa počas požiaru [25].

Opísané modely správania požiaru sú implementované v programových systémoch, pričom niektoré z nich sa bližšie špecializujú na konkrétny typ požiaru (napríklad empirické modely sú určené predovšetkým na simuláciu požiarov v prírodnom prostredí), iné sú univerzálnejšie. Empirický vektorový model využívajúci Huygensov princíp aplikovaný na simuláciu lesných požiarov je implementovaný v programovom systéme FARSITE [3]. Systém CFAST (Consolidated Model of Fire and Smoke Transport) [22] má vstavaný fyzikálny dvojzónový model požiaru. Medzi CFD systémy patria systémy SMARTFIRE [27], ANSYS CFX [1], WFDS [20] a FDS [18, 19]. V nasledujúcej časti tejto práce uvedieme základné charakteristiky systému FDS (Fire Dynamics Simulator) určeného na modelovanie požiarov v uzavretých alebo polouzavretých priestoroch, ako sú obytné priestory, haly, tunely a garáže. Systém WFDS (Wildland Fire Dynamics Simulator) je variantom systému FDS, ktorý umožňuje simulovať požiare budov v prírodnom prostredí a v intraviláne a je schopný oproti empirickým modelom simulovať horenie jedného stromu alebo skupiny stromov.

1.2 Systém FDS

Systém FDS (Fire Dynamics Simulator) [17, 18, 19] je voľne šíriteľný programový systém na počítačovú simuláciu požiaru, v ktorom je implementovaný CFD model požiaru schopný využívať výpočtovú kapacitu súčasných počítačov. Bol vytvorený v NIST (National

Institute of Standards and Technology, USA) v spolupráci s VTT (Technical Research Centre of Finland, Fínsko) a testovaný mnohými svetovými univerzitami, laboratóriami a vedeckovýskumnými strediskami. FDS sa používa na riešenie inžinierskych požiarnych problémov a súčasne je nástrojom na skúmanie dynamiky požiaru a spaľovania. Pôvodne bol vytvorený v programovacom jazyku Fortran, ktorý obsahuje zabudované matematické knižnice na efektívne riešenie systémov rovníc. Pre uľahčenie práce je možné využívať grafické používateľské rozhrania ako sú PyroSim [28] alebo BlenderFDS [2].

FDS je komplikovaný programový systém, ktorý simuluje prúdenie plynov indukovaných požiarom, šírenie tepla vyžarovaním, spaľovanie, odhad koncentrácie látok uvoľnených požiarom. Môže simulovať požiare v rôznych objektoch, napríklad v budovách, garážach, tuneloch, technických zariadeniach (napr. v autách). Na riešenie dynamiky plynov nepotrebuje modelovať požiar, preto môže riešiť napríklad aj pohyb toxických plynov v priestoroch bez požiaru. Všetky vstupné údaje sa zadávajú pomocou jedného textového vstupného súboru, pričom najzložitejšie často býva definovanie geometrie modelovaného priestoru. Aby bola simulácia požiaru čo najpresnejšia, je potrebné zadefinovať geometriu a vlastnosti všetkých, pre požiar a jeho šírenie nevyhnutných telies a otvorov v danom priestore. Tie sa potom podľa svojich chemických a fyzikálnych vlastností môžu správať ako prekážka šírenia požiaru a prúdenia plynov, viesť alebo vyžarovať teplo alebo horieť. Taktiež môžu tlmiť intenzitu požiaru alebo byť voči nemu inertné (nie sú ním ovplyvňované a nemajú na požiar žiaden vplyv). Vo vstupnom súbore je tiež potrebné zadať inicializačný zdroj požiaru, materiálové vlastnosti a okrajové a počiatočné podmienky a určiť výstupné veličiny a parametre a ich formu. Vďaka tomu môžu jednotlivé moduly FDS modelovať procesy súvisiace s požiarom a simulovať požiar.

Hydrodynamický model numericky rieši formu Navier-Stokesových rovníc upravených pre nízko-rýchlostný, tepelne riadený tok s dôrazom na dym a prenos tepla z požiaru. Jadro algoritmu je schéma typu prediktor-korektor, ktorá má druhý rád presnosti v priestore a čase. Prúdenie plynov počas požiaru pri nízkych rýchlostiach ostáva laminárne a prekážku len obteká. Od určitej rýchlosti vznikajú víry, tzv. turbulentné prúdenia. Turbulencia je modelovaná prostredníctvom Smagorinského formy metódy LES (Large Eddy Simulation) [23], ktorá je v FDS prednastavená. Táto metóda je založená na modelovaní veľkých vírov, pričom účinky malých turbulencií sa reprezentujú iným spôsobom. Ak je základná numerická mriežka dostatočne jemná, je možné modelovať turbulencie pomocou metódy DNS (Direct Numerical Simulation) [21]. DNS kladie vysoké nároky na výpočtovú kapacitu počítača, pretože je potrebné, aby výpočtová sieť pokryla aj najmenšie víry. Pri

zjemňovanie mriežky metóda LES konverguje k DNS metóde. Charakteristickou črtou implementovaného hydrodynamického modelu je úprava rovníc pre Machovo číslo menšie ako 0.3, čo vyjadruje nízkorýchlostné prúdenia (v tomto prípade menej ako 100 m/s). Prácnosť výpočtu sa tým zníži, pretože sa zabráni extrémne malému časovému kroku pri riešení rovníc. Pre toto zjednodušenie FDS nesimuluje prúdenia s rýchlosťou blízkou rýchlosti zvuku, ako sú výbuchy, detonácie a iné.

Základom, z ktorého bol odvodený matematický model požiaru implementovaný v systéme FDS, sú tri parciálne diferenciálne rovnice známe z teórie CFD, rovnice zodpovedajúce zákonom zachovania (hmotnosti, hybnosti a energie) a stavová rovnica [19]:

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

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

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

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

kde ρ je hustota, $\mathbf{u} = (u, v, w)$ je trojzložkový vektor rýchlosti, p je tlak, $\mathbf{f}_b$ je vonkajší vektor sily, $\boldsymbol{\tau}_{ij}$ 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, $\mathbf{q}''$ 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 máme štyri rovnice (1) - (4), z toho jedna vektorová, 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. [29] Uvedené rovnice boli ďalej upravené, aby zodpovedali prúdeniam pri požiaroch, diskretizované a implementované do systému FDS, kde sú riešené na ortogonálnej mriežke.

Spaľovanie sa skladá z dvoch fáz, pyrolýzy a horenia - oxidácie. Pyrolýza je rozklad materiálu vyvolaný teplom na horľavé a nehorľavé zložky, oxidácia je exotermická reakcia uvoľnených horľavých plynov s kyslíkom, pričom sa uvoľňuje veľké množstvo tepla a svetlo vo forme plameňa. Vo vstupnom súbore je nutné definovať inicializačný zdroj požiaru zadáním intenzity požiaru ($HRR = \text{heat release rate}$) na definovanej ploche alebo špecifikovaním termofyzikálnych vlastností paliva, ktoré podstúpi pyrolýzu. Model horenia v druhom prípade predpokladá, že pri dostatočnej koncentrácii horľavé plyny a kyslík reagujú, keď sú v kontakte, teda netreba definovať inicializačný zdroj požiaru. FDS vie pracovať s rôznymi typmi horľavých látok. Plynná fáza spaľovania je implementovaná tromi spôsobmi [19]. Pre väčšinu aplikácií FDS využíva model spaľovania založený na koncepte hmotnostného zlomku zmesí. Je to konštantná skalárna veličina, ktorá je definovaná ako podiel plynov pochádzajúcich z pyrolýzy paliva v danom bode poľa prúdenia. Hmotnostné zlomky väčšiny reaktantov a produktov môžu byť odvodené z hmotnostného zlomku zmesí prostredníctvom laboratórnych analýz a meraní. Reakcia paliva a kyslíku nie je pri požiaroch nevyhnutne okamžitá a kompletná, preto FDS ponúka použiť viaceré voliteľné schémy navrhnuté na predpokladané predĺženie horenia v priestoroch bez dostatku kyslíku. V FDS je predvolene nastavený dvojparametrový zlomkový model, ktorý predstavuje zjednodušenú formu chemických rovníc. Prvý parameter je hmotnostný zlomok nezhoreného paliva, druhý parameter je hmotnostný zlomok zhoreného paliva. Predpoklad, že rýchlosť reakcie medzi palivom a kyslíkom je nekonečne malá bez ohľadu na teplotu, pri ktorej prebieha, je vhodný najmä pre veľkorozmerné požiare s dostatočným prístupom kyslíku. Druhý typ modelu je trojparametrový model, ktorý simuluje dvojkrokovú chemickú reakciu. Prvá časť reakcie je oxidácia paliva, pri ktorej vzniká oxid uhoľnatý, druhá časť je oxidácia oxidu uhoľnatého na oxid uhličitý. Parametrami sú nezhorené palivo, hmotnosť zhoreného paliva v prvej časti reakcie a hmotnosť zhoreného paliva v druhej časti reakcie. Tretí typ je finite-rate metóda, kedy sú všetky zložky horľavých plynov uvoľnených počas požiaru definované a sledované jednotlivo. Táto metóda je oveľa náročnejšia ako metóda hmotnostných zlomkov. Typ modelu sa určí podľa zadáných parametrov a materiálov, ktoré sú v simulácii spaľované a v závislosti od toho, či je použitá LES alebo DNS metóda pre riešenie turbulencií.

Radiačný prenos tepla je zahrnutý v modeli cez riešenie rovníc prenosu tepla vyžarovaním (RTE – Radiation Transport Equation) [19] pre šedý plyn, v niektorých prípadoch sa používa širokopásmový model na získanie lepšej spektrálnej presnosti. Rovnica radiácie je riešená použitím metódy konečných objemov pre konvektívne šírenie tepla, pričom

vyžaduje približne 20% z celého výpočtového času. Absorpčné koeficienty plyných sadzí sú počítané použitím RadCal narrow-band modelu [7].

Efektivita výpočtu simulácie pomocou systému FDS je spôsobená použitím jednoduchej ortogonálnej numerickej mriežky, ktorej musí zodpovedať reprezentácia priestoru, v ktorom prebieha modelovaný požiar a telies, ktoré sa v ňom nachádzajú. To môže predstavovať určité obmedzenie v situáciách, kedy geometria telies nezodpovedá výpočtovej mriežke. Systém automaticky upraví rozmery telies tak, aby súhlasili s výpočtovou mriežkou. FDS nie je systém na báze CAD (Computer Aided Design) schopný zobrazovať najmenšie detaily geometrie, ale predovšetkým CFD model, ktorého úlohou je numericky riešiť parciálne diferenciálne rovnice. Pri vytváraní geometrie je preto potrebné reprezentovať telesá, ktoré ovplyvňujú šírenie požiaru, pôsobia ako prekážka jeho šírenia, alebo prispievajú k intenzite požiaru, horia, zohrievajú sa, alebo vedú teplo. Pritom nemusia byť reprezentované všetky geometrické detaily; maximálne rozlíšenie predstavuje veľkosť bunky výpočtovej mriežky. Súčasne je pre model spaľovania potrebné zadať skutočné množstvo materiálu a to určením hrúbky materiálu. Na reprezentáciu šikmých povrchov telies v pravouhlej mriežke existuje technika „vyhladenia“ povrchu, pri ktorej systém uskutočňuje výpočty ako s nevyhladeným povrchom, ale programátorsky je ošetrované odstránenie turbulencií, ktoré vznikajú v blízkosti šikmých povrchov reprezentovaných v pravouhlej mriežke. Šikmý povrch sa v tomto prípade vizualizuje ako hladký povrch. Medzi nevyhnuté vstupné parametre pre povrchy telies, ktoré je potrebné určiť, patria materiálové vlastnosti.

V FDS je možné do simulácie zahrnúť aj zariadenia na meranie parametrov požiaru, ako je napríklad vyžiarené teplo, teplota stien, telies alebo plynov v bodoch priestoru alebo v rezoch, koncentrácia plynov (napr. CO , CO_2 , O_2), viditeľnosť a pod. Aktivácia hasiacich rozprašovacích systémov a tepelných alebo dymových detektorov je modelovaná pomocou jednoduchých vzťahov pre tepelnú zotrvačnosť rozprašovačov a tepelných detektorov a oneskorenia prenosu dymových detektorov. Sprinklery (hasiace zariadenia na báze rozprašovania hasiva) sú modelované pomocou Lagrangeových častíc, ktoré predstavujú reprezentáciu vodných kvapiek emitovaných z rozprašovačov.

Vo vstupnom súbore je potrebné určiť tiež výstupné parametre, pretože po dokončení výpočtu a simulácie požiaru nie je možné spätne získať informácie, ak neboli na začiatku špecifikované. Systém FDS teda ukladá len informácie o užívateľom definovaných parametroch požiaru. Medzi *výstupné parametre plynnej fázy* patria: teplota, rýchlosť toku, koncentrácia plynov (CO , O_2 , N_2 , vodná para), hustota dymu, viditeľnosť, tlak, index

vyžiareného tepla na jednotku objemu, hmotnostné zlomky, hmotnosť vodných kvapiek na jednotku objemu. Vplyv požiaru na konštrukcie stavieb určujú výstupné parametre, ako sú teplota plôch a telies, merný tepelný tok (celkový, radiačný a konvektívny) a rýchlosť horenia. Tiež sa dá sledovať celkové uvoľnené teplo, časová aktivácia sprinklerov a detektorov či hmotnostný a energetický únik požiaru z reprezentovanej oblasti cez otvory. Väčšina výstupných parametrov je zobrazovaná vizualizačným programom Smokeview [4], ktorý reprezentuje animáciu prúdenia dymu, animáciu rezov výstupných plynných parametrov a animované plošné a priestorové dáta. Tiež zobrazuje kontúry a vektory štatistických dát kdekoľvek v hraniciach výpočtovej oblasti v danom čase a umožňuje spriehľadniť niektoré steny, aby bolo možné sledovať fyzikálne javy a priebeh požiaru. FDS a Smokeview sú používané spoločne na modelovanie a vizualizovanie požiaru.

Evakuáciu osôb počas požiaru a pôsobenie požiaru na priebeh evakuácie je možné v FDS modelovať pomocou modulu Evac [14], ktorý je schopný simulovať účinok požiaru na správanie evakuovaných ľudí, na ich pohyb a rozhodovanie počas evakuácie [24].

Pri aplikácii systému FDS na simuláciu určitého typu požiaru je treba pri návrhu vstupných parametrov, realizácii výpočtu a interpretácii výsledkov simulácie brať do úvahy niektoré špecifiká a ohraničenia systému. Keďže model bol pôvodne navrhnutý na analýzu priemyselných požiarov, môže byť spoľahlivo použitý pre požiare so známym tepelným výkonom, pričom hlavným zámerom simulácie je pozorovanie šírenia tepla a produktov spaľovania. V týchto prípadoch, presnosť výsledkov modelovania rýchlostných a teplotných tokov závisí od hustoty výpočtovej mriežky. Systém FDS nevnáša do výpočtu rýchlosti a teploty väčšiu chybu, než je chyba meraní počas experimentálnych testov [19]. V požiarnych scenároch, v ktorých intenzita požiaru nie je známa, je možné predpokladať väčšiu nepresnosť výpočtov, nakoľko vlastnosti materiálov a paliva sú často neznáme a je ťažké ich získať, fyzikálne a chemické procesy počas požiaru sú komplikovanejšie ako matematické modely implementované v FDS a výsledok výpočtov je citlivý na numerické aj fyzikálne parametre. Napriek vývoju FDS, ktorý sa snaží o zmenšenie nepresnosti výpočtu, používanie tohto softvéru vyžaduje rozsiahle odborné znalosti používateľa.

1.3 Aplikačné oblasti FDS

Systém FDS bol už v minulosti použitý na výskum a simuláciu rôznych typov požiarov v rôznych typoch objektoch, ako sú:

- autá [30],

- tunely [16, 11],
- uzavreté miestnosti [13],
- domy a viacpodlažné domy [32],
- jadrové elektrárne [10],
- haly s vyššou koncentráciou návštevníkov, ako sú kiná [5], divadlá [31], supermarkety [15], letiskové haly [12] a pod.

Tieto simulácie potvrdili, že FDS je užitočný nástroj pre simuláciu požiaru a šírenia dymu a pre riešenie rôznych problémov v oblasti zlepšovania požiarnej bezpečnosti objektov. V tejto práci budeme simulovať požiar pomocou systému FDS vo výrobných halách.

2 Ciele práce

Hlavným cieľom bakalárskej práce je oboznámiť sa s pokročilým simulátorom dynamiky požiarov FDS, pripraviť a realizovať sadu simulácií a analyzovať, ako vplýva výška stropu haly na šírenie dymu uvoľneného z požiaru.

Aby bol tento cieľ splnený, je potrebné riešiť nasledovné čiastkové ciele:

1. Definovať požiarne scenáre pre 3 priemyselné haly s rôznou výškou stropu.
2. Pripraviť všetky potrebné vstupy a vytvoriť vstupné súbory.
3. Realizovať počítačovú simuláciu požiarnych scenárov použitím systému FDS.
4. Analyzovať a vyhodnotiť získané výsledky a opísať dynamiku prúdenia dymu spôsobeného požiarom.

Stanovené ciele boli v súlade s prebiehajúcim výskumom na ÚI SAV, na ktorom som sa takto mala možnosť podieľať.

3 Použité metodické postupy

Pri príprave, realizácii a vyhodnocovaní výsledkov simulácie sa používajú osvedčené metódy a metodické postupy.

Všetky vstupné a výstupné parametre simulácie musia byť definované v jedinom vstupnom textovom súbore, ktorý je zložený z príkazov s ustáleným tvarom [18]. Začiatok príkazu je definovaný znakom &, po ňom nasleduje názov príkazu, medzera, parametre príkazu (so svojimi hodnotami) oddelené čiarkou a na záver znak /, ktorý príkaz uzatvára. Znaky, ktoré sa nenachádzajú medzi hraničnými znakmi & a /, sú systémom FDS chápané ako komentár. Textový súbor je logicky rozdelený na niekoľko častí, ktorých príprave treba venovať náležitú pozornosť.

Prvá časť predstavuje všeobecné nastavenia, kam patrí začiatok súboru (príkaz HEAD) obsahujúci názov súboru a čas simulácie (TIME). Povinne sa zadáva čas konca simulácie, pričom je možné určiť aj počiatočný čas simulácie, predvolene nastavený na nulu. Prípadne je možné zadať niektoré globálne parametre (MISC), ktoré majú v FDS prednastavené hodnoty, ako je napríklad teplota vzduchu, vlhkosť či gravitačné zrýchlenie. Ďalej je povinné predpísať plynnú fázu spaľovania (REAC) určením stochiometricky dominantnej chemickej reakcie horenia. V tomto príkaze sa definuje horľavý materiál prostredníctvom pomeru atómov jednotlivých prvkov v molekule, je tiež možné nastaviť množstvo energie uvoľnené z jednotkovej hmotnosti paliva, prípadne iné špecifické parametre chemickej reakcie. Vyžarovanie a šírenie tepla (RADI) je simulované prostredníctvom predvolených premenných a nie je nutné ho explicitne zadávať.

V druhej časti je nevyhnutné definovanie výpočtovej mriežky (MESH), prípadne viacerých mriežok, ktoré rozdeľujú výpočtovú oblasť. Môžu sa predpísať aj počiatočné podmienky (INIT), ktoré na rozdiel od globálnych parametrov vystupujú len v určitej časti priestoru, napríklad ak je v jednej z miestností výrazne iná teplota vzduchu.

Tretím krokom je určenie požiarnych vlastností materiálov (MATL) a okrajových podmienok pre povrchy telies (SURF). K vlastnostiam materiálu, ktoré je možné zadať, patrí hustota, schopnosť vyžarovať teplo, merná tepelná vodivosť, merné teplo, tepelný výkon, absorpčný koeficient, teplota varu. Reprezentované teleso môže byť tvorené vrstvami, z ktorých každá má iné materiálové vlastnosti. V systéme FDS sa dajú reprezentovať zmesové a rôzne štruktúrované materiály, ako je železobetón, pórobetón alebo rôzne druhy sendvičových panelov. V okrajových podmienkach je nutné priradiť k povrchu materiál, z ktorého je zložený. Definujú sa tu špeciálne vlastnosti materiálu, ako je napríklad skutočná hrúbka či teplota vznietenia materiálu, navyše sa určujú žiadúce parametre pre vizualizáciu simulácie pomocou Smokeview. Inicializačný zdroj požiaru je možné reprezentovať prostredníctvom povrchu, na ktorom sa určí intenzita požiaru buď vydávaným teplom na jednotkovú plochu alebo cez rýchlosť straty hmotnosti na jednotkovú plochu. V okrajových podmienkach je možné definovať prestup tepla cez stenu, časovo závislé okrajové podmienky, rôzne typy ventilácie. Podľa požiarneho scenára sa zahrnú aj špeciálne plynné zložky (SPEC) prípadne vlastnosti Lagrangeových častíc (PART). Táto časť tvorby vstupného súboru môže byť komplikovaná, pretože je náročné získať presné vlastnosti použitých materiálov.

Štvrtým krokom, často najprácejším je definovanie geometrie reprezentovaného priestoru a v ňom nachádzajúcich sa prekážok a otvorov (OBST, VENT, HOLE). Každému

telesu je potrebné priradiť materiál a okrajové podmienky. Prekážky sa reprezentujú príkazom OBST, pričom musia zodpovedať výpočtovej mriežke. Každá prekážka je zobrazovaná ako pravouhlý kváder so stenami rovnobežnými so súradnicovými osami, pričom je zadaná dvomi protiľahlými vrcholmi. Prekážka môže mať definované rovnaké okrajové podmienky na všetkých stenách alebo rôzne na vrchnej, spodnej a bočných stenách, alebo na každej stene iné. Hrúbka materiálu definovaná v príkaze SURF, dôležitá pre modelovanie spaľovania a šírenia tepla v prekážke, sa môže líšiť od geometrie zadanej v príkaze OBST, potrebnej pre hydrodynamický model v FDS. Otvor typu HOLE je používaný na vytváranie otvorov v prekážkach. Objem, ktorý je odstránený z prekážky, je definovaný na rovnakom princípe ako objem prekážky. Aby bol otvor predstavujúci dvere alebo okno korektne reprezentovaný, je dobre urobiť ho hrubší, ako je hrúbka samotnej prekážky. Na rozdiel od toho, otvor typu VENT definuje rovinu priliehajúcu k prekážke, ku ktorej sú priradené okrajové podmienky alebo rovinu na hranici oblasti. Pri zadávaní geometrie budú súradnice protiľahlých vrcholov v smere jednej zo súradnicových osí rovnaké. Pre tento typ otvoru platí, že na jednej stene výpočtovej bunky môže byť špecifikovaný len jeden otvor.

Piatym krokom je definovanie logických zariadení, ktoré môžu počas simulácie vytvárať alebo odstraňovať prekážky, aktivovať alebo deaktivovať vetracie zariadenia, detektory alebo sprinklery (PROP, DEVC, CTRL).

V šiestom kroku je nevyhnutné určiť spôsob merania výstupných parametrov a formu výstupu (DEVC, SLCF, BNDF, ISOF). FDS umožňuje zaznamenávať a vizualizovať výstupné hodnoty zvolených veličín v definovaných bodoch priestoru, v rezoch, objemoch alebo izoplochy. Výsledky je možné zobrazovať vo forme tabuliek, grafov alebo obrázkov, z ktorých sa dá zostaviť video. FDS využíva program Smokeview, ktorý je schopný realisticky priestorovo zobraziť šírenie dymu a požiaru. Je tiež možné zaznamenať optickú viditeľnosť, a tým ovplyvniť stratégiu záchrany unikajúcich osôb pri použití modulu Evac. Systém FDS počíta veličiny v každom priestorovom a diskretizovanom časovom kroku, čo predstavuje obrovské množstvo údajov. Užívateľ si preto musí poriadne premyslieť, ktoré údaje potrebuje k analýze a či bude mať dostatok priestoru na ich uloženie v pamäti výpočtového zariadenia.

Pri príprave vstupných súborov pre simuláciu je nutné venovať veľkú pozornosť definovaniu rozdelenia výpočtovej oblasti. Príkaz pre vytvorenie výpočtovej mriežky súčasne vyžaduje definovanie objemu výpočtovej oblasti a zadanie počtu buniek v jednotlivých smeroch. Napríklad príkaz

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

vytvára oblasť veľkosti 1 m v smere x-ovej osi, 2 m v smere y-ovej osi a 3 m v smere z-ovej osi, mriežka potom rozdelí oblasť na bunky veľkosti 10 x 10 x 10 cm, teda 10 buniek v smere osi x, 20 buniek v smere osi y a 30 buniek v smere osi z. Akékoľvek teleso nachádzajúce sa mimo takto určenej oblasti nie je do výpočtov zahrnuté. Pretože dôležitá časť výpočtu je založená na použití Poissonovho riešiča založeného na rýchlej Fourierovej transformácii FFT (Fast Fourier Transform) [18], druhý a tretí rozmer mriežky musia byť vo forme $2^k \times 3^m \times 5^n$, kde k, m a n sú prirodzené čísla (počet buniek v smere súradnicových osí y a z je súčinom mocnín čísel 2, 3 a 5). Mriežka by mala byť vytvorená tak, aby zodpovedala veľkosti vírov vznikajúcich pri požiari a súhlasila s geometriou reprezentovaného priestoru.

Pri paralelizácii výpočtu sa výpočtová oblasť rozdelí na viaceré navzájom spojené mriežky, pričom každá musí byť definovaná zvlášť. Vytvára sa horizontálne alebo vertikálne delenie oblasti podľa toho, aký je dominantný smer prúdenia. Pri rozdeľovaní priestoru by rozhranie mriežok nemalo ísť cez požiar alebo záujmovú oblasť. Na hraniciach mriežok sa malá časť informácie stráca, FDS je schopný to čiastočne programátorsky ošetriť, pričom pri rýchlom prúdení je strata väčšia ako pri pomalšom, čo sa premietne do výpočtov aj do vizualizácie prúdenia. V niektorých prípadoch strata spôsobí malú nepresnosť, ktorá môže byť za určitých okolností významná. Pri nevhodnom delení mriežky môžu byť výsledky skreslené. Aby sa predišlo stratám informácií a nepresnostiam, je žiadúce, aby na seba mriežky plynulo nadväzovali. Paralelizácia výpočtu je automatizovaná pomocou rozhrania MPI (Message Passing Interface) [6], ktoré sa primárne zameriava na komunikáciu medzi paralelne prebiehajúcimi procesmi a riadi simuláciu požiaru na jednotlivých mriežkach.

Hustota numerickej mriežky patrí k najdôležitejším vstupným parametrom simulácie. CFD modely riešia aproximovanú formu rovníc zachovania hmotnosti, hybnosti a energie v numerickej mriežke. Chyba vyplývajúca z diskretizácie parciálnych derivácií je funkciou veľkosti bunky numerickej mriežky a typu použitých diferencií. FDS používa pre derivácie v Navier-Stokesových rovniciach aproximáciu druhého rádu presnosti podľa času a priestorových súradníc, čo znamená, že chyba diskretizácie je úmerná druhej mocnine časového a priestorového kroku. Teoreticky, zjemnenie delenia mriežky na polovicu znamená zmenšenie chyby na štvrtinu. To ale súčasne šesťnásobne zvýši výpočtový čas, dvojnásobne pre časový a každý priestorový rozmer. Určenie vhodnej mriežky pre daný výpočet je výsledkom tzv. *analýzy citlivosti modelu na hustotu mriežky* (mesh sensitivity analysis). Vo všeobecnosti je možné začať výpočet s hrubšou mriežkou a postupne ju zjemňovať, až pokiaľ sa rozdiel vo výsledku neustáli s ohľadom na výpočtovú náročnosť. Miera toho, či je pri simulácii požiar dostatočne preriešený pri danom rozlíšení, je daná

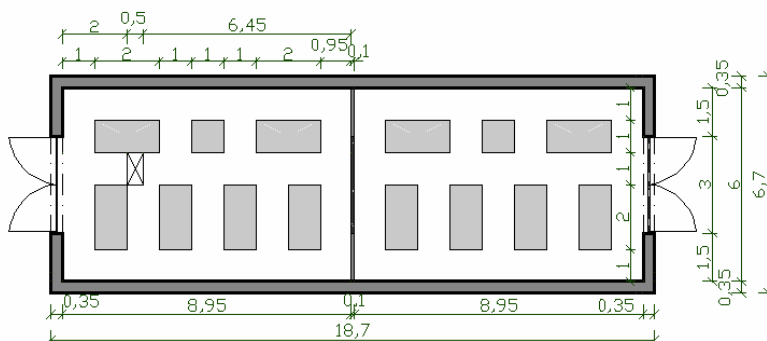
bezrozmerným vzťahom $D^*/\delta x$, kde D^* je charakteristický priemer požiaru a δx je veľkosť bunky mriežky, pričom D^* je definované vzťahom [19]:

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}},$$

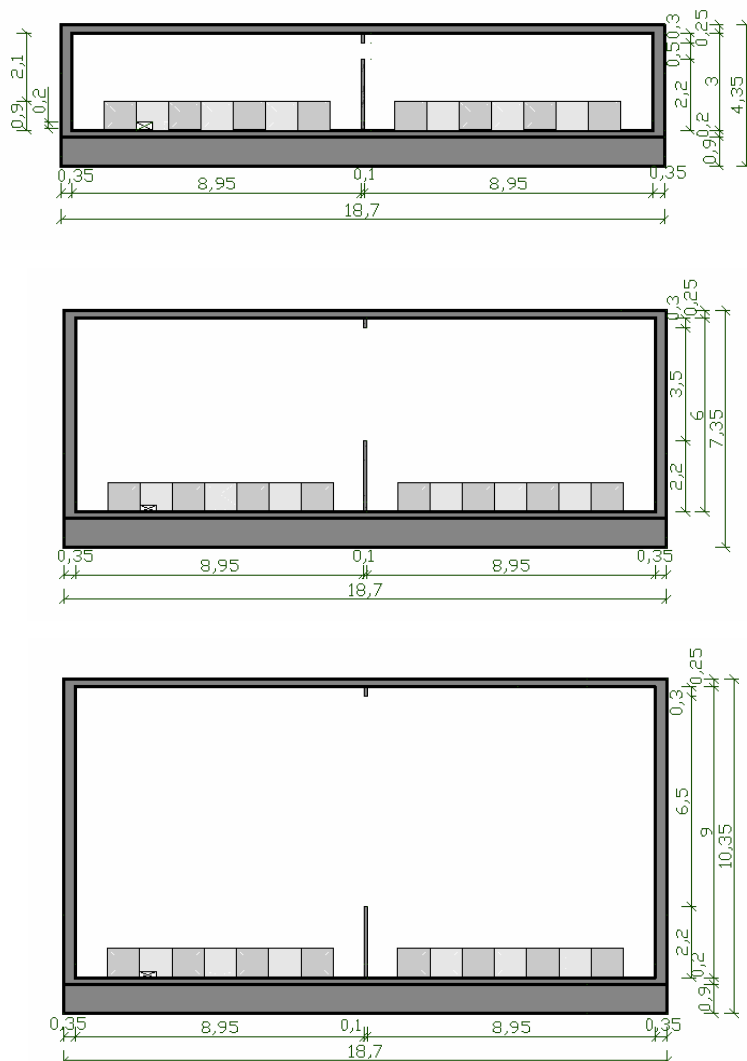
kde $\dot{Q}$ je vyžiarené teplo z požiaru v kW, ρ_∞ je hustota vzduchu ($\sim 1.2 \text{ kg m}^{-3}$), c_p je tepelná kapacita vzduchu ($\sim 1 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$), T_∞ je okolitá teplota vzduchu ($\sim 293 \text{ K}$), g je gravitačné zrýchlenie ($\sim 9.81 \text{ m s}^{-2}$). Veličina $D^*/\delta x$ môže byť považovaná za počet buniek, ktoré preklenú charakteristický priemer požiaru. Ak je menšia ako 4, mriežka sa považuje za príliš hrubú (coarse), medzi 4 a 16 je považovaná za strednú (moderate) a ak je rovná alebo väčšia ako 16, mriežka sa považuje za jemnú (fine) [10]. Čím viac buniek preklenie požiar, tým lepšia je presnosť výpočtu. Je lepšie vyhodnotiť kvalitu mriežky pomocou uvedenej bezrozmernej premennej, ako pomocou absolútnej veľkosti mriežky. Napríklad rozlíšenie mriežky vhodné pre simuláciu šírenia požiaru veľkého rozsahu nemusí byť dostatočné pre simuláciu tlejúceho požiaru.

4 Počítačová simulácia požiaru a šírenia dymu v hale

Budeme simulovať, porovnávať a analyzovať rovnaký typ požiaru v 3 priemyselných halách s rovnakou geometriou, ktoré sa budú líšiť výškou stropu (Obr.1-2). Modelované haly majú relatívne jednoduchú geometriu, aby objekty v nich nedeformovali skúmanú dynamiku požiaru a šírenia dymu. Uvažované modely hál sú pritom dostatočne zložité, aby spĺňali parametre technologických hál.



Obr. 1 Pôdorys priemyselnej haly: všetky uvažované haly majú rovnaký pôdorys.



Obr. 2 Priečné rezy halami 1 – 3.

Prvá hala má výšku stropu 3 m a je priečkou hrubou 10 cm rozdelená na dve miestnosti. Priečka zasahuje do výšky 2,2 m a necháva otvor na prúdenie vzduchu v hale. Na strepe oproti priečke je namontovaná zvislá protipožiarna konštrukcia s hrúbkou 10 cm a výškou 30 cm, ktorej úlohou je spomaliť prestup požiaru a šírenie dymu medzi miestnosťami. Vzdialenosť medzi protipožiarnou konštrukciou a priečkou je 0,5 m. Steny a strop haly sú z betónu, rovnako aj priečka a protipožiarna konštrukcia. Podlaha haly je z inertného materiálu. Nenachádzajú sa tu žiadne otvory a vetráky, ktoré by umožňovali interakciu požiaru s vonkajším prostredím. Miestnosti sú priechodné cez zliatinové dvere zasadené v priečke siahajúce do výšky 2 m, ktoré budú počas všetkých simulácií požiaru zatvorené. V oboch miestnostiach sa nachádzajú výrobné pulty vyrobené z inertného materiálu s výškou 0,9 m, ktorých rozmiestnenie je symetrické. Druhá hala má výšku stropu 6 m so vzdialenosťou medzi priečkou a protipožiarnou konštrukciou 3,5 m. Výška tretej haly je 9 m a vzdialenosť medzi protipožiarnou konštrukciou a priečkou je 6,5 m. Ostatné parametre

druhej a tretej haly sú zhodné s prvou halou. Steny, strop a podlaha priemyselnej haly sú reprezentované hranicami výpočtovej oblasti s priradenými okrajovými podmienkami. Výrobné pulty, priečka, dvere a protipožiarna konštrukcia sú reprezentované objektmi typu prekážka. Celkovo bolo na reprezentáciu každej haly použitých 22 útvarov typu OBST a 6 útvarov typu VENT.

Predpokladáme, že vo výrobnjej hale nastala technologická havária, pri ktorej spadol z výrobného pultu horľavý technický materiál a zapálil sa. Pritom očakávame, že požiar prenikne do druhej miestnosti a že zvislá protipožiarna konštrukcia ho spomalí. Zdroj požiaru reprezentuje kváder s rozmermi 0,5 x 1 x 0,2 m z technického materiálu, pričom horia jeho 4 steny (spodná a zadná stena sú inertné) s výslednou plochou požiaru 1 m² a s okrajovou podmienkou s tepelným výkonom na jednotkovú plochu 650 kW. Rovnaký zdroj požiaru sa nachádza na rovnakom mieste vo všetkých troch scenároch. Na Obr. 1 a 2 je zobrazený ako vyškrtnutý obdĺžnik. Simulácia požiaru sa vo všetkých troch scenároch začne vo chvíli vznietenia technického materiálu a trvá jednu minútu.

V simuláciách sme použili materiály, ktoré boli poskytnuté pracovníkmi ÚI SAV. Vlastnosti betónu boli získané z tabuliek požiarnych vlastností stavebných materiálov. Dvere v hale sú zo zliatiny a parametre technického materiálu zodpovedajú horľavému plastovému materiálu. Ostatné povrchy (podlaha, výrobné pulty) boli z inertného materiálu.

Pre simuláciu sme určili tieto výstupy:

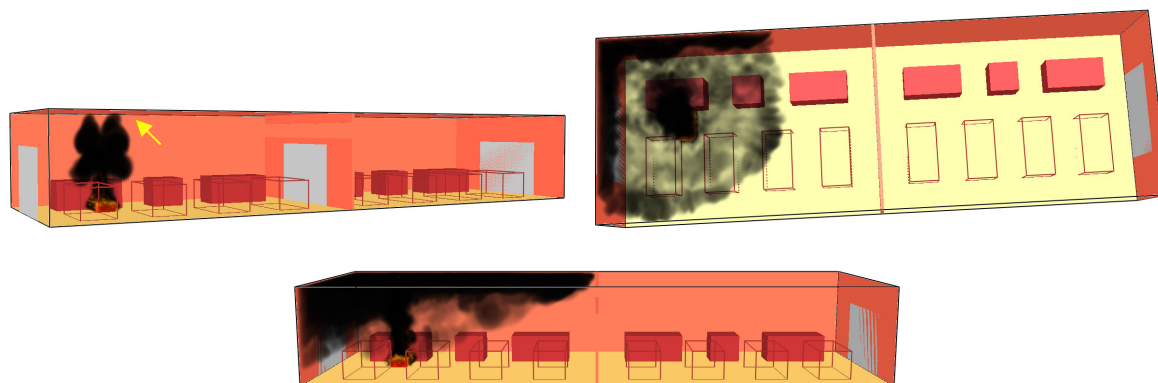
- teploty na termočlánkoch umiestnených nad zdrojom požiaru (ZP)
- bodová teplota stropu nad ZP
- tri zvislé rezy (teplota, rýchlosť prúdenia, koncentrácia dymu) prechádzajúce cez stred ZP
- dva vodorovné rezy (teplota, rýchlosť) vo výške 0,1 m
- vodorovný rez koncentrácie dymu vo výške očí (165 cm)
- 3D vizualizácia priebehu požiaru a šírenia dymu
- krivka tepelného výkonu požiaru.

Pre daný typ požiaru sme vykonali analýzu citlivosti modelu na hustotu mriežky a pri návrhu výpočtových mriežok sme splnili podmienku pre počet buniek v smere osí y a z vyplývajúcu z použitia FFT metódy. Hustota výpočtovej mriežky pri simulácii požiaru vo všetkých troch halách je 5 cm (mriežka kategórie „fine“). Celkovo sme realizovali 4 simulácie požiaru na dvoch rôznych počítačoch, pričom oba uskutočňovali paralelný výpočet. **Prvá simulácia** bola realizovaná pre požiar v hale s výškou stropu 3 metre na dvojjadrovom osobnom počítači Intel ® Core™ 2 duo CPU, E8400, 3.00 GHz, 4 GB RAM pre prvých 10 sekúnd požiaru. Výpočtový priestor bol rozdelený na dve mriežky, ktoré zodpovedali dvom

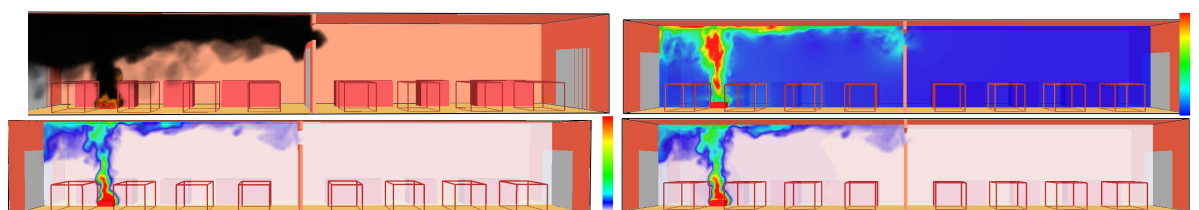
jadrám procesoru. Pre obe jadrá bol počet buniek v smere osi x 180, v smere osi y 120 buniek a 60 buniek v smere osi z. Táto pomocná simulácia slúžila na otestovanie geometrie a vstupných parametrov pre nasledujúce simulácie, ktorých výsledky analyzujeme. **Simulácie požiaru v halách 1 až 3** boli realizované na šesťjadrovom počítači Intel i7-990x, 3.46 GHz CPU, 24 GB RAM na ÚI SAV v Bratislave. Pre halu s výškou 3 metre je počet buniek riešených jedným procesorom 432 000 (60 buniek v smere osi x, 120 buniek v smere osi y a 60 buniek v smere osi z), pre halu s výškou 6 metrov je to 864 000 buniek (60 v smere osi x, 120 v smere osi y a z) a pre halu s výškou stropu 9 metrov rieši jeden procesor 1 296 000 buniek (60 v smere osi x, 120 v smere osi y, 180 v smere osi z). Celkový počet buniek pre prvú halu je teda 2 592 000 (5 184 000 buniek pre druhú a 7 776 000 buniek pre tretiu halu).

Výpočet **simulácie požiaru v prvej hale** trval 12 h 15 min 15 s. Zo zdroja požiaru sa uvoľnil stĺpec horúcich plynov v podobe dymu, ktoré sa premiešavali so studeným vzduchom v miestnosti, čím vznikali víry. V čase 1,9 s dym už dosiahol strop (Obr. 3.) Oranžová farba na vizualizácii požiaru zodpovedá intenzite požiaru väčšej ako 200 kW/m^3 . Keďže v miestnosti horel materiál s vlastnosťami horľavého plastu, vzniknuté mraky čierneho dymu boli toxické. Dym sa lúčovito šírila pod stropom a začal sa vrstviť, najprv narazil na zadnú a ľavú bočnú stenu (pretože zdroj požiaru bol umiestnený bližšie k zadnej stene), v 4. s narazil na prednú stenu. Po náraze na bočné steny získal pohybovú energiu, pretlačil studený vzduch a šírila sa smerom nadol, pričom sa vytvárali mraky s turbulentným prúdením (Obr. 3). Dym sa v čase 6,7 s dostal popri zadnej stene k zvislej protipožiarnej konštrukcii, ktorá spomalila jeho prestup do druhej miestnosti. Na obr. 4 vidíme, že len časť dymu prenikla cez otvor medzi priečkou a protipožiarnou konštrukciou, začala sa vrstviť pod stropom v 2. miestnosti. Časť dymu klesala popri priečke v 1. miestnosti smerom nadol a vytvárala mraky nebezpečného toxického dymu, ktoré v 12. s dosiahli hĺbku 1,65 m. Po prekonaní protipožiarnej prekážky sa dym vrstvením šírila popod stropom v 2. miestnosti k pravej stene haly, ktorú dosiahol v čase 24 s (Obr. 5). Po náraze na pravú bočnú stenu sa opäť vytvoril mrak toxického plynu, ktorý klesol nižšie ako pôvodná vrstva dymu, následne bolo pozorované vyrovnávanie výšky vrstvenia dymu. Z dôvodu rozdielnej teploty vo vrstvách dymu a celkovému cirkulárnemu prúdeniu v hale sa vytvorila druhá vrstva dymu, ktorá sa šírila späť k prvej miestnosti a v 45. s sa dostala k priečke. Vrchná časť tejto vrstvy prenikla cez otvor do druhej miestnosti, spodná časť sa od priečky odrazila a vytvorila tretiu vrstvu smerujúcu k pravej bočnej stene haly (Obr. 6). V 2. miestnosti teda pozorujeme laminárne prúdenie; 3 vrstvy dymu s rozdielnou teplotou, rýchlosťou a smerom šírenia. Na Obr. 6 vidíme, že miestnosť so zdrojom požiaru na konci prvej minúty simulácie je plná dymu uvoľneného z požiaru a druhá

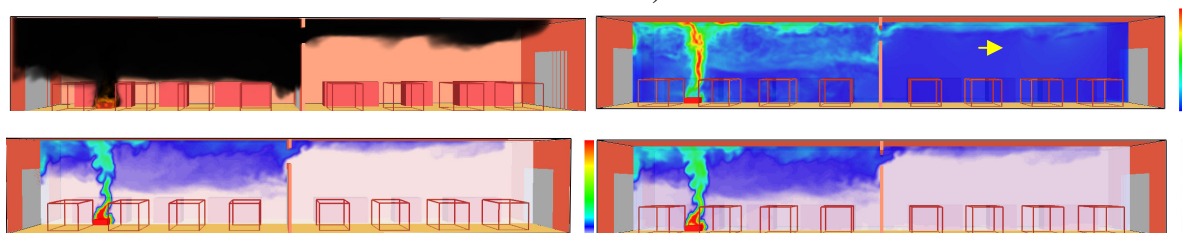
miestnosť obsahuje len 3 pomerne tenké vrstvy splodín. Zvislá protipožiarna konštrukcia spolu s priečkou v tejto hale celkom dobre zabránila šíreniu dymu a požiaru v druhej miestnosti. Z rezov koncentrácií dymu a teploty na Obr. 4-6 vidíme, že rozloženie koncentrácie dymu zodpovedalo rozloženiu teploty vzduchu v hale (kde $0,15 \cdot 10^{-2} \text{ mol/mol} \sim 100^\circ\text{C} \sim \text{modrá farba}$).



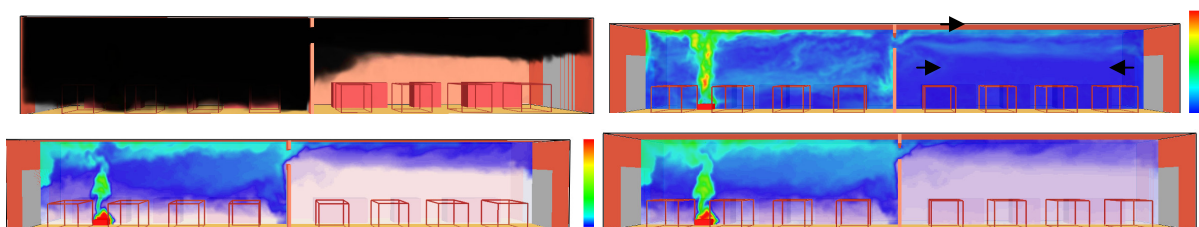
Obr. 3 Simulácia požiaru a dymu v hale 1 v 1,9. s (vľavo hore), v 4. s (vpravo hore) a v 6,7. s (dole).



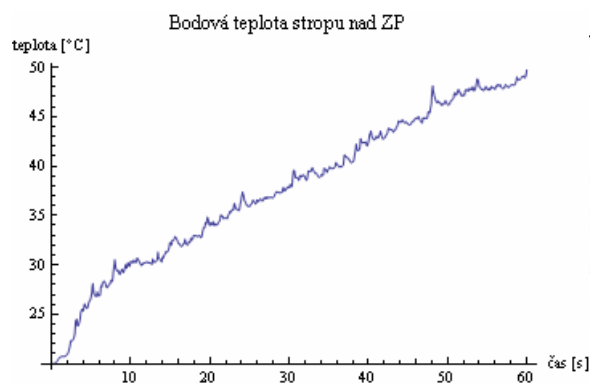
Obr. 4 Simulácia požiaru v hale 1 v 8. s : šírenie dymu, rýchlostný rez (max = 5,0 m/s, min = 0 m/s), rez koncentrácie dymu (max = $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/mol}$, min = 0 mol/mol), teplotný rez (max = 820°C , min = 20°C).



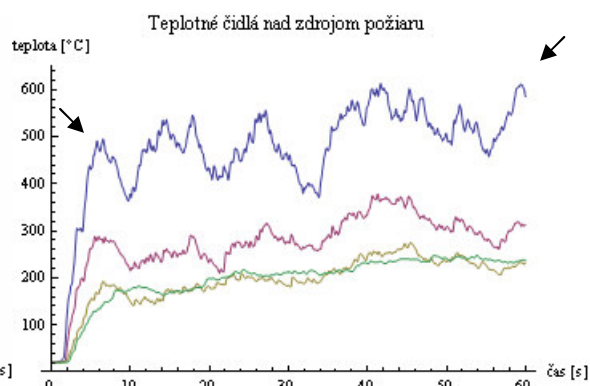
Obr. 5 Simulácia v hale 1 v 22,2. s: šírenie dymu, rýchlostný rez (max = 5,0 m/s, min = 0 m/s), rez koncentrácie dymu (max = $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/mol}$, min = 0 mol/mol), teplotný rez (max = 820°C , min = 20°C).



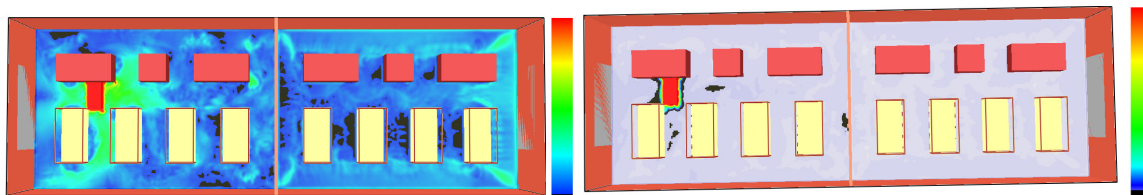
Obr. 6 Simulácia v hale 1 v 54. s: šírenie dymu, rýchlostný rez (max = 5,0 m/s, min = 0 m/s), rez koncentrácie dymu (max = $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/mol}$, min = 0 mol/mol), teplotný rez (max = 820°C , min = 20°C).



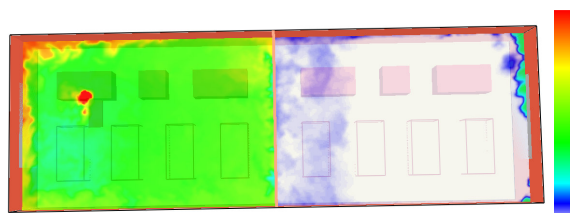
Obr. 7 Bodová teplota stropu v 1. hale nad stredom ZP.



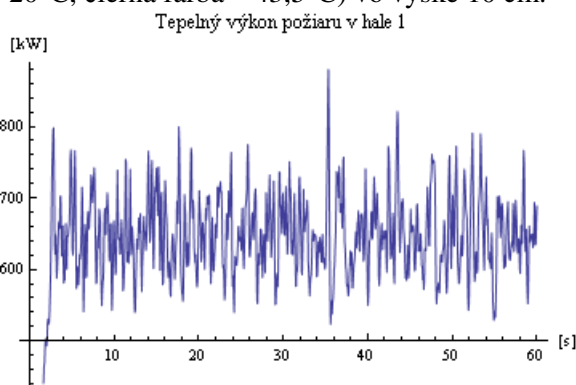
Obr. 8 Teplota na termočlánkoch nad stredom ZP v 1. hale vo výške 0.9 m (TC-1, modrá), 1.5 m (TC-2, červená), 2.2 m (TC-3, žltá), 2.9 m (TC-4, zelená).



Obr. 9 Simulácia požiaru v hale 1 v 28. s : rezy rýchlosti prúdenia (max = 1,0 m/s, min = 0 m/s ~ čierna farba) a teploty (max = 520°C, min = 20°C, čierna farba ~ 43,5°C) vo výške 10 cm.



Obr. 10 Rez koncentrácie dymu v 1.hale v 60. s (max = $4,5 \cdot 10^{-3}$ mol/mol, min = 0 mol/mol) vo výške 165 cm.



Obr. 11 Tepelný výkon (HRR) v 1. hale.

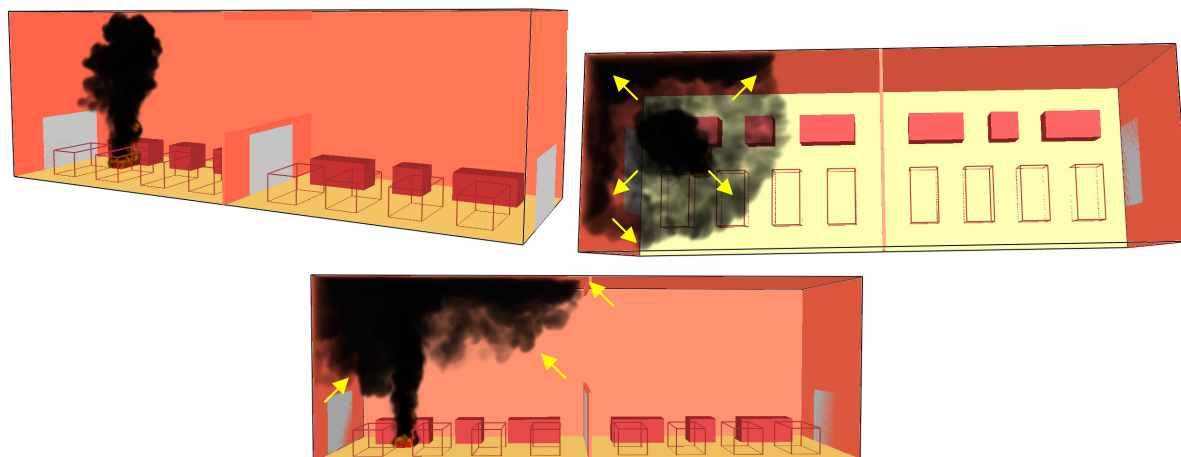
Graf na Obr. 7 zobrazuje zohrievanie sa betónu na stredom zdroja požiaru. V 60. s požiaru dosiahla teplota stropu 47,73°C, a teda namáhanie betónovej konštrukcie stropu haly nebolo nebezpečné. V 6. s požiaru dosiahla teplota plynov vo výške 90 cm nad zdrojom požiaru teplotu 489 °C. Následné klesania a stúpania na teplotnom grafe (Obr. 8) pre termočlánok TC-1 sú spôsobené nasávaním studeného vzduchu k zdroju požiaru spôsobeného prúdením plynov v hale. Maximálna teplota plynov v tejto výške bola 612,6°C. Výrazne nižšia maximálna teplota 378 °C dosiahnutá vo výške 1.5 m bola spôsobená premiešavaním horúcich a studených plynov v hale v dôsledku stúpania teplého vzduchu k stropu miestnosti. Tretí a štvrtý termočlánok zaznamenali približne rovnaké hodnoty.

Na Obr. 9 vidíme rez prúdenia plynov v prvej hale vo výške 10 cm v čase 27 s a zodpovedajúci teplotný rez. Prúdenie dosahovalo najvyššiu rýchlosť v miestnosti so zdrojom požiaru, v druhej miestnosti bolo prúdenie výrazne pomalšie, na niektorých miestach dokonca nulové. V 46. s požiaru sa v prvej miestnosti pri priečke vytvorila oblasť s pomerne vysokou rýchlosťou prúdenia dosahujúcou hodnoty 0,8 - 1 m/s. Zodpovedá to prieniku vrstvy dymu z druhej miestnosti, ktorá zvýšila teplotu pri dverách v priečke na 100°C (Obr. 6) a tým aj rýchlosť prúdenia v danej oblasti. Maximálna dosiahnutá teplota 43,5°C vo výške 10 cm v druhej miestnosti bola rozložená popri priečke a stenách haly. Teplota 63 °C, ktorá je pre človeka kritická, bola dosiahnutá pri spojovacích dverách v prvej miestnosti už v 32. sekunde. V spojení s vysokou koncentráciou dymu v prvej miestnosti na konci prvej minúty požiaru, ktorá dosiahla vo výške 165 cm hodnotu $2 \cdot 10^{-3}$ mol/mol (Obr. 10), môžeme konštatovať, že riziko pre ľudí (otrava toxickým dymom, popáleniny) v prvej miestnosti bolo veľmi vysoké.

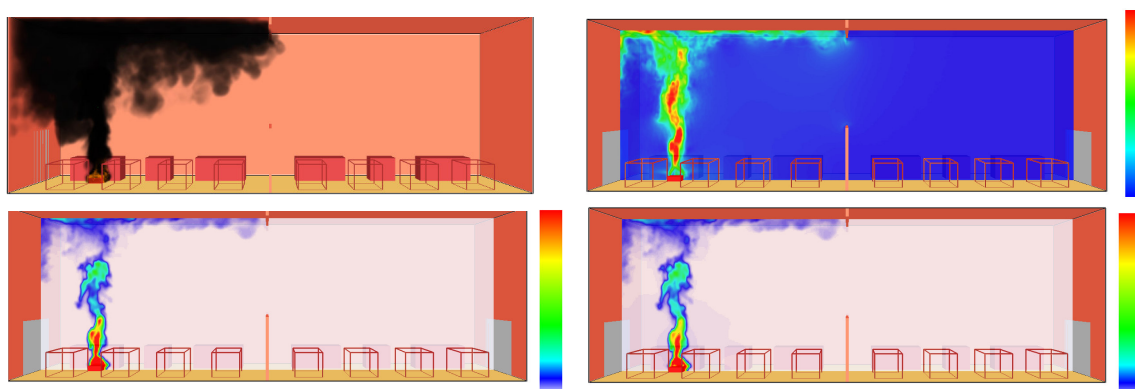
Grafu na Obr. 11 zobrazuje tepelný výkon požiaru (HRR) počas prvej minúty požiaru v hale. HRR prudko stúpala, v 3. s dosiahol 800 kW. Následne na grafe pozorujeme klesania a stúpania, pričom priemerná hodnota bola 640 kW. Maximálny tepelný výkon 879,6 kW bol dosiahnutý v 35. s.

Výpočet **simulácie požiaru v druhej hale** trval 24 h 9 min 15 s. Požiar v druhej hale mal podobný priebeh ako v prvej hale iba do 2. s. Horúce plyny a splodiny stúpali v stĺpci k stropu haly, pričom pozorujeme vírivé mraky dymu (Obr. 12) vznikajúce tým, že stúpajúci teplý vzduch prerážal studený vzduch a premiešaval sa s ním. V čase 3,3 s narazil dym na strop haly, lúčovito sa šírila a vrstvila sa, narazila na zadnú a ľavú stenu, v 54. s na prednú stenu. Po nárazoch získala pohybovú energiu, pomocou ktorej pretlačila studený vzduch a šírila sa pozdĺž stien smerom k podlahe pokiaľ nepotreboval pohybovú energiu. Následne opäť stúpala, čím sa pri stenách haly vytvárali mraky dymu. Dym sa šírila k protipožiarnej zábrane, ktorú línia dymu pri zadnej stene dosiahla v čase 7,3 s. Prienik do vedľajšej miestnosti bol intenzívnejší ako v prípade prvej haly, pretože mraky dymu vytvorené pri zadnej stene a postupujúce do druhej miestnosti dosahovali väčšiu hĺbku ako protipožiarne konštrukcie. Po prekonaní protipožiarnej konštrukcie sa dym šírila vrstvením pod stropom v druhej miestnosti, pričom dosahoval väčšiu hĺbku ako v hale 1. Dym narazil na pravú stenu haly v 20. s, a podobne ako v 1. hale sa sformoval mrak toxického dymu. Vyrovnávanie výšky vrstvenia dymu predstavuje druhú vrstvu dymu prúdiacu späť smerom k prvej miestnosti, pričom pozorujeme laminárne prúdenie. Na reze prúdenia z Obr. 14 súčasne pozorujeme turbulentné prúdenie vzduchu vytvárajúce vír pri vrchnej hrane priečky, spôsobené nasávaním studeného vzduchu k zdroju požiaru. Na Obr. 15 potom konštatujeme cyklické prúdenie prechádzajúce

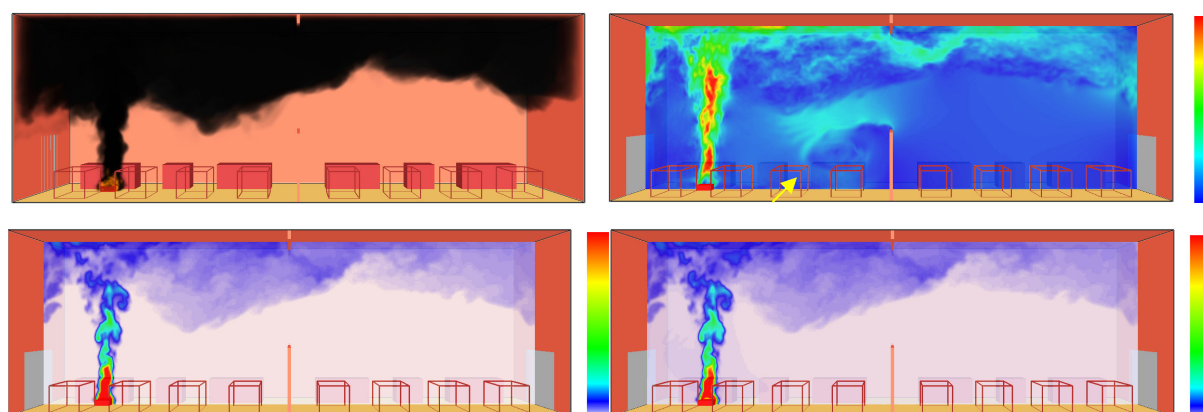
cez celú výrobnú halu. Na konci prvej minúty požiariu pozorujeme väčšie množstvo dymu v prvej miestnosti haly, v druhej miestnosti je viac dymu ako v prípade prvej haly.



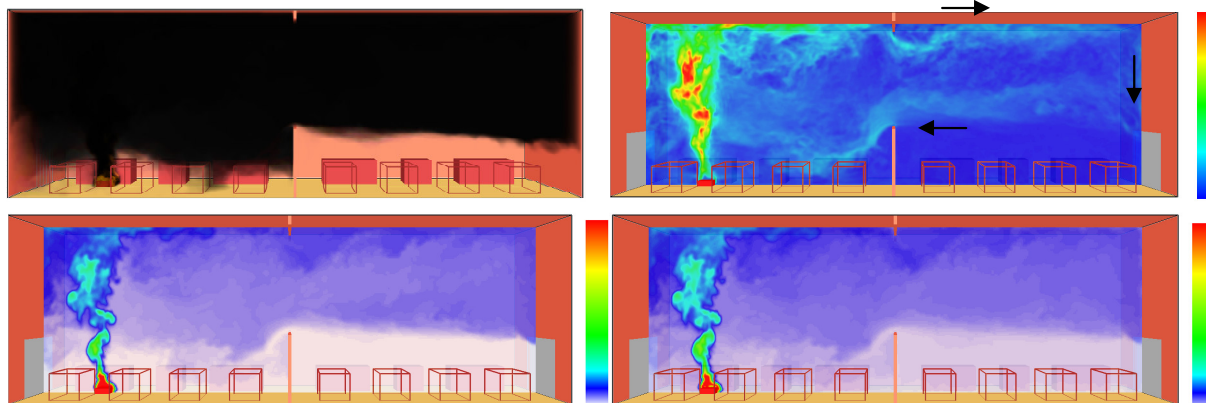
Obr. 12 Simulácia požiaru a dymu v hale 2 v čase 3,3 s (vľavo hore), v čase 5 s (vpravo hore) a v čase 7,3 s (dole)



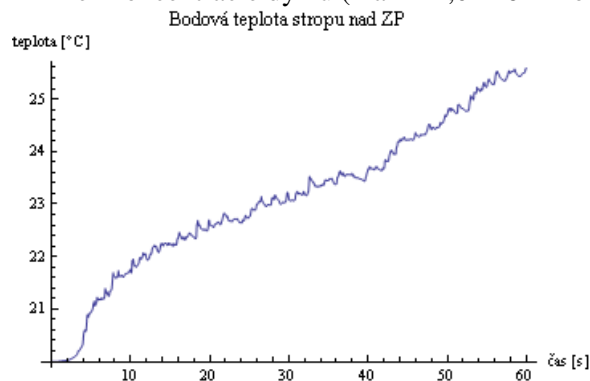
Obr. 13 Simulácia požiaru v hale 2 v 8. s: šírenie dymu, rýchlostný rez (max = 5,5 m/s, min=0 m/s), rez koncentrácie dymu (max = $1,0 \cdot 10^{-2}$ mol/mol) a teplotný rez (max = 670°C, min = 20°C)



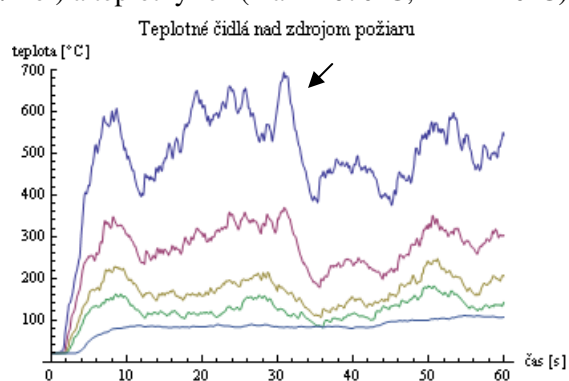
Obr. 14 Simulácia požiaru v hale 2 v 22,2. s - šírenie dymu, rýchlostný rez (max = 5,5 m/s, min=0 m/s), rez koncentrácie dymu (max = $1,0 \cdot 10^{-2}$ mol/mol) a teplotný rez (max = 670°C, min = 20°C).



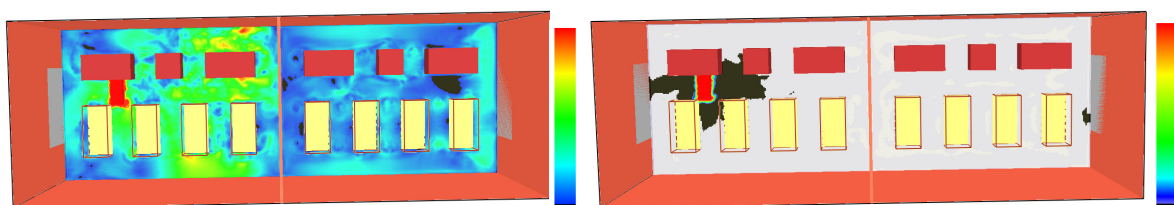
Obr. 15 Simulácia požiaru v hale 2 v 54. s: šírenie dymu, rýchlostný rez (max = 5,5 m/s, min=0 m/s), rez koncentrácie dymu (max = $1,0 \cdot 10^{-2}$ mol/mol) a teplotný rez (max = 670°C, min = 20°C).



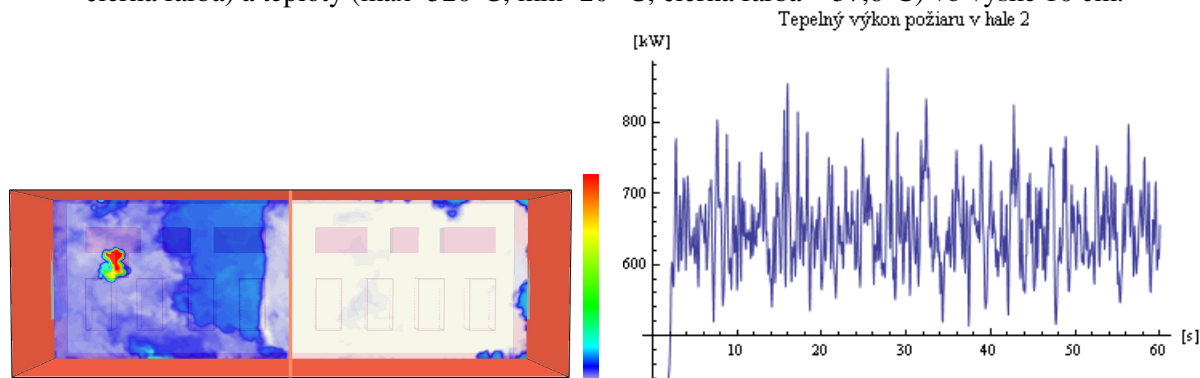
Obr. 16 Bodová teplota stropu v 2. hale nad stredom ZP.



Obr. 17 Teplota na termočláňkoch v 2. hale nad stredom ZP vo výške: 0.9 m (TC-1, modrá), 1.5 m (TC-2, červená), 2.2 m (TC-3, žltá), 2.9 m (TC-4, zelená), 5.9 m (TC-5, bledomodrá).



Obr. 18 Simulácia požiaru v hale 2 v 28. s: rezy rýchlosti prúdenia (max = 1,0 m/s, min = 0 m/s ~ čierna farba) a teploty (max=520°C, min=20 °C, čierna farba ~ 37,6°C) vo výške 10 cm.



Obr. 19 Rez koncentrácie dymu v 2. hale v 60. s (max = $4,0 \cdot 10^{-3}$ mol/mol, min = 0 mol/mol) vo výške 165 cm.

Obr. 20 Tepelný výkon (HRR) v 2. hale.

Na Obr. 16 pozorujeme lineárny rast grafu ohrievania betónového stropu nad zdrojom požiaru. V hale s výškou stropu 6 m, dosiahla teplota stropu nad zdrojom požiaru v 60. s požiaru hodnotu 25,5 °C, čo predstavuje nárast teploty o 5 °C od začiatku požiaru. Pre betónovú konštrukciu stropu výrobné haly pri danom type požiaru to nepredstavovalo žiadne riziko. Z grafov na Obr. 17 sme zistili, že teplota v druhej hale v bode nad zdrojom požiaru vo výške 90 cm dosiahla väčšiu maximálnu hodnotu 695°C ako v prvej hale. V 8,6. s dosiahla teplota vzduchu na prvom čidle 608,4°C, teploty na ostatných čidlách kulminovali na svojich lokálnych maximách. Následne pozorujeme pokles nameraných teplôt na štyroch čidlách (TC-1-4), časovo zodpovedajúci prestupu požiaru do druhej miestnosti. V 31. s pozorujeme, že teplota na prvých štyroch čidlách klesla. Tento jav zodpovedá prúdeniu druhej vrstvy dymu z druhej miestnosti späť k prvej, pričom teplý vzduch posúval pred sebou studený vzduch z druhej miestnosti. Ten bol preto vo väčšej miere nasávaný k zdroju požiaru, čo spôsobovalo ochladenie vzduchu v okolí teplotných čidiel.

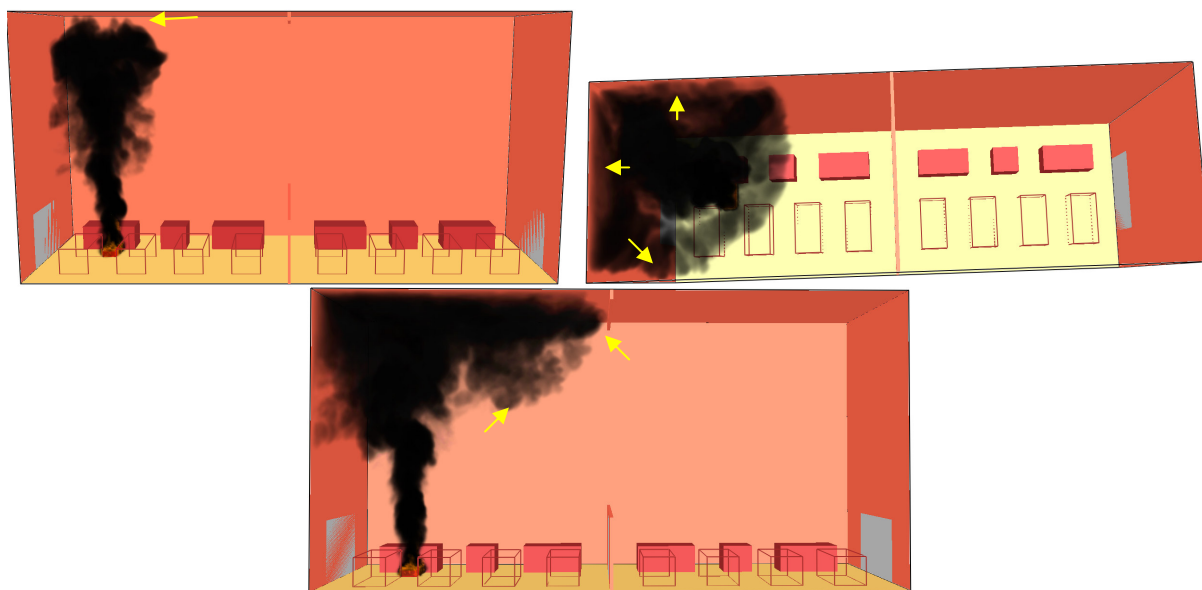
Na Obr. 18 vidíme, že prúdenie vo výške 10 cm dosahovalo v oboch miestnostiach väčšiu rýchlosť ako v prípade prvej haly. Súčasne dosahovalo nižšiu teplotu, pričom teplota v druhej miestnosti vo výške 10 cm nepresiahla hodnotu 40°C. To bolo spôsobené väčšou výškou stropu (čím viac studeného vzduchu, tým nižšia teplota) a väčším priestorom medzi priečkou a protipožiarou prekážkou (prúdenie bolo menej spomaľované). Horúce plyny a dym sa zhromažďovali pod stropom, ktorý bol v druhej hale vyšší. Koncentrácia dymu vo výške očí v prvej miestnosti bola preto výrazne nižšia, dosiahla $0,56 \cdot 10^{-3}$ mol/mol (Obr. 19) a riziko pre ľudí sa s väčšou výškou stropu výrazne znížilo.

Z grafu na Obr. 20 vidíme, že priebeh tepelného výkonu požiaru v druhej hale bol podobný tomu v prvej hale, v 5. s dosiahne 780 kW. Následné oscilácie na grafe predstavujúce nárasty a klesania HRR sú spôsobené prúdením vzduchu v hale. Maximálny tepelný výkon 875,5 kW bol dosiahnutý v 29. s.

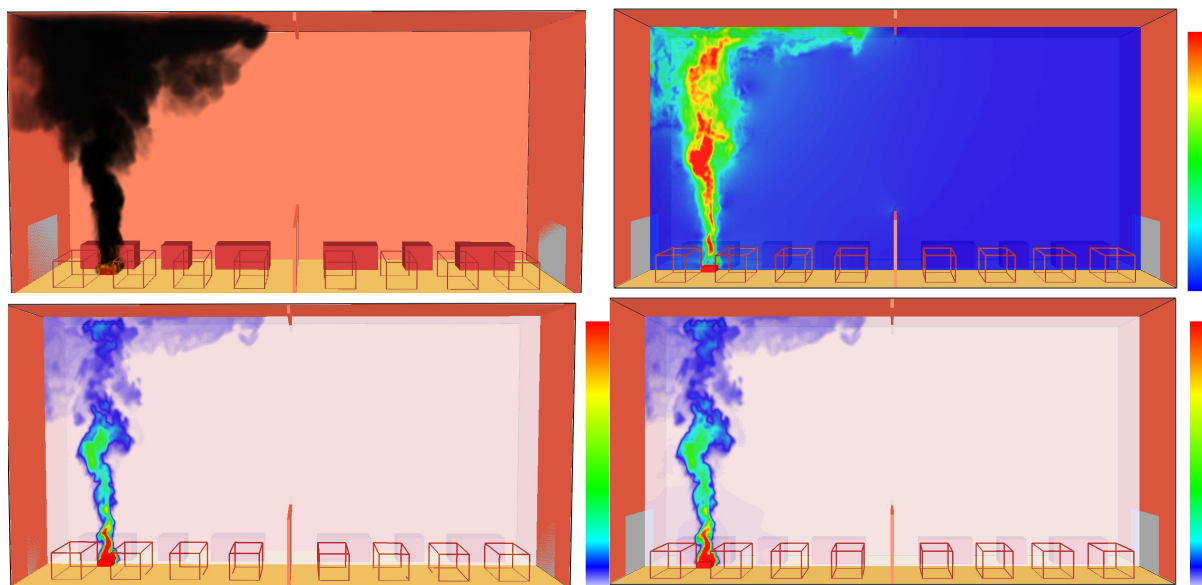
Výpočet **simulácie požiaru v tretej hale** trval 37 h 18 min 49 s. Požiar mal podobný priebeh ako požiar v druhej hale. Na Obr. 21 vidíme, že stĺpec dymu narazil na strop v 5,1. s požiaru, lúčovito sa šírila a vrstvila sa, narazil na steny, v dôsledku pohybovej energie získanej nárazom pretlačil studený vzduch pod sebou, čím začal vytvárať mraky dymu. Hĺbka protipožiarnej prekážky, na ktorú narazil dym v čase 8,7 s, nebola dostatočná, aby výrazne spomalila prestup požiaru do druhej miestnosti. Dym sa následne vrstvením šírila v druhej miestnosti, po náraze na pravú stenu haly sa sformoval mrak toxického dymu a následne sa pod prvou vrstvou vytvorila druhá vrstva dymu s opačným smerom šírenia a nižšou teplotou (Obr. 23). To spôsobilo vytvorenie cirkulujúceho prúdenia v celej hale, pričom opäť vzniklo

vírivé prúdenie s rýchlosťou 1,85 m/s v prvej miestnosti pri hornej hrane priečky. Rozdiel medzi šírením požiaru v druhej a tretej hale je viditeľný hlavne na časovom posune medzi jednotlivými dejmi. Ďalší viditeľný rozdiel je v rovnomernom zadymení oboch miestností pre tretiu halu v 54. s (Obr. 24), na rozdiel od zadymenia miestností v hale 2 v tom istom čase (Obr. 15).

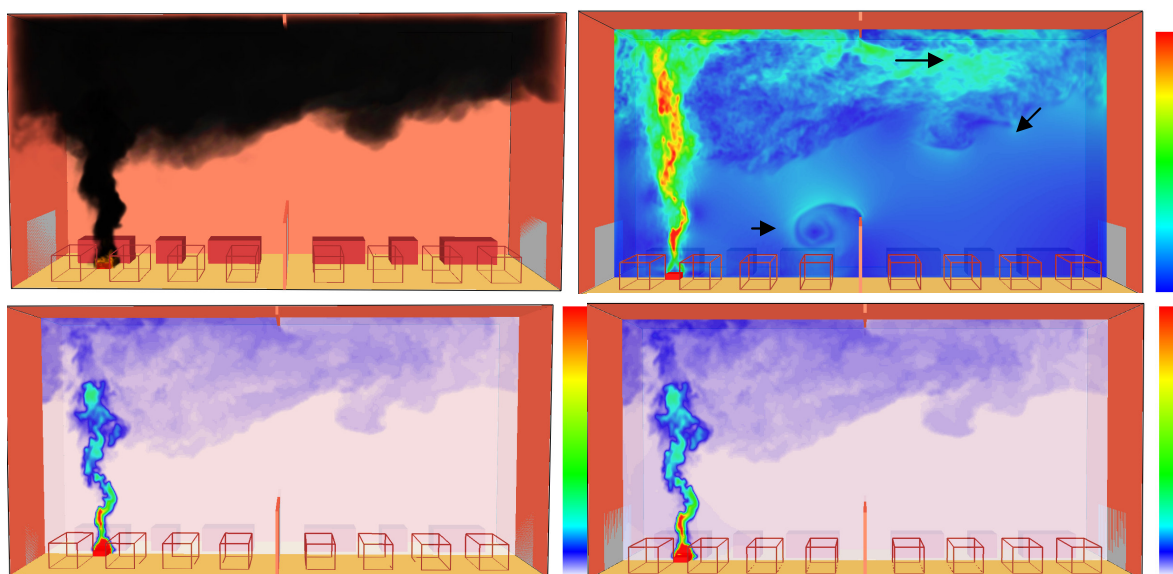
Teplota stropu nad zdrojom požiaru po prvej minúte požiaru dosiahla 23°C, čo pre konštrukciu stropu nebolo nebezpečné (Obr. 25). Teplota vzduchu nad zdrojom požiaru vo výške 90 cm dosiahla maximálnu teplotu 718,8°C v 24,2. s. Opäť pozorujeme rasty a klesania



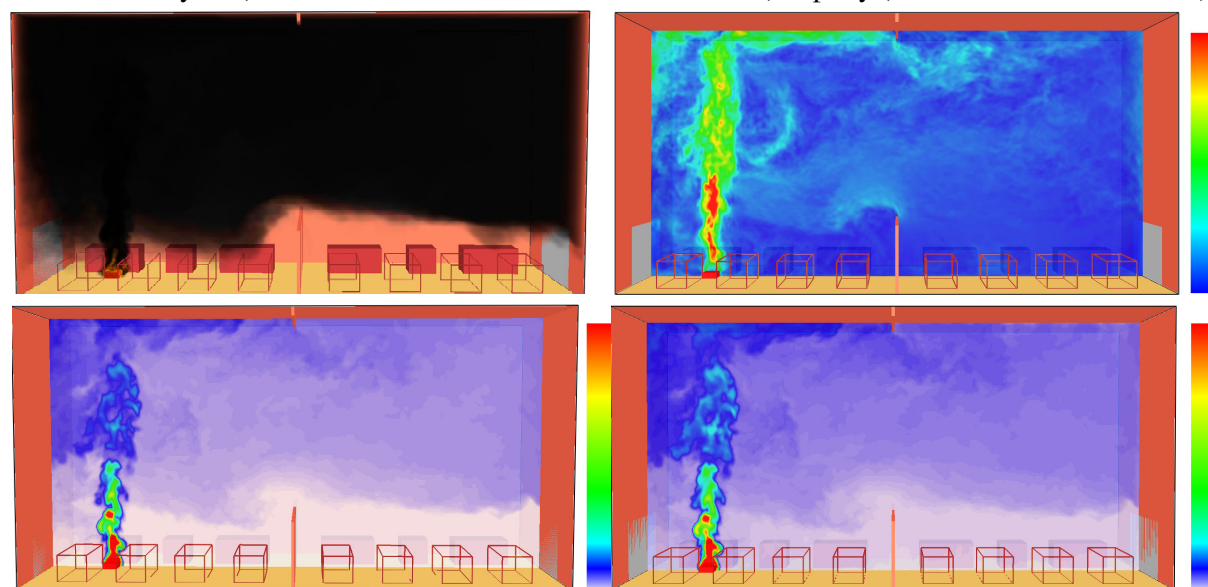
Obr. 21 Simulácia požiaru a dymu v hale 3 v čase 5,1 s (vľavo hore), v čase 6,6 s (vpravo hore) a v čase 8,7 s (dole).



Obr. 22 Simulácia požiaru v hale 3 v 8. s: šírenie dymu, rýchlostný rez (max = 5,5 m/s, min = 0 m/s), rez koncentrácie dymu (max = $8,50 \cdot 10^{-3}$ mol/mol, min = 0 mol/mol) a teplotný rez (max = 520°C, min = 20°C).



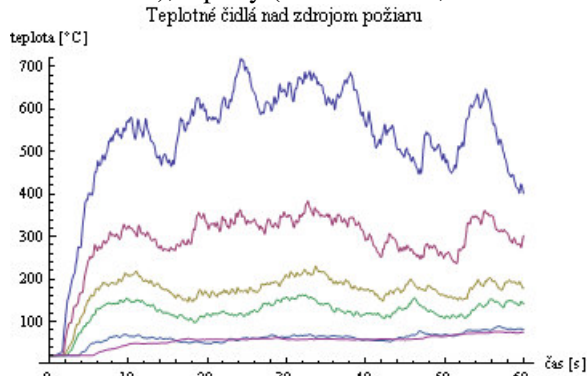
Obr. 23 Simulácia požiaru v hale 3 v 22,2. s: šírenie dymu, rez rýchlosti (max = 5,5 m/s, min = 0 m/s), koncentrácie dymu (max = $8,50 \cdot 10^{-3}$ mol/mol, min = 0 mol/mol), teploty (max = 520°C, min = 20°C).



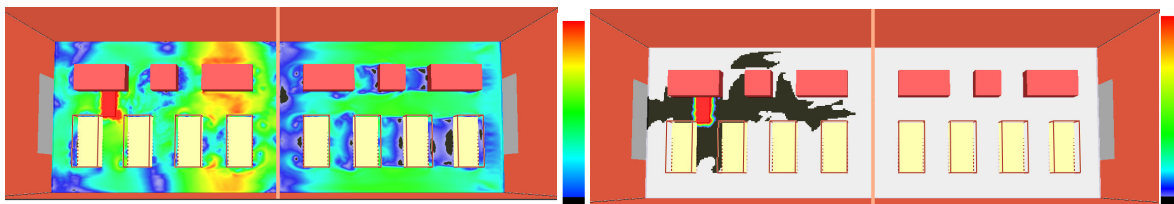
Obr. 24 Simulácia požiaru v hale 3 v 54. s: šírenie dymu, rez rýchlostný (max = 5,5 m/s, min = 0 m/s), koncentrácie dymu (max = $8,50 \cdot 10^{-3}$ mol/mol, min = 0 mol/mol), teploty (max = 520°C, min = 20°C).



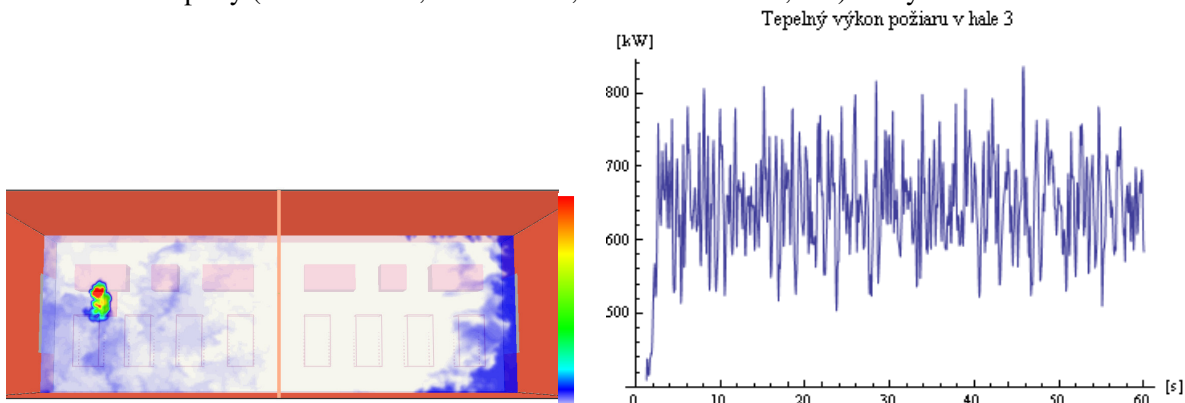
Obr. 25 Bodová teplota stropu v 3. hale nad stredom ZP.



Obr. 26 Hala 3: Teplota na termočlánkoch v 3. hale nad stredom ZP vo výške: 0.9 m - modrá, 1.5 m - červená, 2.2 m - žltá, 2.9 m - zelená, 5.9 m - bledomodrá, 8.9 m - bledočervená.



Obr. 27 Simulácia požiaru v hale 3 v 28. s: rezy rýchlosti prúdenia (max = 1,0 m/s, min = 0 m/s) a teploty (max = 520°C, min = 20°C, čierna farba ~ 35,7°C) vo výške 10 cm.



Obr. 28 Rez koncentrácie dymu v 3. hale v 60. s (max = $4,0 \cdot 10^{-3}$ mol/mol, min = 0 mol/mol) vo výške 165 cm.

Obr. 29 Tepelný výkon (HRR) v 3. hale.

na grafe pre TC-1, grafy pre ostatné termočlánky vykazujú čiastočnú stagnáciu spôsobenú výškou stropu 9 m a tým aj čiastočne rovnomerným rozložením teploty počas požiaru.

Prúdenie v prvej miestnosti dosahovalo rýchlosť 0,9 m/s na miestach zodpovedajúcich vzniku vírivého prúdenia pri priečke oddeľujúcej miestnosti vo výške 10 cm (Obr. 27). Na reze prúdenia v druhej miestnosti vidíme, že medzi prekážkami v jednom rade bola rýchlosť od 0 m/s po 0,2 m/s, medzi radmi bola rýchlosť prúdenia až 0,5 m/s. Výrobné pulty pôsobili ako prekážky a spomaľovali rýchlosť prúdenia plynov v hale. Teplotný rez v rovnakom čase a výške zobrazuje najvyššiu teplotu v okolí zdroja požiaru. V druhej miestnosti počas prvej minúty požiaru nepresiahla teplota 38°C vo výške 10 cm.

Koncentrácia dymu vo výške očí dosiahla maximálnu hodnotu $4 \cdot 10^{-3}$ mol/mol iba nad zdrojom požiaru. Modrá farba na Obr. 28 zodpovedá koncentráciám dymu s hodnotou $0,4 \cdot 10^{-3}$ mol/mol, ktorá sa objavila pri vonkajších dverách druhej miestnosti v 54. s. Potenciálne unikajúci ľudia by nemali problém s orientáciou v priestore a riziko z otravy toxickým dymom v prvej minúte požiaru nebolo vysoké oproti prvým dvom halám.

Z grafu na Obr. 29 vidíme, že tepelný výkon požiaru počas prvých sekúnd rýchlo rástol, v 5. s dosiahol 760 kW. Priebeh grafu HRR je veľmi podobný grafom pre prvú a druhú halu. Maximálny tepelný výkon 836,2 kW bol dosiahnutý v 47. s.

Výška stropu má výrazný vplyv na šírenie požiaru. Pri hale s vyšším stropom je v hale väčšie množstvo studeného vzduchu, ktorý postupným premiešavaním s horúcim vzduchom

znižuje teplotu uvoľnených plynov. Súčasne je ale v hale väčšie množstvo kyslíku, ktoré podporuje horenie a teda teplota vzduchu v blízkosti zdroja požiaru je výrazne väčšia. Zaujímavé je aj celkové prúdenie v hale. Pri prestupe z druhej miestnosti do prvej sa líši trajektória prúdenia v jednotlivých halách. Pre halu s výškou stropu 3 m pozorujeme v 54. s v prvej miestnosti prúdenie pozdĺž priečky smerom k podlahe, potom začne stúpať a stabilizuje sa v približne vodorovnom smere. V hale s výškou 6 m sa oproti tomu dym šíri od priečky k podlahe v približne 45° uhle a potom pod rovnakým uhlom stúpa. V hale s výškou 9 m dym stúpa od priečky v 45° uhle, potom v oblúku klesá a vyrovná svoju trajektóriu do vodorovného smeru.

Protipožiarna zábrana výrazne spomaľuje prestup požiaru do druhej miestnosti iba v prvej hale. Z dôvodu vyššieho stropu sa v halách 2 a 3 vytvárajú mraky dymu, ktoré bez väčšieho zdržania podlezú protipožiarnu prekážku. Dym sa teda ľahšie šíri medzi miestnosťami. Aby bol prestup požiaru dostatočne spomalený pre druhú a tretiu halu, bolo by potrebné zmenšiť priestor medzi protipožiarnou konštrukciou a priečkou oddeľujúcou miestnosti a to zväčšením hĺbky protipožiarnnej konštrukcie alebo zvýšením priečky.



Obr. 30 Simulácia požiaru v hale 1 (hore vľavo), v hale 2 (hore vpravo) a v hale 3 (dole) s posunutým zdrojom požiaru v čase 8 s.

Realizovali sme pre porovnanie 3 obdobné simulácie v halách s posunutým zdrojom požiaru o 2 m doprava. Počas simulácie sme pozorovali podobné črty správania sa požiaru v danej hale ako pri pôvodnom umiestnení zdroji požiaru a to hlavne vrstvenie dymu, turbulentné prúdenie a vplyv protipožiarnnej konštrukcie a priečky na šírenie požiaru medzi miestnosťami (Obr. 30). Keďže bol zdroj požiaru posunutý smerom k priečke, požiar sa dostal do druhej miestnosti vo všetkých troch halách skôr ako pri pôvodnom umiestnení zdroja požiaru (porovnaj Obr. 30 a Obr. 4, Obr. 13 a Obr. 22). Z dôvodu obmedzeného rozsahu

bakalárskej práce nie je možné uviesť detailný popis rozdielov priebehu požiaru a šírenia dymu pri posunutom zdroji požiaru.

5 Záver

V tejto bakalárskej práci sme skúmali dynamiku prúdenia dymu uvoľneného zo zdroja požiaru s tepelným výkonom 650 kW v 3 priemyselných halách s rovnakou geometriou líšiacich sa výškou stropu. Pre požiar takéhoto typu sme pripravili vstupy, definovali spôsob paralelizácie výpočtu, realizovali simulácie pomocou programového systému FDS a vyhodnotili ich výsledky. Výpočty boli vykonané paralelne na výkonnom osobnom počítači na Ústave informatiky SAV v Bratislave. Analýza výsledkov simulácie ukázala, že výška stropu ovplyvňuje výrazne priebeh a dynamiku požiaru a šírenie dymu. Výsledky potvrdili odôvodnenosť zvislých protipožiarnych konštrukcií a oddeľujúcich priečok medzi miestnosťami, ktoré spomaľujú postup požiaru a šírenie dymu medzi zónami. Pre porovnanie sme realizovali simulácie požiaru s rovnakým požiarnym scenárom v identických halách s posunutým zdrojom požiaru. Na dosiahnutie vytýčených cieľov práce sme sa museli vopred oboznámiť s matematickými modelmi implementovanými v počítačovom simulátore požiarov FDS, s metodickými postupmi súvisiacimi s modelovaním požiaru pomocou FDS, ktoré je dôležité uplatniť pri príprave, realizácii a vyhodnocovaní výsledkov simulácie.

Na základe získaných výsledkov, ktoré sme dosiahli, sa potvrdilo, že systém FDS je vhodný prostriedok na simuláciu požiaru a môže byť užitočný za predpokladu použitia kvalifikovaným užívateľom.

Literatúra

- [1] Ansys, C. F. X.: Solver Theory Guide, ANSYS CFX Release 11, ANSYS Inc., 2006
- [2] Blender FDS Documentation http://code.google.com/p/blenderfds/wiki/Wiki_Home (30.4.2014)
- [3] M.A Finney: FARSITE: fire area simulator – model, development and evaluation, Research paper RMRS-RP-4, USDA Forest Service, 1998
- [4] G.P. Forney. Smokeview (Version 6), A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data, Volume I: User's Guide. NIST Special Publication 1017-1, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, May 2013
- [5] J. Glasa, L. Valasek, P. Weisenpacher, L. Halada: Use of PyroSim for simulation of cinema fire, Int. J. on Recent Trends in Engineering and Technology, vol. 7, no. 2, pp. 51-56. ACEEE, New York, USA, 2012

- [6] W. Gropp, E. Lusk, A. Skjellum: Using MPI – Portable Parallel Programming with the Message - Passing Interface. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2nd edition, 1999
- [7] W. Grosshandler: RadCal: A Narrow Band Model for Radiation Calculations in a Combustion Environment. NIST Technical Note 1402, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, 1993
- [8] L. Halada, J. Glasa: Počítačová simulácia lesných požiarov, Civilná ochrana, revue pre civilnú ochranu obyvateľstva, roč. 15, č. 4, str. 39-41, 2013
- [9] L. Halada, P. Weisenpacher, J. Glasa: Počítačová simulácia požiarov v intraviláne, Civilná ochrana, Revue pre civilnú ochranu obyvateľstva, roč. 15, č. 5, str. 49-50, 2013
- [10] K. Hill, J. Dreisbach, F. Joglar, B. Najafi, K. McGrattan, R. Peacock, A. Hamins: Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications, NUREG 1824, United States Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 2007
- [11] L.H. Hu, N. K. Fong: Modelling fire-induced smoke spread and carbon monoxide transportation in a long channel: Fire Dynamics Simulator comparisons with measured data, In: Journal of Hazardous Materials, vol. 140, pp. 293-298, 2007.
- [12] L.H. Hu, Y.Z. Li, R. Huo, H.B. Wang: Smoke Filling Simulation in a Boarding/Arrival Passage of an Airport Terminal Using Multicell Concept, In: Journal of Fire Sciences, Vol. 23, pp. 31-53, 2005
- [13] Ch-H. Hwang, A. Lock, M. Bundy, E. Johnsson, G.H. Ko: Studies on Fire Characteristics in Over- and Underventilated Full-Scale Compartments, In: Journal of Fire Sciences, Vol. 28, pp. 459-486, 2010.
- [14] T. Korhonen, S. Hostikka: Fire Dynamics Simulator with evacuation: FDS+Evac, Technical Reference and User's Guide, VTT Technical Research centre of Finland, 2009
- [15] D. Ling, K. Kan: Numerical Simulations on Fire and Analysis of the Spread Characteristics of Smoke in Supermarket, Communications in Computer and Information Science, Vol. 176, pp. 7-13, DOI: 10.1007978-3-642-21802-6 2, 2011
- [16] K. McGrattan and A. Hamins: Numerical simulation of the Howard street tunnel fire, In: Fire Tech., vol. 42, pp. 273-281, 2006.
- [17] K.B. McGrattan, S. Hostikka, J.E. Floyd, H.R. Baum, R.G. Rehm, W.E. Mell, R. McDermott: Fire Dynamics Simulator (Version 5), Technical Reference Guide, Volume 1: Mathematical Model. NIST Special Publication 1018-5, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, October 2007
- [18] K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd, C. Weinschenk, K. Overholt: Fire Dynamics Simulator (Version 6), User's Guide, NIST Special Publication 1019, 2013
- [19] K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd, C. Weinschenk, K. Overholt: Fire Dynamics Simulator, Technical Reference Guide, Volume 1: Mathematical Model, (6 edition), NIST, Gaithersburg, Maryland, USA, September 2013
- [20] W. Mell: User Guide to WFDS, April 2010
- [21] P. Moin, K. Mahesh: Direct numerical simulation: A tool in turbulence research, Center for Turbulence Research, Stanford University, Stanford, California and NASA Ames Research Center, Moffett Field, California, 1998
- [22] R. D. Peacock, P. A. Reneke, G. P. Forney: CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6), User's Guide, NIST Special Publication 1041r1, December 2012

- [23] S. B. Pope: Ten questions concerning the large-eddy simulation of turbulent flows. *New Journal of Physics*, Vol. 6, pp.1–24, 2004
- [24] D.A. Purser: Toxicity Assessment of Combustion Products (Chapter), In: *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (3rd edition), National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 2002
- [25] R.G. Rehm, H.R. Baum: The Equations of Motion for Thermally Driven, Buoyant Flows, In: *Journal of Research of the NBS*, vol. 83, pp. 297–308, 1978
- [26] R.C.A. Rothermel: A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels, *USDA Forestry Service, Res. INT-115*, 1972
- [27] S. Taylor, E.R. Galea, M. Patel, M. Petridis, B. Knight, J. Ewer: SMARTFIRE: An Integrated Computational Fluid Dynamics Code and Expert System for Fire Field Modelling, FSEG - UNIVERSITY of GREENWICH, 96/IM/15, ISBN1 899991 14 X August 1996
- [28] Thunderhead Engineering: PyroSim: A model construction tool for Fire Dynamics Simulator (FDS), *PyroSim User Manual*, 2008.1, Thunderhead Engineering, Manhattan, USA, 2008
- [29] L. Valášek: Využitie grafického používateľského rozhrania pri simulácii požiaru v stavebnom priestore, *Stavebná fakulta, Slovenská Technická Univerzita, Bratislava*, 2012.
- [30] P. Weisenpacher, J. Glasa and L. Halada: Parallel simulation of automobile interior fire and its spread onto other vehicles, *Proc. of the Int. Congress on Fire Computer Modeling*, Santander, pp. 329-338, 2012.
- [31] G.H. Wu, X. Han, M.Y. Wang, Q. Liu: Simulation Analysis of Smoke Distribution Features for a Theater Fire, In: *Proc. of the Int. Symp. on Innovations and Sustainability of Structures in Civil Engineering*, Vol. 1 and 2, Shanghai, PR China, ,pp. 1153-1159. 2008
- [32] X. Zhang, M. Yang, J. Wang, Y. He: Effects of Computational Domain on Numerical Simulation of Building Fires, In: *Journal of Fire Protection Engineering*, Vol. 20, pp. 225-251, 2010

Príloha

V prílohe uvádzame kompletne vstupné súbory obsahujúce vstupy a výstupy pre jednotlivé simulácie.

Vstupný súbor pre simuláciu požiaru v hale 1

Simulácia požiaru v hale s výškou stropu 3 metre

```
&HEAD CHID='bc_scenar_3m', TITLE='Bc scenar 3m' /
```

```
***** Výpočtová oblasť
```

```
&MESH ID='MRIEZKA1', IJK=60,120,60, XB=0.0,3.0,0.0,6.0,0.0,3.0 /
&MESH ID='MRIEZKA2', IJK=60,120,60, XB=3.0,6.0,0.0,6.0,0.0,3.0 /
&MESH ID='MRIEZKA3', IJK=60,120,60, XB=6.0,9.0,0.0,6.0,0.0,3.0 /
&MESH ID='MRIEZKA4', IJK=60,120,60, XB=9.0,12.0,0.0,6.0,0.0,3.0 /
&MESH ID='MRIEZKA5', IJK=60,120,60, XB=12.0,15.0,0.0,6.0,0.0,3.0 /
&MESH ID='MRIEZKA6', IJK=60,120,60, XB=15.0,18.0,0.0,6.0,0.0,3.0 /
```

```
***** Čas simulácie
```

```
&TIME T_END=60./
```

```
***** Chémia horenia
```

```
&REAC FUEL      = 'ETHYLENE'
      SOOT_YIELD = 0.15 /
```

```
***** Materiálové vlastnosti
```

```
&MATL ID          = 'BETON'
      DENSITY      = 2100.
      CONDUCTIVITY = 1.0
      SPECIFIC_HEAT = 0.88
      EMISSIVITY   = 0.85 /
```

```
&MATL ID          = 'BRANA'
      DENSITY      = 7850.
      CONDUCTIVITY = 45.8
      SPECIFIC_HEAT = 0.46
      EMISSIVITY   = 1.00 /
```

```
***** Povrchové vlastnosti
```

```
&SURF ID          = 'BETON'
      COLOR         = 'TOMATO'
      MATL_ID       = 'BETON'
      THICKNESS     = 0.1 /
```

```
&SURF ID          = 'BRANA'
      COLOR         = 'SILVER'
      MATL_ID       = 'BRANA'
      THICKNESS     = 0.1 /
```

```
&SURF ID          = 'FIRE',
      HRRPUA        = 650,
      COLOR         = 'RED' /
```

```
***** Geometria priestoru
```

```

*****výrobné pulty 1-8
&OBST XB=1.0,2.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=3.0,4.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=5.0,6.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=7.0,8.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=10.0,11.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=12.0,13.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=14.0,15.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=16.0,17.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /

9-14
&OBST XB=1.0,3.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=4.0,5.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=6.0,8.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=10.0,12.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=13.0,14.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=15.0,17.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /

*****zdroj požiaru 15
&OBST XB=2.0,2.5,3.0,4.0,0.0,0.2,
SURF_ID6='FIRE','FIRE','FIRE','INERT','INERT','FIRE' /

*****priečka 16-18
&OBST XB=8.95,9.05,0.0,6.0,2.0,2.2, SURF_ID='BETON' /
&OBST XB=8.95,9.05,0.0,1.5,0.0,2.0, SURF_ID='BETON' /
&OBST XB=8.95,9.05,4.5,6.0,0.0,2.0, SURF_ID='BETON' /

*****protipožiarne prekážka 19
&OBST XB=8.95,9.05,0.0,6.0,2.7,3.0, SURF_ID='BETON' /

*****dvere 20
&OBST XB=8.95,9.05,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

*****dvere 21
&OBST XB=0.0,0.0,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

*****dvere 22
&OBST XB=18.0,18.0,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

*****hranice oblasti
&VENT XB=0.0,0.0,0.0,6.0,0.0,3.0, SURF_ID='BETON' / stena
&VENT XB=18.0,18.0,0.0,6.0,0.0,3.0, SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='YMIN', SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='YMAX', SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='ZMIN', SURF_ID='INERT' / podlaha
&VENT MB='ZMAX', SURF_ID='BETON' / strop

***** Výstupy
*****rezy
&SLCF PB=3.5, QUANTITY='TEMPERATURE' / zvislý rez teploty v rovine y = 3.5
m

```

```

&SLCF PBZ=0.1, QUANTITY='TEMPERATURE' / vodorovný rez teploty v rovine z =
0.1 m
&SLCF PBZ=3.5, QUANTITY='VELOCITY' / zvislý rez rýchlosti v rovine y = 3.5
m
&SLCF PBZ=0.1, QUANTITY='VELOCITY' / vodorovný rez rýchlosti v rovine z =
0.1 m
&SLCF PBZ=3.5, QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='SOOT' / zvislý rez
koncentrácie dymu v rovine y = 3.5 m
&SLCF PBZ=1.65, QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='SOOT' / vodorovný rez
koncentrácia dymu vo výške očí z = 1.65 m

*****bodové hodnoty
&DEVC XYZ=2.25,3.5,3.0, QUANTITY='WALL_TEMPERATURE', IOR=-3,
ID='TEPLOTA_STROPU' / teplota stropu nad zdrojom požiaru v bode (2.25 m, 3.5
m, 3.0 m)
&DEVC XYZ=2.25,3.5,0.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-1' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=2.25,3.5,1.5, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-2' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=2.25,3.5,2.2, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-3' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=2.25,3.5,2.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-4' /
termočlánok v bode XYZ

&DEVC XB=0.0,3.0,0.0,6.0,3.0,3.0, QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
STATISTICS='MAX', ID='wT-max' / maximálne teplota stropu

&TAIL / koniec vstupného súboru

```

Vstupný súbor pre simuláciu požiaru v hale 2

Simulácia požiaru v hale s výškou stropu 6 metrov

```

&HEAD CHID='bc_scenar_6m', TITLE='Bc scenar 6m' /

***** Výpočtová oblasť
&MESH ID='MRIEZKA1', IJK=60,120,120, XB=0.0,3.0,0.0,6.0,0.0,6.0 /
180,120,60
&MESH ID='MRIEZKA2', IJK=60,120,120, XB=3.0,6.0,0.0,6.0,0.0,6.0 /
180,120,30
&MESH ID='MRIEZKA3', IJK=60,120,120, XB=6.0,9.0,0.0,6.0,0.0,6.0 /
180,120,30
&MESH ID='MRIEZKA4', IJK=60,120,120, XB=9.0,12.0,0.0,6.0,0.0,6.0 /
180,120,30
&MESH ID='MRIEZKA5', IJK=60,120,120, XB=12.0,15.0,0.0,6.0,0.0,6.0 /
180,120,30
&MESH ID='MRIEZKA6', IJK=60,120,120, XB=15.0,18.0,0.0,6.0,0.0,6.0 /
180,120,30

***** Čas simulácie
&TIME T_END=60./

***** Chémia horenia
&REAC FUEL = 'ETHYLENE'
      SOOT_YIELD = 0.15 /

***** Materiálové vlastnosti
&MATL ID = 'BETON'

```

```

DENSITY          = 2100.
CONDUCTIVITY     = 1.0
SPECIFIC_HEAT    = 0.88
EMISSION         = 0.85 /

&MATL ID         = 'BRANA'
DENSITY          = 7850.
CONDUCTIVITY     = 45.8
SPECIFIC_HEAT    = 0.46
EMISSION         = 1.00 /

***** Povrchové vlastnosti
&SURF ID         = 'BETON'
COLOR            = 'TOMATO'
MATL_ID          = 'BETON'
THICKNESS        = 0.1 /

&SURF ID         = 'BRANA'
COLOR            = 'SILVER'
MATL_ID          = 'BRANA'
THICKNESS        = 0.1 /

&SURF ID         = 'FIRE',
HRRPUA           = 650,
COLOR            = 'RED' /

***** Geometria priestoru
*****výrobné pulty 1-8
&OBST XB=1.0,2.0,1.0,3.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN',
OUTLINE=.TRUE. /
&OBST XB=3.0,4.0,1.0,3.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN',
OUTLINE=.TRUE. /
&OBST XB=5.0,6.0,1.0,3.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN',
OUTLINE=.TRUE. /
&OBST XB=7.0,8.0,1.0,3.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN',
OUTLINE=.TRUE. /
&OBST XB=10.0,11.0,1.0,3.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN',
OUTLINE=.TRUE./
&OBST XB=12.0,13.0,1.0,3.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN',
OUTLINE=.TRUE./
&OBST XB=14.0,15.0,1.0,3.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN',
OUTLINE=.TRUE./
&OBST XB=16.0,17.0,1.0,3.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN',
OUTLINE=.TRUE./

9-14
&OBST XB=1.0,3.0,4.0,5.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN' /
&OBST XB=4.0,5.0,4.0,5.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN' /
&OBST XB=6.0,8.0,4.0,5.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN' /
&OBST XB=10.0,12.0,4.0,5.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN' /
&OBST XB=13.0,14.0,4.0,5.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN' /
&OBST XB=15.0,17.0,4.0,5.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN' /

*****zdroj požiaru 15
&OBST XB=2.0,2.5,3.0,4.0,0.0,0.2,
SURF_ID6='FIRE','FIRE','FIRE','INERT','INERT','FIRE' /

*****priečka 16-18
&OBST XB=8.95,9.05,0.0,6.0,2.0,2.2, SURF_ID='BETON' /
&OBST XB=8.95,9.05,0.0,1.5,0.0,2.0, SURF_ID='BETON' /
&OBST XB=8.95,9.05,4.5,6.0,0.0,2.0, SURF_ID='BETON' /

```



```

*****protipožiarna prekážka 19
&OBST XB=8.95,9.05,0.0,6.0,5.7,6.0, SURF_ID='BETON' /

*****dvere 20
&OBST XB=8.95,9.05,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

*****dvere 21
&OBST XB=0.0,0.0,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

*****dvere 22
&OBST XB=18.0,18.0,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

*****hranice oblasti
&VENT XB=0.0,0.0,0.0,6.0,0.0,6.0, SURF_ID='BETON' / stena
&VENT XB=18.0,18.0,0.0,6.0,0.0,6.0, SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='YMIN', SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='YMAX', SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='ZMIN', SURF_ID='INERT' / podlaha
&VENT MB='ZMAX', SURF_ID='BETON' / strop

***** Výstupy
*****rezy
&SLCF PBX=3.5, QUANTITY='TEMPERATURE' / zvislý rez teploty v rovine y = 3.5
m
&SLCF PBZ=0.1, QUANTITY='TEMPERATURE' / vodorovný rez teploty v rovine z =
0.1 m
&SLCF PBX=3.5, QUANTITY='VELOCITY' / zvislý rez rýchlosti v rovine y = 3.5
m
&SLCF PBZ=0.1, QUANTITY='VELOCITY' / vodorovný rez rýchlosti v rovine z =
0.1 m
&SLCF PBX=3.5, QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='SOOT' /zvislý rez
koncentrácie dymu v rovine y = 3.5 m
&SLCF PBZ=1.65, QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='SOOT' / vodorovný rez
koncentrácie dymu vo výške očí z = 1.65 m

***** bodové hodnoty
&DEVC XYZ=2.25,3.5,6.0, QUANTITY='WALL_TEMPERATURE', IOR=-3,
ID='TEPLOTA_STROPU' / teplota stropu nad zdrojom požiaru v bode XYZ
&DEVC XYZ=2.25,3.5,0.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-1' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=2.25,3.5,1.5, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-2' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=2.25,3.5,2.2, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-3' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=2.25,3.5,2.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-4' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=2.25,3.5,5.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-5' /
termočlánok v bode XYZ

&DEVC XB=0.0,3.0,0.0,6.0,6.0,6.0, QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
STATISTICS='MAX', ID='wT-max' / maximálna teplota stropu

&TAIL / koniec vstupného súboru

```

Vstupný súbor pre simuláciu požiaru v hale 3

Simulácia požiaru v hale s výškou stropu 9 metrov

&HEAD CHID='bc_scenar_9m', TITLE='Bc scenar 9m' /

***** Výpočtová oblasť

&MESH ID='MRIEZKA1', IJK=60,120,180, XB=0.0,3.0,0.0,6.0,0.0,9.0 /
&MESH ID='MRIEZKA2', IJK=60,120,180, XB=3.0,6.0,0.0,6.0,0.0,9.0 /
&MESH ID='MRIEZKA3', IJK=60,120,180, XB=6.0,9.0,0.0,6.0,0.0,9.0 /
&MESH ID='MRIEZKA4', IJK=60,120,180, XB=9.0,12.0,0.0,6.0,0.0,9.0 /
&MESH ID='MRIEZKA5', IJK=60,120,180, XB=12.0,15.0,0.0,6.0,0.0,9.0 /
&MESH ID='MRIEZKA6', IJK=60,120,180, XB=15.0,18.0,0.0,6.0,0.0,9.0 /

***** Čas simulácie

&TIME T_END=60./

***** Chémia horenia

&REAC FUEL = 'ETHYLENE'
SOOT_YIELD = 0.15 /

***** Materiálové vlastnosti

&MATL ID = 'BETON'
DENSITY = 2100.
CONDUCTIVITY = 1.0
SPECIFIC_HEAT = 0.88
EMISSIVITY = 0.85 /

&MATL ID = 'BRANA'
DENSITY = 7850.
CONDUCTIVITY = 45.8
SPECIFIC_HEAT = 0.46
EMISSIVITY = 1.00 /

***** Povrchové vlastnosti

&SURF ID = 'BETON'
COLOR = 'TOMATO'
MATL_ID = 'BETON'
THICKNESS = 0.1 /

&SURF ID = 'BRANA'
COLOR = 'SILVER'
MATL_ID = 'BRANA'
THICKNESS = 0.1 /

&SURF ID = 'FIRE',
HRRPUA = 650,
COLOR = 'RED' /

***** Geometria priestoru

*****výrobné pulty 1-8

&OBST XB=1.0,2.0,1.0,3.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN',
OUTLINE=.TRUE. /
&OBST XB=3.0,4.0,1.0,3.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN',
OUTLINE=.TRUE. /
&OBST XB=5.0,6.0,1.0,3.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN',
OUTLINE=.TRUE. /
&OBST XB=7.0,8.0,1.0,3.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN',
OUTLINE=.TRUE. /
&OBST XB=10.0,11.0,1.0,3.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN',
OUTLINE=.TRUE. /
&OBST XB=12.0,13.0,1.0,3.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN',
OUTLINE=.TRUE. /

```

&OBST XB=14.0,15.0,1.0,3.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN',
OUTLINE=.TRUE. /
&OBST XB=16.0,17.0,1.0,3.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN',
OUTLINE=.TRUE. /

9-14
&OBST XB=1.0,3.0,4.0,5.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN' /
&OBST XB=4.0,5.0,4.0,5.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN' /
&OBST XB=6.0,8.0,4.0,5.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN' /
&OBST XB=10.0,12.0,4.0,5.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN' /
&OBST XB=13.0,14.0,4.0,5.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN' /
&OBST XB=15.0,17.0,4.0,5.0,0.0,0.9, SURF_ID='INERT', COLOR='BROWN' /

*****zdroj požiaru 15
&OBST XB=2.0,2.5,3.0,4.0,0.0,0.2,
SURF_ID6='FIRE','FIRE','FIRE','INERT','INERT','FIRE' /

*****priečka 16-18
&OBST XB=8.95,9.05,0.0,6.0,2.0,2.2, SURF_ID='BETON' /
&OBST XB=8.95,9.05,0.0,1.5,0.0,2.0, SURF_ID='BETON' /
&OBST XB=8.95,9.05,4.5,6.0,0.0,2.0, SURF_ID='BETON' /

*****protipožiarna prekážka 19
&OBST XB=8.95,9.05,0.0,6.0,8.7,9.0, SURF_ID='BETON' /

*****dvere 20
&OBST XB=8.95,9.05,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

*****dvere 21
&OBST XB=0.0,0.0,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

*****dvere 22
&OBST XB=18.0,18.0,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

*****hranice oblasti
&VENT XB=0.0,0.0,0.0,6.0,0.0,9.0, SURF_ID='BETON' / stena
&VENT XB=18.0,18.0,0.0,6.0,0.0,9.0, SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='YMIN', SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='YMAX', SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='ZMIN', SURF_ID='INERT' / podlaha
&VENT MB='ZMAX', SURF_ID='BETON' / strop

***** Výstupy
*****rezy
&SLCF PBX=3.5, QUANTITY='TEMPERATURE' / zvislý rez teploty v rovine y = 3.5
m
&SLCF PBZ=0.1, QUANTITY='TEMPERATURE' / vodorovný rez teploty v rovine z =
0.1 m
&SLCF PBX=3.5, QUANTITY='VELOCITY' / zvislý rez rýchlosti v rovine y = 3.5
m
&SLCF PBZ=0.1, QUANTITY='VELOCITY' / vodorovný rez rýchlosti v rovine z =
0.1 m
&SLCF PBX=3.5, QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='SOOT' / zvislý rez
koncentrácie dymu v rovine y = 3.5 m
&SLCF PBZ=1.65, QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='SOOT' / vodorovný rez
koncentrácia dymu vo výške očí z = 1.65 m

*****bodové hodnoty
&DEVC XYZ=2.25,3.5,9.0, QUANTITY='WALL_TEMPERATURE', IOR=-3,
ID='TEPLOTA_STROPU' / teplota stropu nad zdrojom požiaru v bode (2.25 m, 3.5
m, 9.0 m)

```

```

&DEVC XYZ=2.25,3.5,0.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-1' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=2.25,3.5,1.5, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-2' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=2.25,3.5,2.2, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-3' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=2.25,3.5,2.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-4' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=2.25,3.5,5.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-5' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=2.25,3.5,8.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-6' /
termočlánok v bode XYZ

&DEVC XB=0.0,3.0,0.0,6.0,9.0,9.0, QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
STATISTICS='MAX', ID='wT-max' / maximálna teplota stropu

&TAIL / Koniec vstupného súboru

```

Vstupný súbor pre halu 1 s posunutým zdrojom požiaru

Simulácia požiaru v hale s výškou stropu 3 metre
posunutý ZP
zmenené výstupy

```

&HEAD CHID='bc_scenar_3m', TITLE='Bc scenar 3m' /

&MESH ID='MRIEZKA1', IJK=60,120,60, XB=0.0,3.0,0.0,6.0,0.0,3.0 /
&MESH ID='MRIEZKA2', IJK=60,120,60, XB=3.0,6.0,0.0,6.0,0.0,3.0 /
&MESH ID='MRIEZKA3', IJK=60,120,60, XB=6.0,9.0,0.0,6.0,0.0,3.0 /
&MESH ID='MRIEZKA4', IJK=60,120,60, XB=9.0,12.0,0.0,6.0,0.0,3.0 /
&MESH ID='MRIEZKA5', IJK=60,120,60, XB=12.0,15.0,0.0,6.0,0.0,3.0 /
&MESH ID='MRIEZKA6', IJK=60,120,60, XB=15.0,18.0,0.0,6.0,0.0,3.0 /

***** Čas simulácie
&TIME T_END=60./

***** Chémia horenia
&REAC FUEL      = 'ETHYLENE'
      SOOT_YIELD = 0.15 /

***** Materiálové vlastnosti

&MATL ID          = 'BETON'
      DENSITY      = 2100.
      CONDUCTIVITY = 1.0
      SPECIFIC_HEAT = 0.88
      EMISSIVITY   = 0.85 /

&MATL ID          = 'BRANA'
      DENSITY      = 7850.
      CONDUCTIVITY = 45.8
      SPECIFIC_HEAT = 0.46
      EMISSIVITY   = 1.00 /

***** Povrchové vlastnosti
&SURF ID          = 'BETON'
      COLOR        = 'TOMATO'

```

```

        MATL_ID          = 'BETON'
        THICKNESS        = 0.1 /

&SURF ID                = 'BRANA'
        COLOR            = 'SILVER'
        MATL_ID          = 'BRANA'
        THICKNESS        = 0.1 /

&SURF ID                = 'FIRE',
        HRRPUA           = 650,
        COLOR            = 'RED' /

```

***** Geometria priestoru

*****výrobné pulty 1-8

```

&OBST XB=1.0,2.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=3.0,4.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=5.0,6.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=7.0,8.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=10.0,11.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=12.0,13.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=14.0,15.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=16.0,17.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /

```

9-14

```

&OBST XB=1.0,3.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=4.0,5.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=6.0,8.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=10.0,12.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=13.0,14.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=15.0,17.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /

```

*****zdroj požiaru 15

```

&OBST XB=4.0,4.5,3.0,4.0,0.0,0.2,
SURF_ID6='FIRE','FIRE','FIRE','INERT','INERT','FIRE' /

```

*****priečka 16-18

```

&OBST XB=8.95,9.05,0.0,6.0,2.0,2.2, SURF_ID='BETON' /
&OBST XB=8.95,9.05,0.0,1.5,0.0,2.0, SURF_ID='BETON' /
&OBST XB=8.95,9.05,4.5,6.0,0.0,2.0, SURF_ID='BETON' /

```

*****protipožiarna prekážka 19

```

&OBST XB=8.95,9.05,0.0,6.0,8.7,9.0, SURF_ID='BETON' /

```

*****dvere 20

```

&OBST XB=8.95,9.05,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

```

*****dvere 21

```

&OBST XB=0.0,0.0,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

```

*****dvere 22

```

&OBST XB=18.0,18.0,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

```

```

*****hranice oblasti
&VENT XB=0.0,0.0,0.0,6.0,0.0,9.0, SURF_ID='BETON' / stena
&VENT XB=18.0,18.0,0.0,6.0,0.0,9.0, SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='YMIN', SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='YMAX', SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='ZMIN', SURF_ID='INERT' / podlaha
&VENT MB='ZMAX', SURF_ID='BETON' / strop

***** Výstupy
*****rezy
&SLCF PBZ=3.5, QUANTITY='TEMPERATURE' / zvislý rez teploty v rovine y = 3.5
m
&SLCF PBZ=0.1, QUANTITY='TEMPERATURE' / vodorovný rez teploty v rovine z =
0.1 m
&SLCF PBY=3.5, QUANTITY='VELOCITY' / zvislý rez rýchlosti v rovine y = 3.5
m
&SLCF PBZ=0.1, QUANTITY='VELOCITY' / vodorovný rez rýchlosti v rovine z =
0.1 m
&SLCF PBY=3.5, QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='SOOT' / zvislý rez
koncentrácie dymu v rovine y = 3.5 m
&SLCF PBZ=1.65, QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='SOOT' / vodorovný rez
koncentrácia dymu vo výške očí z = 1.65 m

*****bodové hodnoty
&DEVC XYZ=4.25,3.5,3.0, QUANTITY='WALL_TEMPERATURE', IOR=-3,
ID='TEPLOTA_STROPU' / teplota stropu nad zdrojom požiaru v bode (4.25 m, 3.5
m, 3.0 m)
&DEVC XYZ=4.25,3.5,0.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-1' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=4.25,3.5,1.5, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-2' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=4.25,3.5,2.2, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-3' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=4.25,3.5,2.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-4' /
termočlánok v bode XYZ

&DEVC XB=3.0,6.0,0.0,3.0,3.0,3.0, QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
STATISTICS='MAX', ID='wT-max' / maximálna teplota stropu

&TAIL / Koniec vstupného súboru

```

Vstupný súbor pre halu 2 s posunutým zdrojom požiaru

Simulácia požiaru v hale s výškou stropu 6 metrov
posunutý ZP
zmenené výstupy

```

&HEAD CHID='bc_scenar_6m', TITLE='Bc scenar 6m' /

&MESH ID='MRIEZKA1', IJK=60,120,120, XB=0.0,3.0,0.0,6.0,0.0,6.0 /
&MESH ID='MRIEZKA2', IJK=60,120,120, XB=3.0,6.0,0.0,6.0,0.0,6.0 /
&MESH ID='MRIEZKA3', IJK=60,120,120, XB=6.0,9.0,0.0,6.0,0.0,6.0 /
&MESH ID='MRIEZKA4', IJK=60,120,120, XB=9.0,12.0,0.0,6.0,0.0,6.0 /
&MESH ID='MRIEZKA5', IJK=60,120,120, XB=12.0,15.0,0.0,6.0,0.0,6.0 /
&MESH ID='MRIEZKA6', IJK=60,120,120, XB=15.0,18.0,0.0,6.0,0.0,6.0 /

***** Čas simulácie
&TIME T_END=60./

***** Chémia horenia
&REAC FUEL = 'ETHYLENE'

```

```

SOOT_YIELD = 0.15 /

***** Materiálové vlastnosti

&MATL ID          = 'BETON'
  DENSITY          = 2100.
  CONDUCTIVITY     = 1.0
  SPECIFIC_HEAT    = 0.88
  EMISSIVITY       = 0.85 /

&MATL ID          = 'BRANA'
  DENSITY          = 7850.
  CONDUCTIVITY     = 45.8
  SPECIFIC_HEAT    = 0.46
  EMISSIVITY       = 1.00 /

***** Povrchové vlastnosti

&SURF ID          = 'BETON'
  COLOR            = 'TOMATO'
  MATL_ID          = 'BETON'
  THICKNESS        = 0.1 /

&SURF ID          = 'BRANA'
  COLOR            = 'SILVER'
  MATL_ID          = 'BRANA'
  THICKNESS        = 0.1 /

&SURF ID          = 'FIRE',
  HRRPUA           = 650,
  COLOR            = 'RED' /

***** Geometria priestoru
*****výrobné pulty 1-8
&OBST XB=1.0,2.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=3.0,4.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=5.0,6.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=7.0,8.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=10.0,11.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=12.0,13.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=14.0,15.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=16.0,17.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /

9-14
&OBST XB=1.0,3.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=4.0,5.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=6.0,8.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=10.0,12.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=13.0,14.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=15.0,17.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /

*****zdroj požiaru 15

```

```

&OBST XB=4.0,4.5,3.0,4.0,0.0,0.2,
SURF_ID6='FIRE','FIRE','FIRE','INERT','INERT','FIRE' /

*****priečka 16-18
&OBST XB=8.95,9.05,0.0,6.0,2.0,2.2, SURF_ID='BETON' /
&OBST XB=8.95,9.05,0.0,1.5,0.0,2.0, SURF_ID='BETON' /
&OBST XB=8.95,9.05,4.5,6.0,0.0,2.0, SURF_ID='BETON' /

*****protipožiarna prekážka 19
&OBST XB=8.95,9.05,0.0,6.0,8.7,9.0, SURF_ID='BETON' /

*****dvere 20
&OBST XB=8.95,9.05,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

*****dvere 21
&OBST XB=0.0,0.0,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

*****dvere 22
&OBST XB=18.0,18.0,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

*****hranice oblasti
&VENT XB=0.0,0.0,0.0,6.0,0.0,9.0, SURF_ID='BETON' / stena
&VENT XB=18.0,18.0,0.0,6.0,0.0,9.0, SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='YMIN', SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='YMAX', SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='ZMIN', SURF_ID='INERT' / podlaha
&VENT MB='ZMAX', SURF_ID='BETON' / strop

***** Výstupy
*****rezy
&SLCF PBX=3.5, QUANTITY='TEMPERATURE' / zvislý rez teploty v rovine y = 3.5
m
&SLCF PBZ=0.1, QUANTITY='TEMPERATURE' / vodorovný rez teploty v rovine z =
0.1 m
&SLCF PBX=3.5, QUANTITY='VELOCITY' / zvislý rez rýchlosti v rovine y = 3.5
m
&SLCF PBZ=0.1, QUANTITY='VELOCITY' / vodorovný rez rýchlosti v rovine z =
0.1 m
&SLCF PBX=3.5, QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='SOOT' / zvislý rez
koncentrácie dymu v rovine y = 3.5 m
&SLCF PBZ=1.65, QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='SOOT' / vodorovný rez
koncentrácia dymu vo výške očí z = 1.65 m

*****bodové hodnoty
&DEVC XYZ=4.25,3.5,6.0, QUANTITY='WALL_TEMPERATURE', IOR=-3,
ID='TEPLOTA_STROPU'/ teplota stropu nad zdrojom požiaru v bode (4.25 m, 3.5
m, 6.0 m)
&DEVC XYZ=4.25,3.5,0.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-1' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=4.25,3.5,1.5, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-2' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=4.25,3.5,2.2, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-3' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=4.25,3.5,2.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-4' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=4.25,3.5,5.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-5' /
termočlánok v bode XYZ

&DEVC XB=3.0,6.0,0.0,6.0,6.0,6.0, QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
STATISTICS='MAX', ID='wT-max' / maximálna teplota stropu

```


&TAIL / Koniec vstupného súboru

Vstupný súbor pre halu 3 s posunutým zdrojom požiaru

Simulácia požiaru v hale s výškou stropu 9 metrov

posunutý zdroj požiaru

zmenené výstupy

&HEAD CHID='bc_scenar_9m', TITLE='Bc scenar 9m' /

&MESH ID='MRIEZKA1', IJK=60,120,180, XB=0.0,3.0,0.0,6.0,0.0,9.0 /

&MESH ID='MRIEZKA2', IJK=60,120,180, XB=3.0,6.0,0.0,6.0,0.0,9.0 /

&MESH ID='MRIEZKA3', IJK=60,120,180, XB=6.0,9.0,0.0,6.0,0.0,9.0 /

&MESH ID='MRIEZKA4', IJK=60,120,180, XB=9.0,12.0,0.0,6.0,0.0,9.0 /

&MESH ID='MRIEZKA5', IJK=60,120,180, XB=12.0,15.0,0.0,6.0,0.0,9.0 /

&MESH ID='MRIEZKA6', IJK=60,120,180, XB=15.0,18.0,0.0,6.0,0.0,9.0 /

***** Čas simulácie

&TIME T_END=60./

***** Chémia horenia

&REAC FUEL = 'ETHYLENE'

SOOT_YIELD = 0.15 /

***** Materiálové vlastnosti

&MATL ID = 'BETON'

DENSITY = 2100.

CONDUCTIVITY = 1.0

SPECIFIC_HEAT = 0.88

EMISSIVITY = 0.85 /

&MATL ID = 'BRANA'

DENSITY = 7850.

CONDUCTIVITY = 45.8

SPECIFIC_HEAT = 0.46

EMISSIVITY = 1.00 /

***** Povrchové vlastnosti

&SURF ID = 'BETON'

COLOR = 'TOMATO'

MATL_ID = 'BETON'

THICKNESS = 0.1 /

&SURF ID = 'BRANA'

COLOR = 'SILVER'

MATL_ID = 'BRANA'

THICKNESS = 0.1 /

&SURF ID = 'FIRE',

HRRPUA = 650,

COLOR = 'RED' /

***** Geometria priestoru

*****výrobné pulty 1-8

&OBST XB=1.0,2.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,

SURF_ID='INERT' /

&OBST XB=3.0,4.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,

SURF_ID='INERT' /

```

&OBST XB=5.0,6.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=7.0,8.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=10.0,11.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=12.0,13.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=14.0,15.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=16.0,17.0,1.0,3.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='INERT' /

9-14
&OBST XB=1.0,3.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=4.0,5.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=6.0,8.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=10.0,12.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=13.0,14.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=15.0,17.0,4.0,5.0,0.0,0.9, COLOR='BROWN', SURF_ID='INERT' /

*****zdroj požiaru 15
&OBST XB=4.0,4.5,3.0,4.0,0.0,0.2,
SURF_ID6='FIRE','FIRE','FIRE','INERT','INERT','FIRE' /

*****priečka 16-18
&OBST XB=8.95,9.05,0.0,6.0,2.0,2.2, SURF_ID='BETON' /
&OBST XB=8.95,9.05,0.0,1.5,0.0,2.0, SURF_ID='BETON' /
&OBST XB=8.95,9.05,4.5,6.0,0.0,2.0, SURF_ID='BETON' /

*****protipožiarna prekážka 19
&OBST XB=8.95,9.05,0.0,6.0,8.7,9.0, SURF_ID='BETON' /

*****dvere 20
&OBST XB=8.95,9.05,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

*****dvere 21
&OBST XB=0.0,0.0,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

*****dvere 22
&OBST XB=18.0,18.0,1.5,4.5,0.0,2.0, SURF_ID='BRANA' /

*****hranice oblasti
&VENT XB=0.0,0.0,0.0,6.0,0.0,9.0, SURF_ID='BETON' / stena
&VENT XB=18.0,18.0,0.0,6.0,0.0,9.0, SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='YMIN', SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='YMAX', SURF_ID='BETON' / stena
&VENT MB='ZMIN', SURF_ID='INERT' / podlaha
&VENT MB='ZMAX', SURF_ID='BETON' / strop

***** Výstupy
*****rezy
&SLCF PBX=3.5, QUANTITY='TEMPERATURE' / zvislý rez teploty v rovine y = 3.5
m
&SLCF PBZ=0.1, QUANTITY='TEMPERATURE' / vodorovný rez teploty v rovine z =
0.1 m
&SLCF PBX=3.5, QUANTITY='VELOCITY' / zvislý rez rýchlosti v rovine y = 3.5
m
&SLCF PBZ=0.1, QUANTITY='VELOCITY' / vodorovný rez rýchlosti v rovine z =
0.1 m

```

```

&SLCF PBY=3.5, QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='SOOT' / zvislý rez
koncentrácie dymu v rovine y = 3.5 m
&SLCF PBZ=1.65, QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='SOOT' / vodorovný rez
koncentrácia dymu vo výške očí z = 1.65 m

*****bodové hodnoty
&DEVC XYZ=4.25,3.5,9.0, QUANTITY='WALL_TEMPERATURE', IOR=-3,
ID='TEPLOTA_STROPU'/ teplota stropu nad zdrojom požiaru v bode (4.25 m, 3.5
m, 9.0 m)
&DEVC XYZ=4.25,3.5,0.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-1' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=4.25,3.5,1.5, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-2' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=4.25,3.5,2.2, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-3' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=4.25,3.5,2.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-4' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=4.25,3.5,5.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-5' /
termočlánok v bode XYZ
&DEVC XYZ=4.25,3.5,8.9, QUANTITY = 'THERMOCOUPLE', ID = 'TC-6' /
termočlánok v bode XYZ

&DEVC XB=3.0,6.0,0.0,6.0,9.0,9.0, QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
STATISTICS='MAX', ID='wT-max' / maximálna teplota stropu

&TAIL / Koniec vstupného súboru

```