

**Otto DVOŘÁK¹, Jan ANGELIS², Tomáš KUNDRATA³,
Hana MATHEISLOVÁ⁴, Petra BURSÍKOVÁ⁵, Milan JAHODA⁶**

POČÍTAČOVÉ MODELOVÁNÍ POŽÁRNÍ ZKOUŠKY V MOKRSKU

COMPUTER - SIMULATION OF A FIRE TEST IN MOKRSKO

Abstrakt

Článek popisuje modelování požární zkoušky v Mokrsku, kterou provedla stavební fakulta ČVUT. Požární zkouška byla matematicky modelována pomocí programů Smartfire a Fire Dynamic Simulator s nadstavbou Pyrosim. Výsledkem je pak srovnání naměřených dat s daty vypočítaných z pomoci těchto programů. Zároveň jsou porovnány oba programy mezi sebou.

Klíčová slova: matematické modelování, požární zkouška, Mokrsko, Smartfire, FDS, Pyrosim.

Abstract

The article describes the modeling of a fire test in Mokrsko conducted by the Faculty of Civil Engineering. The Fire test was mathematically modeled using the programs Smartfire and Fire Dynamic Simulator with Pyrosim. The result is then compared to measured data with data calculated from using these programs. At the same time the two programs are compared with each other.

Key words: mathematical modelling, fire test, Mokrsko, Smartfire, FDS, Pyrosim.

Úvod

Hlavním cílem zkoušky bylo ověření předpovědi chování konstrukce administrativní budovy vystavené požáru. Kromě požární odolnosti tří stropních konstrukčních systémů se zkoušelo šest řešení obvodových pláštěů [1]. Požární zkouška v Mokrsku dne 18. 9. 2008 v objektu o velikosti (18x12x4) m. Na jedné z delších stěn jsou umístěny 2 okna o výšce 2,54 m a šířce 4,2 m. V požárním úseku bylo rozmístěno 50 hranic dřeva po 12 vrstvách s 10 ks hranolků o rozměrech (50x50x1000) mm v každé vrstvě. Požární zatížení bylo cca 35,5 kg dřeva.m⁻², což odpovídá asi 620 MJ.m⁻². Výhřevnost dřeva vyšla z experimentálních zkoušek průměrná hodnota 18,6 MJ.kg⁻¹. Podrobnosti popisu experimentálního objektu, viz [1, 2]. Velikost výkonu (120 kW.m⁻²) byla vypočítána z množství spáleného materiálu. Tvar teplotní křivky byl odvozen z teplotního průběhu a literatury. Tato hodnota též odpovídala naměřeným hodnotám radiometrů.

¹ Ing., Ph.D., MV - GŘ HZS ČR, Technický ústav PO, Písková 42, 143 01 Praha 4 - Modřany, e-mail: odvorak@mvcv.cz

² Ing., MV - GŘ HZS ČR, Technický ústav PO, Písková 42, 143 01 Praha 4 - Modřany, e-mail: anglisjan@mvcv.cz

³ MV - GŘ HZS ČR, Technický ústav požární ochrany, Písková 42, 143 01 Praha 4 - Modřany

⁴ Ing., Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6, e-mail: hana.matheislova@vscht.cz

⁵ Ing., MV - GŘ HZS ČR, Technický ústav požární ochrany, Písková 42, 143 01 Praha 4 - Modřany, e-mail: bursikop@mvcv.cz

⁶ MV - GŘ HZS ČR, Technický ústav požární ochrany, Písková 42, 143 01 Praha 4 - Modřany

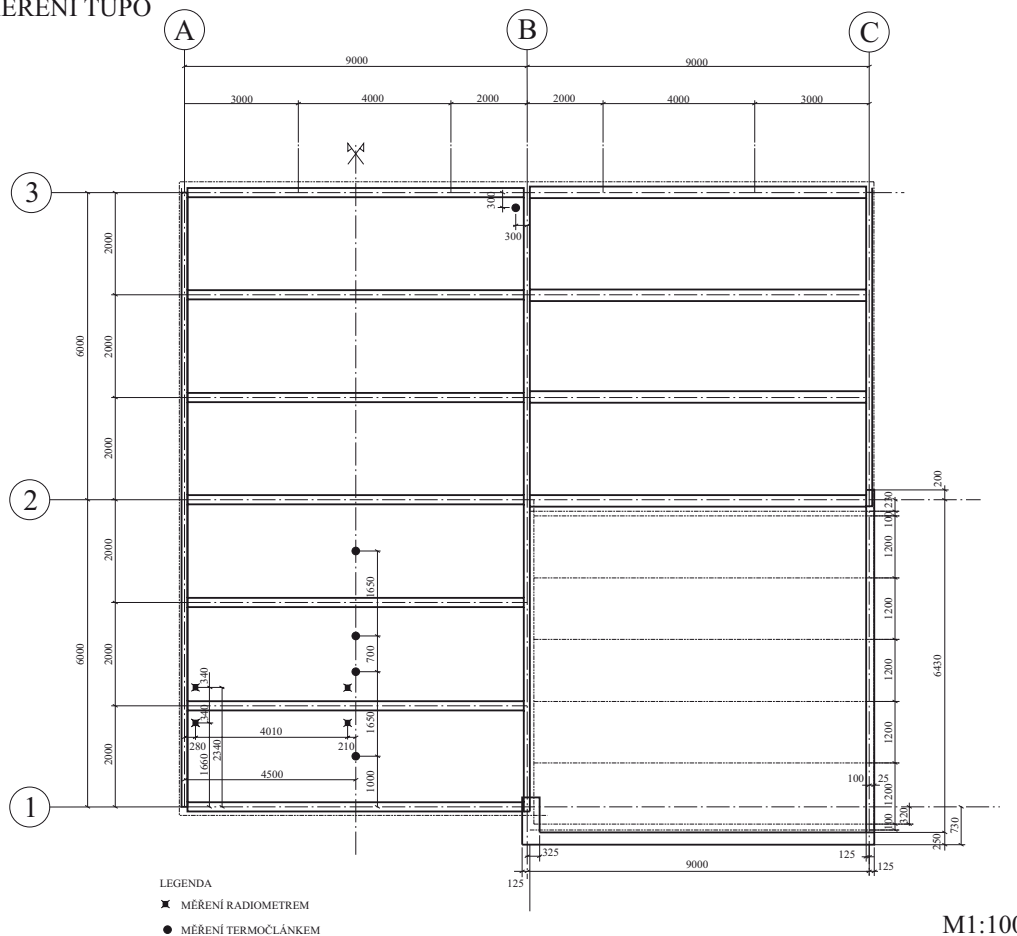
Technický ústav PO Praha byl požádán o měření/stanovení:

- zpětného sálání vybraných kovových konstrukcí,
- teplotního profilu ve vybraných pozicích,
- rychlosti proudění ovzduší v okně,
- vzorkování a analýza ovzduší na obsah toxikantů,
- efektivní výhřevnosti dřeva.

Schéma měření přístroji TÚPO je vyznačeno na Obr. 1. Výsledky z těchto měření pak slouží pro porovnání s modelovými daty. Teploty ovzduší ve °C byly snímány pomocí 11 ks plášťovaných termočlánků typu K v pozicích vyznačených T1 až T11, z nichž:

- 4 ks byly umístěny ve vzdálenosti horkého konce 50 cm od stropu v pravé zadní části experimentálního objektu, pozice T5 až T8,
- 3 ks byly umístěny na svislici u sloupku mezi levým a pravým oknem, u čelní stěny objektu ve vzdálenostech horkého konce 30 cm, 50 cm a 180 cm od stropu, pozice T2 až T4 a čtvrtý termočlánek byl situován horkým koncem u povrchu stropu, pozice T1, poslední 3 ks byly umístěny v blízkosti ústí 3 ks Pitotových trubic (měření rychlosti proudění) v levém okně (z čelního pohledu) ve vzdálenostech horkého konce 50 cm od levého okraje a od dolního okraje okna 40 cm (pozice T9), 120 cm (pozice T10) a 200 cm (pozice T11) viz obrázek 1.

MĚŘENÍ TUPO



Obrázek 1: Schéma umístění měřicích přístrojů TÚPO

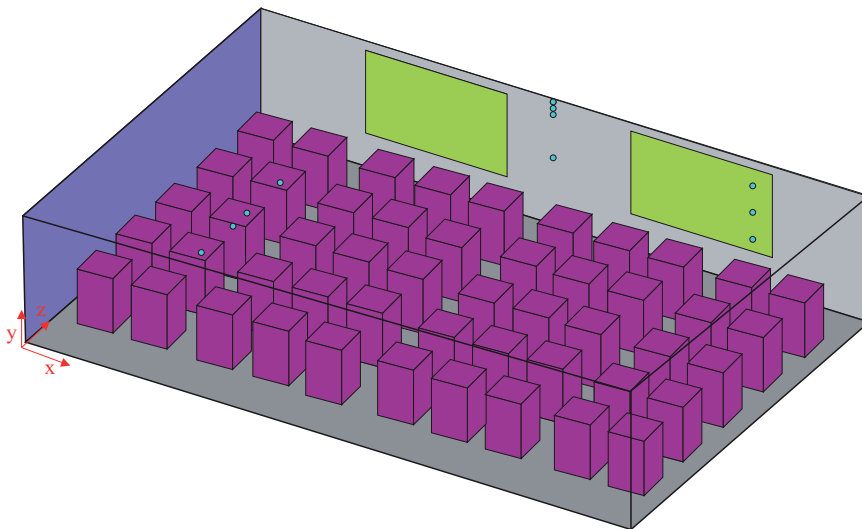
1. Specifikace požární zkoušky v programu SmartFire

Úloha byla řešena programem Smartfire v4.1 instalovaným na počítači s dvěma procesory Dual-Core AMD Opteron 2,00 GHz a s pamětí 8 GB a operačním systémem Windows XP 64bit. Smartfire v4.1 využívá pro řešení proudění model k - Standardní k - ε model se vztlakovým členem použitým s bezrozměrnými koeficienty uvedenými v tabulce:

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \nabla(\rho U \varepsilon) - \nabla \left(\left(\mu_L + \frac{C_{\mu} \rho k^2}{\sigma_{\varepsilon}} \right) \nabla \varepsilon \right) = C_1 \frac{\varepsilon}{k} (P + C_3 \max(G, 0)) - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k}$$

C_{μ}	σ_k	σ_{ε}	$C_{1\varepsilon}$	$C_{2\varepsilon}$	C_3
0,09	1,0	1,3	1,44	1,92	1,0

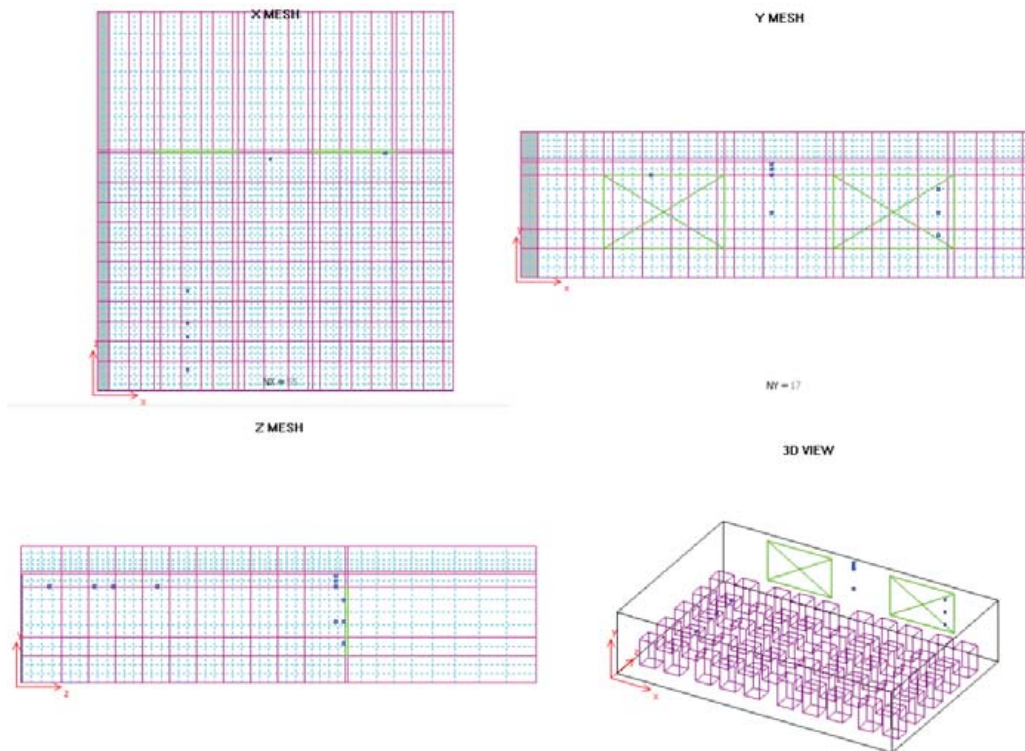
Pro modelování radiace byl použit model Multiple Ray se 48 paprsky (tj. radiační záření do 48 směrů). Model hoření nebyl zadán a požár se počítal přes výkon tedy bez modelu chemické reakce. Z toho plyne, že též nebyl řešen model toxicity. Rychlost uvolňování tepla Q je u všech zdrojů hoření (hranic dřeva) uvažována lineárně rostoucí od počátku do konce simulace (tj. do 3720. s). Maximálního výkonu je tak dosaženo na konci simulace a tato hodnota je 720 kW. Výsledky jsou uvedeny ve formě časových závislostí teploty v místech odpovídajících umístění termočlánků během požární zkoušky. Náhled geometrie počítané programem Smartfire je vidět na následujícím Obrázku 2.



Obrázek 2: Geometrie objektu v Mokrsku v programu Smartfire

Počáteční hodnoty a okrajové podmínky byly zvoleny takto: všechny stěny a strop jsou uvažovány jako nevodivé objekty. Za stěnami s okny zvenjšku je definován přidavný prostor pro zajištění správné simulace proudění vzduchu skrz dveře a okno. Počáteční rychlost ve všech směrech byla nulová. Počáteční tlak 101,3 kPa a počáteční teplota 15 °C.

Výpočetní síť byla vytvořena pomocí integrovaného generátoru sítě a skládala se z 43010 buněk (55x17x46) - obrázek sítě viz obrázek 3.

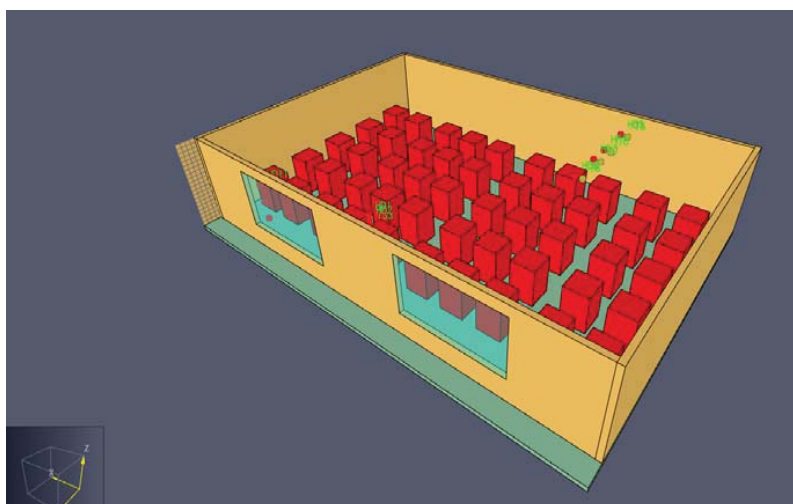


Obrázek 3: Schéma numerické sítě v programu Smartfire

Řešení úlohy bylo časově závislé s celkovým počtem časových kroků 3720 s z toho jeden časový krok byl 1 s. Počet iterací mezi jednotlivými časovými kroky bylo nastaveno na hodnotu 50. Konvergence proměnných během iterace klesala pod 10 - 4. Výpočet proběhl na 3 procesorových jádrech a doba jedné iterace trvala 4,68 s.

2. Specifikace úlohy v FDS/Pyrosim

Úloha Mokrsko byla počítána v FDS v5.4.3 a s Pyrosimem 2010.1 instalovaným na operačním systému Windows XP 32bit s dvěma Dual-Core AMD Opteron 2,00 GHz a pamětí 8 GB RAM (alokovaných 2,92 GB RAM). Geometrie místnosti byla stejná jako geometrie ve Smartfire viz obrázek 4.



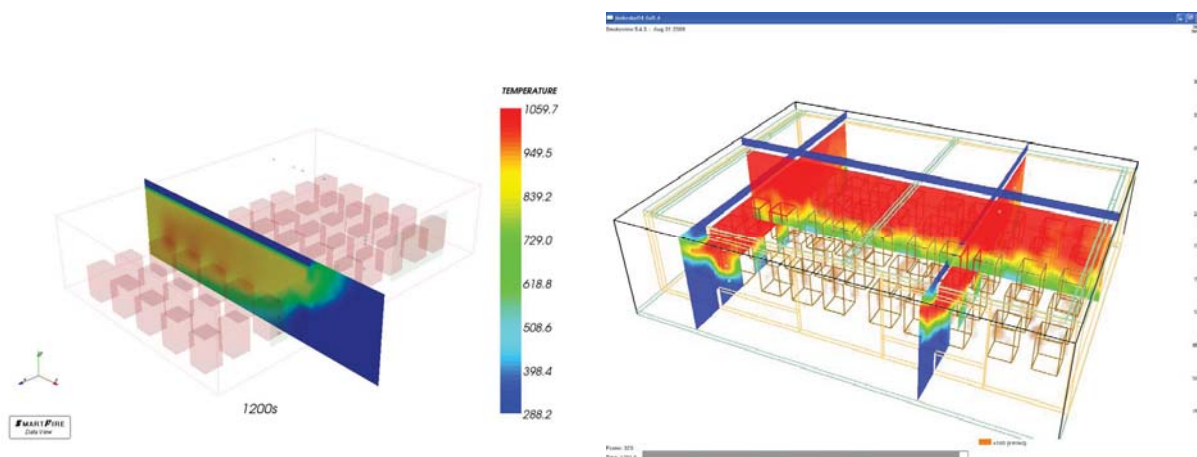
Obrázek 4: Geometrie objektu v Mokrsku v programu FDS

Vzhledem k velikosti modelu a numerické náročnosti byl použit pro modelování proudění a turbulence model simulace velkých vírů (LES). Pro řešení radiace byl použit základní model „Enable Radiation Transport Solver“.

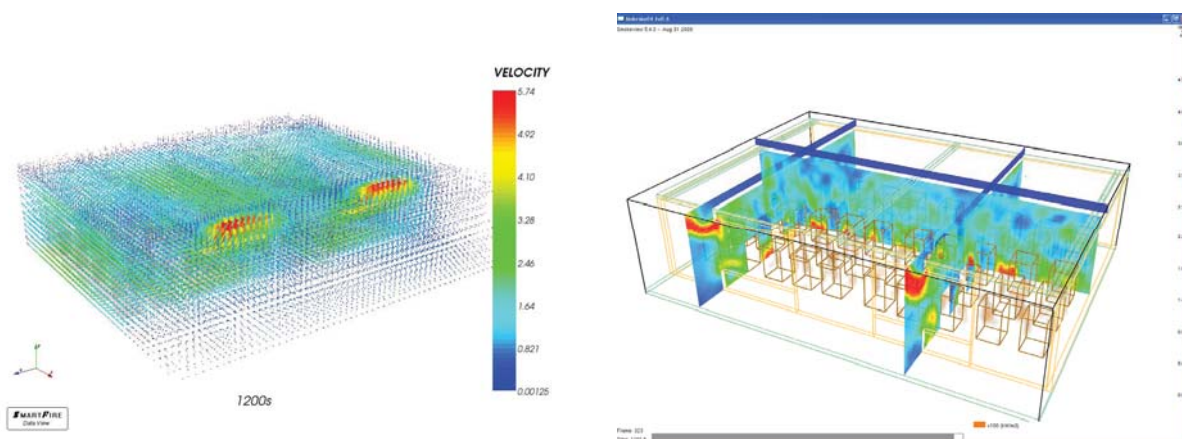
Časový průběh rychlosti uvolňování tepla Q , který byl uvažován během simulace jako lineárně rostoucí maximem s v 3720 vteřině, kde výkon dosahoval $120 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Počáteční hodnoty a okrajové podmínky byly zvoleny stejně jako u programu Smartfire. Počáteční rychlost proudění nulová ve všech směrech, atmosférický tlak 101,3 kPa a teplota $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Všechny stěny a strop jsou uvažovány jako nevodivé objekty. Před okny a nad stropem zvnějšku jsou definovány volné prostory pro zajištění správné simulace proudění vzduchu. Numerická síť sestává z 156 560 buněk ($92 \times 70 \times 24$) o rozměru buňky ($0,2 \times 0,2 \times 0,2$) m. Během simulace bylo provedeno 193 335 časových kroků s celkovou dobou výpočtu 129,22 hodin.

3. Výsledky

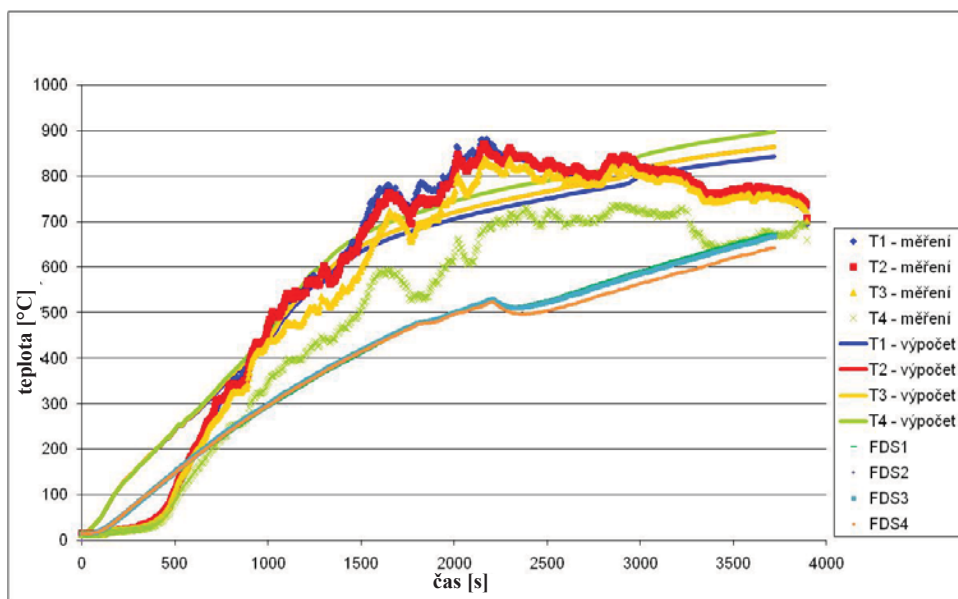
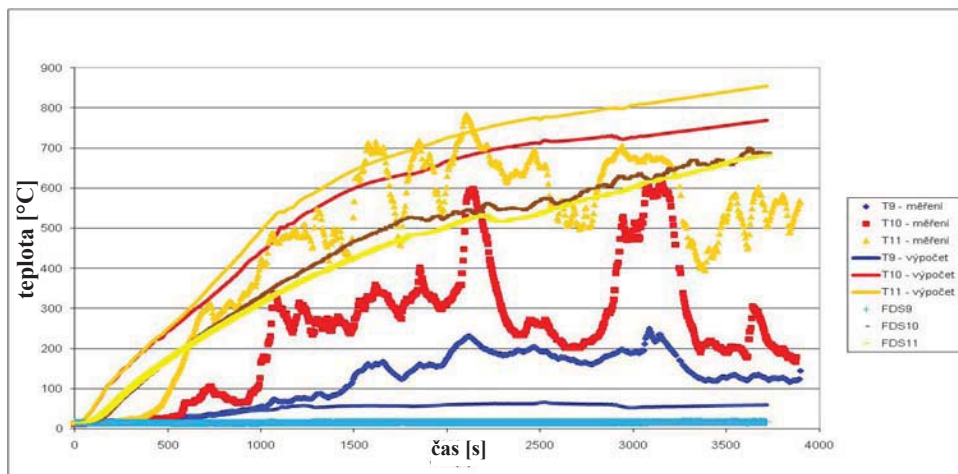
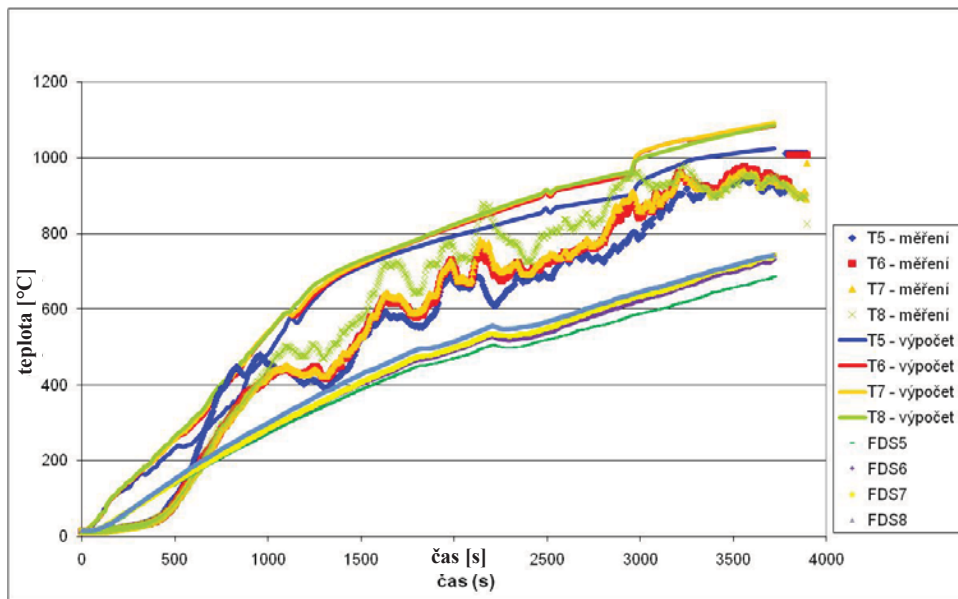
Výsledky a srovnání naměřených a vypočtených dat jsou patrné na Obrázku 5 a Obrázku 7. Na obrázcích Obrázku 8 a 9 lze vidět, že během pouhé půl minuty došlo ke změně směru proudění produktů hoření a to tím způsobem, že produkty hoření začaly unikat stropem a nikoliv oknem. Tato skutečnost též byla zohledněna při počítání v programu FDS, jinak by simulace vykazovaly známky „dušení“ a „těž snížení napočítaných teplot“.



Obrázek 5: Srovnání teplotních polí ve 1200-té vteřině (horní - Smartfire, dolní - FDS)



Obrázek 6: Srovnání rychlostních polí ve 1200-té vteřině (horní obr- Smartfire, dolní - FDS)



Obrázek 7: Srovnání závislosti naměřených a vypočítaných teplotních řad na čase (FDS vykazuje nižší hodnoty, Smartfire ukazuje vyšší hodnoty)



Obrázek 8: zplodiny hoření unikají oknem v čase 33:26



Obrázek 9: zplodiny hoření neunikají tolik oknem - došlo k prohnutí nosníků a zplodiny unikají střechou v čase 34:05

Závěr

Z porovnání výsledků numerických výpočtů a reálných dat lze konstatovat, že vypočítané hodnoty z programu Smartfire mají tendenci mírně nadhodnocovat reálnou teplotu, zatímco vypočítané hodnoty z programu FDS mají mírně nižší hodnotu teplot, než jak je naměřily termočlánky. Z grafů časových závislostí teplot na čase je patrné, že reálná naměřená teplota byla přesně ve středu mezi teplotami vypočítaných z FDS a Smartfire. Z grafů je též patrné, že napočítané teplotní křivky tvarově odpovídají těm naměřeným [5].

Literatura

- [1] WALD, F.; KALLEROVÁ, P.: *Fire Test in Mokrsko 2008*, Praha, June 2009, 106 s.
- [2] Požární zkoušky na experimentálním objektu v Mokrsku“, Praha: ČVUT, 8/2008.
- [3] ŠEVČÍK L., DVOŘÁK O.: *Protokol o Měření teplot a hustoty toku tepla při požární zkoušce na experimentálním objektu v Mokrsku*, Praha: TÚPO, 2008, 5 s.
- [4] RŮŽIČKAM., DVOŘÁK O.: *Protokol o Měření koncentrací vybraných zplodin hoření, rychlosti proudění a teploty ovzduší při požární zkoušce v experimentálním objektu v Mokrsku*, Praha: TÚPO, 2008, 5 s.
- [5] Výzkumná zpráva TÚPO o výsledcích řešení DVÚ č. 2 v roce 2009, Praha: MV - GŘ HZS ČR - TÚPO, 2009.