

# Počítačová simulácia požiarov

Lukáš Valášek



Ústav informatiky SAV  
Bratislava



# Kto som:

□ **Absolvent SvF STU, ŠP Matematicko-počítačové modelovanie**

□ **Ukončenie štúdia:** jún 2012

□ **Diplomová práca:** Využitie grafického používateľského rozhrania pri *simulácii požiaru v stavebnom priestore*

□ **Pracovná skúsenosť a doktorandské štúdium**

□ **Už počas VŠ:** 2x práca na ÚI SAV, oddelenie ONMA  
(dohoda o vykonaní práce) v akad. r. 2010/2011 a 2011/2012

□ **Nástup do zamestnania** na ÚI SAV, oddelenie ONMA:  
júl 2012 (odborný pracovník)

□ **Nástup na doktorandské štúdium** na FIIT STU: sept. 2013  
(interný doktorand ÚI SAV)

# Motivácia nášho výskumu na ÚI SAV

- ❑ **Požiar - príčinou škôd** a ohrozenia ľudských životov
- ❑ Existencia **spol'ahlivých modelov**, ktoré umožňujú simulovať šírenie požiaru a toxických plynov
- ❑ Existencia pokročilých **simulačných systémov** (FDS)
- ❑ Existencia **podporných programových prostriedkov** (GPR PyroSim)
- ❑ **Požiarne testy** v laboratóriách a veľkorozmerné požiarne skúšky
- ❑ **Počítačová simulácia** ako efektívny, najlacnejší a flexibilný prostriedok na boj s požiarom

# Používaný simulačný prostriedok: Fire Dynamics Simulator (FDS)

- pokročilý simulačný systém na simuláciu požiarov v budovách vyvinutý v National Institute of Standards and Technology (NIST), USA

## **FDS simuluje:**

- nízkorýchlostné prúdenie tepla a dymu
- tepelné žiarenie
- pyrolýzu
- spaľovanie a šírenie plameňov
- turbulenciu
- aktiváciu výstražných systémov a sprinklerov
- hasenie požiaru

# Matematické modelovanie požiaru v FDS

Základom modelu = známe **rovnice výpočtovej dynamiky tekutín (CFD)** zodpovedajúce fyzikálnym zákonom zachovania hmotnosti, hybnosti a energie a stavovej rovnici

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

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

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

$$p = \frac{\rho RT}{\bar{W}} \quad \text{Stavová rovnica (skalárna)}$$

$\rho$  hustota,  $\mathbf{u} = (u, v, w)$  - trojzložkový vektor rýchlosti,  $P$  tlak,  $\mathbf{f}_b$  vonkajší vektor sily,  $\boldsymbol{\tau}_{ij}$  tenzor napätia,

$h_s$  hustota entalpie,  $\dot{q}'''$  tepelný výkon na jednotkový objem chemickej reakcie,  $R$  univerzálna plynová konštanta,

$\dot{q}_b'''$  energia prenesená do odparujúcich sa kvapôčok,  $\dot{\mathbf{q}}''$  reprezentuje vodivý a radiačný tepelný tok,  $T$  teplota,

$\bar{W}$  molekulová hmotnosť zmesi plynov,  $t$  čas,  $\nabla$  operátor definovaný vzťahom  $\nabla = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right) \frac{Dp}{Dt}$  znamená

$\frac{Dp}{Dt} = \frac{\partial p}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla p$   $\mathbf{g}$  gravitačné zrýchlenie,  $\mathcal{E}$  rýchlosť, ktorou sa kinetická energia transformuje na tepelnú,

$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_\alpha) + \nabla \cdot \rho Y_\alpha \mathbf{u} = \nabla \cdot \rho D_\alpha \nabla Y_\alpha + \dot{m}_\alpha''' + \dot{m}_{b,\alpha}''' \quad \dot{m}_b''' = \sum_\alpha \dot{m}_{b,\alpha}'''$  rýchlosť odparovania zložiek kvapôčok alebo častíc

6 rovníc o 6 neznámých  $\rho, \mathbf{u} = (u, v, w), T, p$

Navier-Stokesove rovnice

# Výpočtová infraštruktúra ÚI SAV na realizáciu výpočtov simulácie

- ❑ výkonné **viacjadrové PC** (malé úlohy, 6-8 jadier)
- ❑ **HP Blade klaster** na ÚI SAV
  - klaster pozostáva zo 16 výpočtových uzlov
  - každý uzol obsahuje 2 CPU Intel Xeon X5570 2.93 GHz CPU a 48 GB RAM
  - Infinibandové prepojenie má kapacitu 40 Gbit/s
- ❑ **Klaster počítačov** na ÚI SAV (cca 1000 jadier, náročnejšie úlohy) zapojený v infraštruktúre **SlovakGrid** (prepojené klastre v Bratislave, Žiline, Košiciach, Banskej Bystrici)
- ❑ Paneurópska gridová infraštruktúra **EGI**
- ❑ **Superpočítač AUREL** (3072 výpočtových jadier) na SAV v Bratislave

# Úlohy, ktoré riešime na ÚI SAV

1. Simulácia požiaru v kinosále
2. Simulácia požiaru v tuneli
3. Modelovanie evakuácie v tuneli pri požiaru
4. Skúmanie priebehu požiaru v tuneli
5. Ďalšie príklady simulácie požiaru

# 1. Požiar v kinosále

- ❑ **motivácia výskumu:** ohrozenie životov, škody, zničenie budovy
  - ❑ mimoriadne toxické splodiny – čalúnny materiál

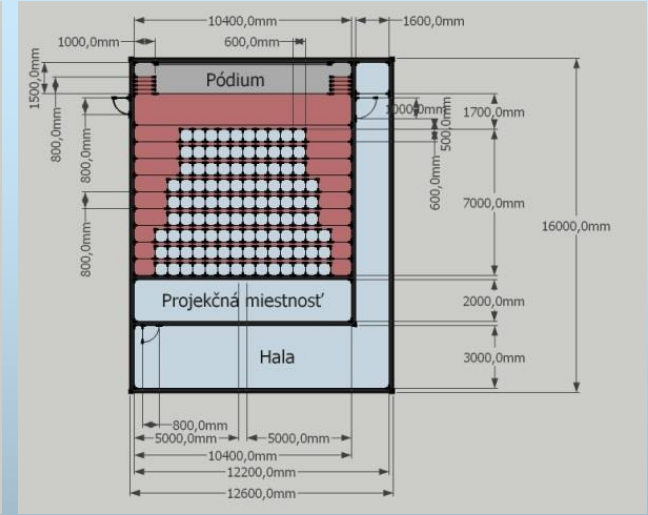
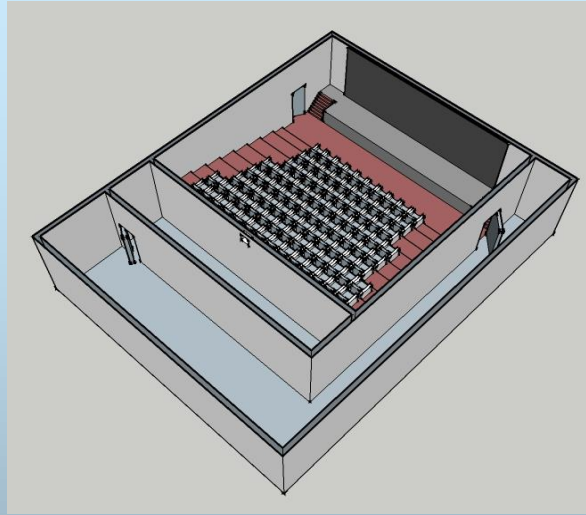
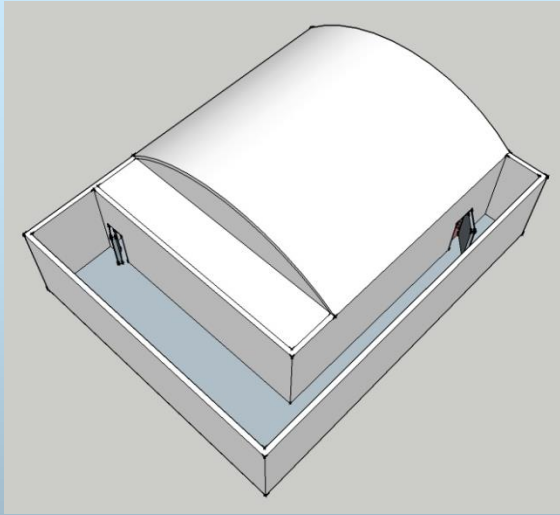
## Súčasný stav vo výskume:

- ❑ dostupné spoľahlivé modely schopné simulovať požiar a dym
- ❑ dostupné pokročilé simulátory (napr. FDS)
- ❑ dostupné podporné programy (napr. GPR PyroSim)
- ❑ dostupné experimentálne údaje (laboratórne a požiarne testy)
  
- ❑ použitie počítačovej simulácie = efektívny, lacný & *flexibilný* prostriedok na zvýšenie požiarnej bezpečnosti (stavieb)

Počítačová simulácia **požiaru v kine** = *téma diplomovej práce*

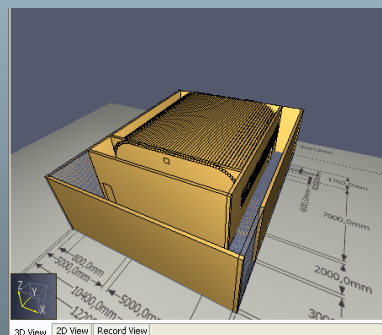
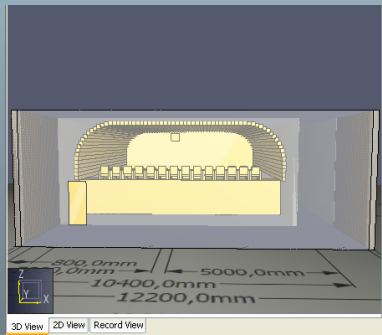


# 1. Požiar v kinosále



3D model v Google Sketchup-e

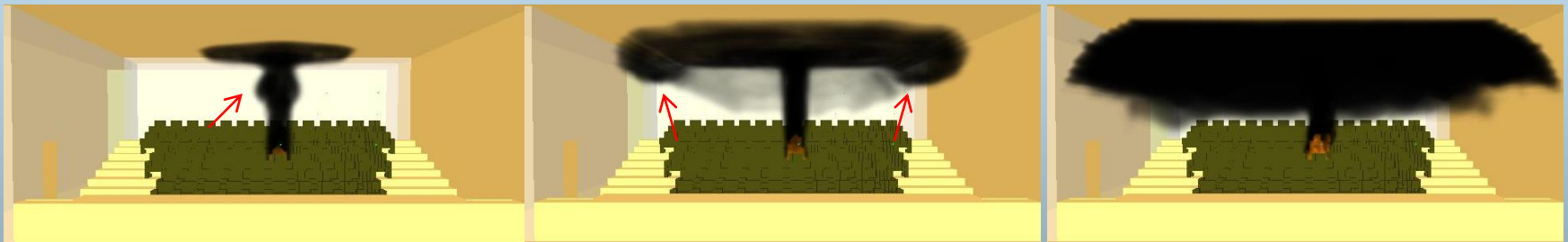
pôdorys kina



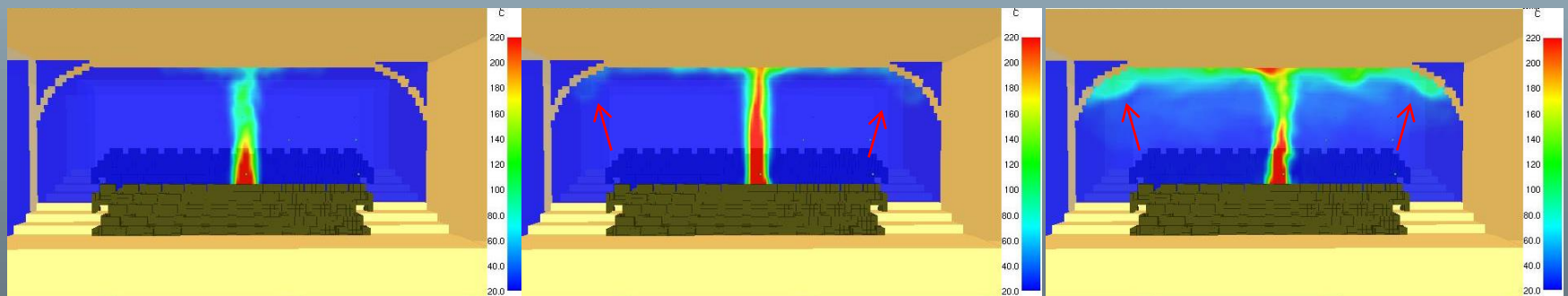
reprezentácia kina v GPR PyroSim-e

# 1. Simulácia požiaru v kinosále

Ukážka priebehu požiaru v kinosále  
(pohľad spredu)



Simulácia požiaru v 6., 12. a 40. sekunde



Teplotné rezy rovnobežné s rovinou xz v 6., 12. a 40. sekunde

## 2. Požiar v tuneli

- ❑ **motivácia výskumu:** ohrozenie životov, škody na zariadení, zničenie tunela
- ❑ **hlavné bezpečnostné riziko:** zadymenie priestoru tunela

### Cieľ simulácie:

- ❑ modelovať najmä šírenie dymu v priebehu požiaru a schopnosť ventilácie vytlačiť dym z tej časti tunela, z ktorej prichádzajú autá

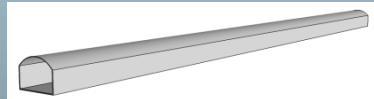
# 2. Simulácia požiaru v tuneli

## Tunel

- ❑ 10 x 180 x 7.2 [m]

## Ventilácia

- ❑ umiestnená od ľavého portálu 47.4 m a 137.4 m
- ❑ umiestnené vo vzdialenosti 3 m od seba
- ❑ priemer 0.9 m
- ❑ dĺžka 5.2 m

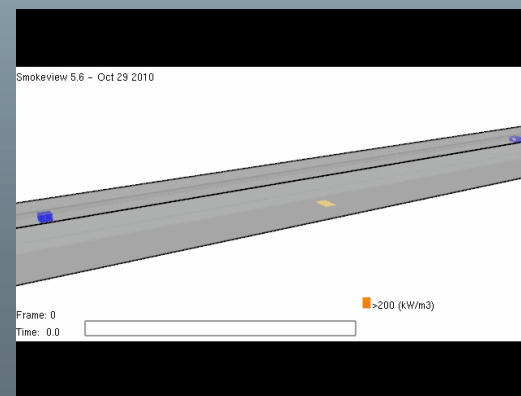
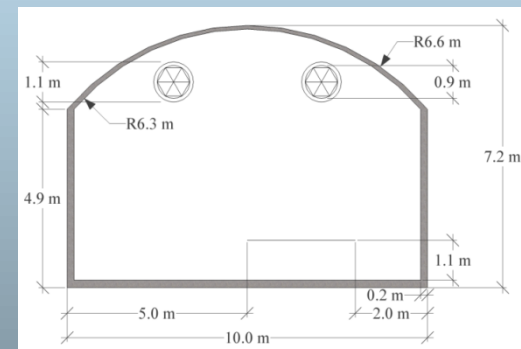
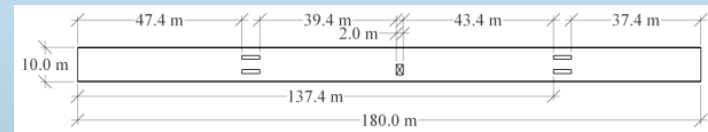
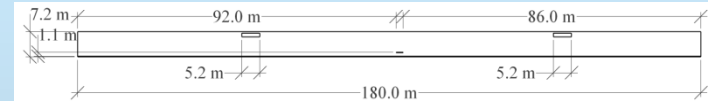


## Tunel pozostáva

- ❑ zakrivený strop
- ❑ materiál betón

## Simulácia požiaru v cestnom tuneli

- ❑ intenzita požiaru 10 MW (os. auto)
- ❑ pozdĺžny typ ventilácie



# 3. Modelovanie evakuácie v cestnom tuneli pri požiari

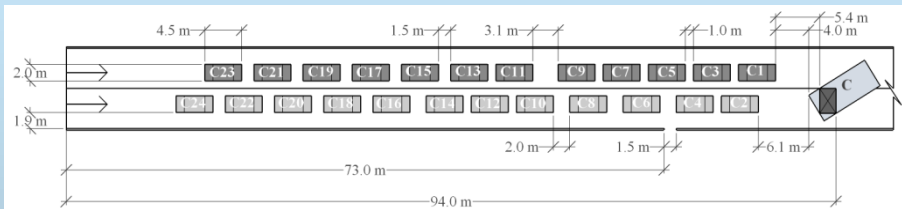
- ❑ **motivácia výskumu:** ohrozenie životov, bezpečná evakuácia ohrozených osôb
  - ❑ mimoriadne toxické splodiny (guma, plast, lak, benzín, nafta, atď.)
- ❑ **hlavné bezpečnostné riziko:** zadymenie priestoru tunela

## Ciel' simulácie

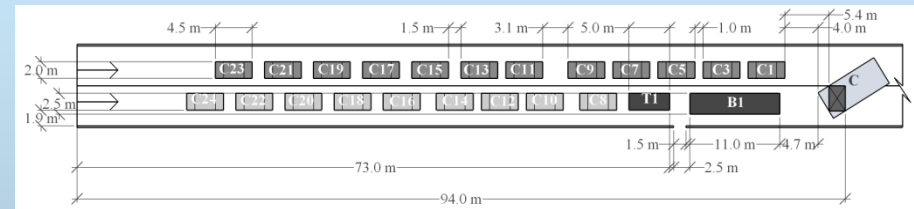
- ❑ modelovať priebeh evakuácie osôb nachádzajúcich sa v tuneli a ich intoxikáciu

# 3. Modelovanie evakuácie v tuneli pri požiari

## Evakuačný scenár 1



## Evakuačný scenár 2

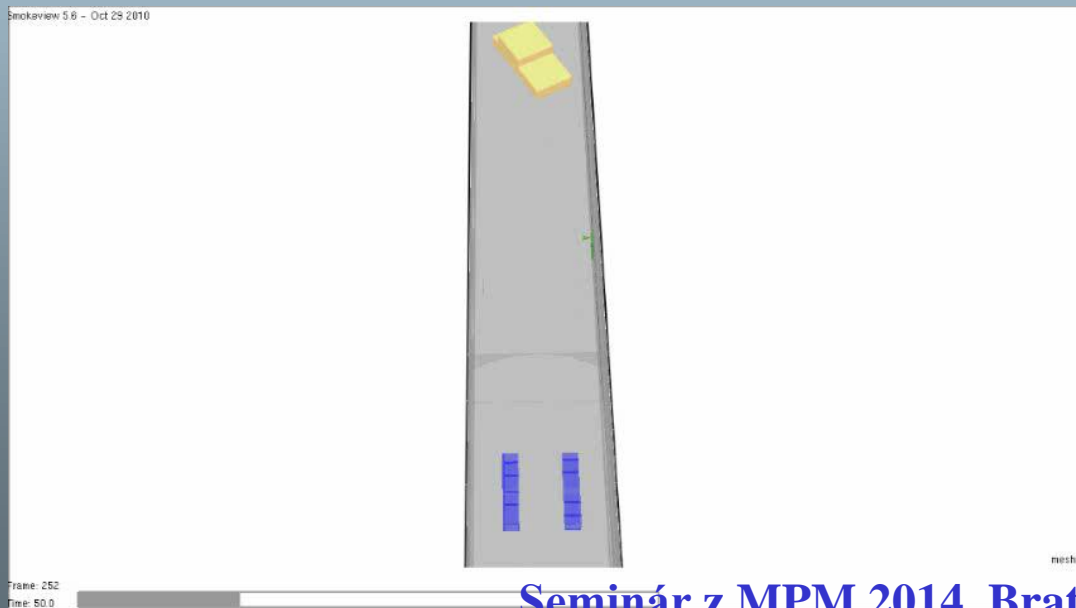
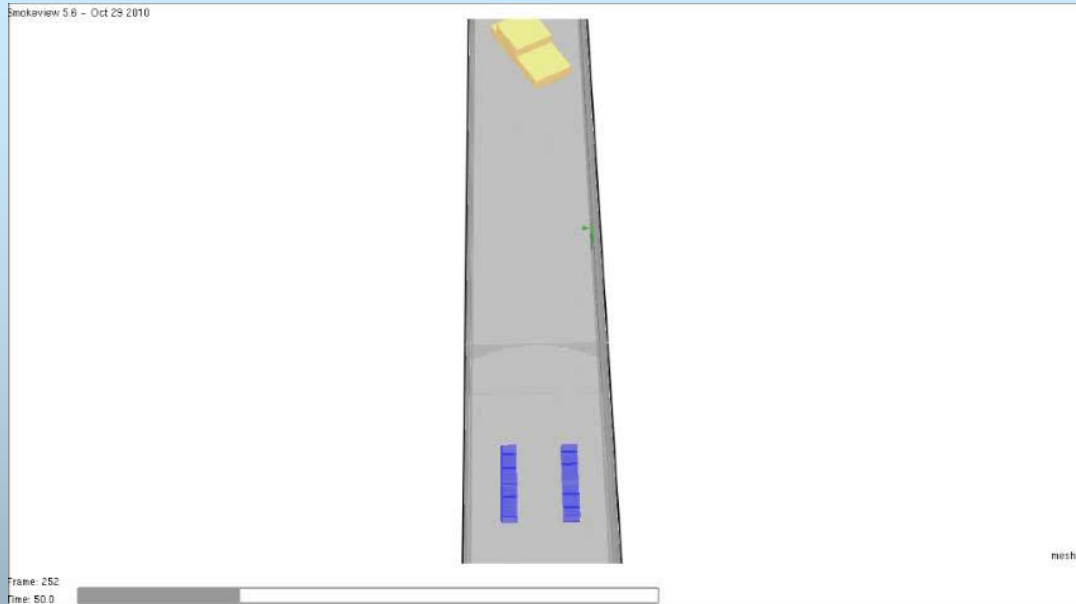


	C1	AT	ET	C2	AT	ET	C3	AT	ET	C4	AT	ET	C5	AT	ET	C6	AT	ET
LFD	1 A	53	58	1 A	54	59	1 M	55	60	1 F	56	61	1 A	57	62	1 M	58	63
RFD	1 A		58	1 E		60	1 F		61	1 E		63	1 F					
LBD	-		-	1 CH		60	1 CH		-	-		-	1 M					
RBD	-		-	-		1 CH	60		-	-		-	1 F					
	C7	AT	ET	C8	AT	ET	C9	AT	ET	C10	AT	ET	C11	AT	ET	C12	AT	ET
LFD	1 A	59	64	1 M	60	65	1 M	61	66	1 M	62	67	1 M	63	68	1 M	64	69
RFD	1 A		64	1 F		65	1 A		66	1 A		67	1 A		68	1 A		
LBD	1 E		65	-		-	1 M		66	-		-	1 M		68	1 M		
RBD	1 E		65	2 CH		65, 66	1 A		66	-		-	1 CH		68	-		
	C13	AT	ET	C14	AT	ET	C15	AT	ET	C16	AT	ET	C17	AT	ET	C18	AT	ET
LFD	1 M	65	70	1 M	66	71	1 E	67	73	1 M	68	73	1 M	69	74	1 M	70	75
RFD	1 F		70	-		-	1 E		74	1 F		73	1 A		74	1 A		
LBD	-		-	-		-	-		-	1 E		74	1 M		74	1 M		
RBD	-		-	-		-	-		-	-		-	-		-	-		
	C19	AT	ET	C20	AT	ET	C21	AT	ET	C22	AT	ET	C23	AT	ET	C24	AT	ET
LFD	1 F	71	76	1 M	72	77	1 M	73	78	1 M	74	79	1 E	75	81	1 M	76	81
RFD	-		-	1 A		77	1 M		78	1 A		79	-		-	1 A		
LBD	-		-	1 M		77	-		-	1 M		79	-		-	1 M		
RBD	-		-	-		-	-		-	-		-	-		-	-		

	B1	AT	ET	T1	AT	ET
LFD	-	54	-	1 M	55	60
RFD	10 A		60, 61, ..., 69	2 A		60, 61
LBD	-		-	-		-
RBD	20 A		60, 61, ..., 79	6 A		60, 61, ..., 65

- ❑ C1-C24 autá (1-4 ľudia), B1 autobus (30 ľudí), T1 transporter (9 ľudí),
- ❑ AT - čas príchodu, ET – evakuačný čas
- ❑ LFD, RFD, LBD and RBD – ľavé predné, pravé predné, ľavé zadné a pravé zadné dvere
- ❑ A – dospelý, E – starší, M – muž, F – žena, CH - dieťa

# 3. Ukážka evakuácie osôb v cestnom tuneli pri požiari



## pri požiari

Scenáre evakuácie osôb:

- z osobných áut
- z osobných áut a 2 viackapacitných vozidiel (autobus, mikrobus)



Zahustenie davu pred únikovým východom:

- zvýšené bezpečnostné riziko

# 4. Skúmanie priebehu požiaru v tuneli



Účasť na reálnom **požiarnom teste** v cestnom tuneli Bôrik

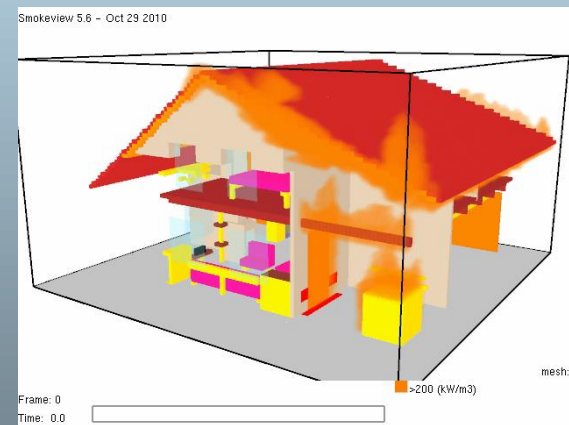
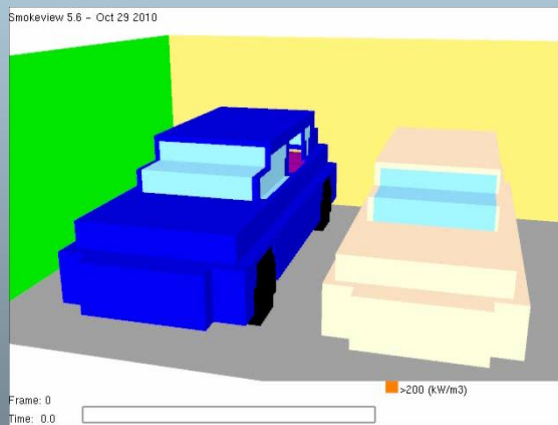
- ukážka zadymenia** tunela pri požiari
- testovanie funkčnosti** bezpečnostných a protipožiarňých systémov
- testovanie ventilačného systému** tunela v požiarnom režime
- testovanie riadiaceho systému a krízového riadenia** tunela počas mimoriadnej udalosti a pripravenosti požiarných a záchranných zložiek

**Seminár z MPM 2014, Bratislava**



# 5. Ďalšie príklady simulácie požiaru

- ❑ simulácia požiaru v motorovom priestore osobného auta
- ❑ simulácia požiaru v sedadlovom priestore osobného auta a preskoku požiaru na susedné vozidlo
- ❑ simulácia požiaru rodinného domu



# Záver

Súčasťou práce je:

- publikovanie dosiahnutých výsledkov** v časopisoch a zborníkoch
  - publikované 6 článkov v časopisoch a 6 prác v zborníkoch konferencií
- prezentácia výsledkov na konferenciách a seminároch**
  - účasť na konferencii **ECS 2012 (Paríž)**, **AMCME 2013 (Rodos)**
  - dve prednášky na seminári na ÚI SAV

Výhodou práce na ÚI SAV je:

- zaujímavá problematika výskumu (EJB)**
- skúsený tím výskumníkov v oblasti modelovania zložitých prírodných procesov
- prístup k vysokovýkonnej výpočtovej infraštruktúre**
- možnosť mobility** v rámci doktorandského štúdia a **možnosť prezentácie výsledkov výskumu v zahraničí**

Ďakujem za pozornosť!