



# LOCAFI+

Určenie teploty zvislého prvku namáhaného lokálnym požiarom  
(LOCALised Fire)

Rozšírenie výsledkov

Dohoda o grante č. 754072

## 3. Experimenty a kalibrácia CFD

### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

## Skúšky uskutočnené na univerzite Liège

### Popis tepelných tokov prijatých prvkami pohltenými plameňmi

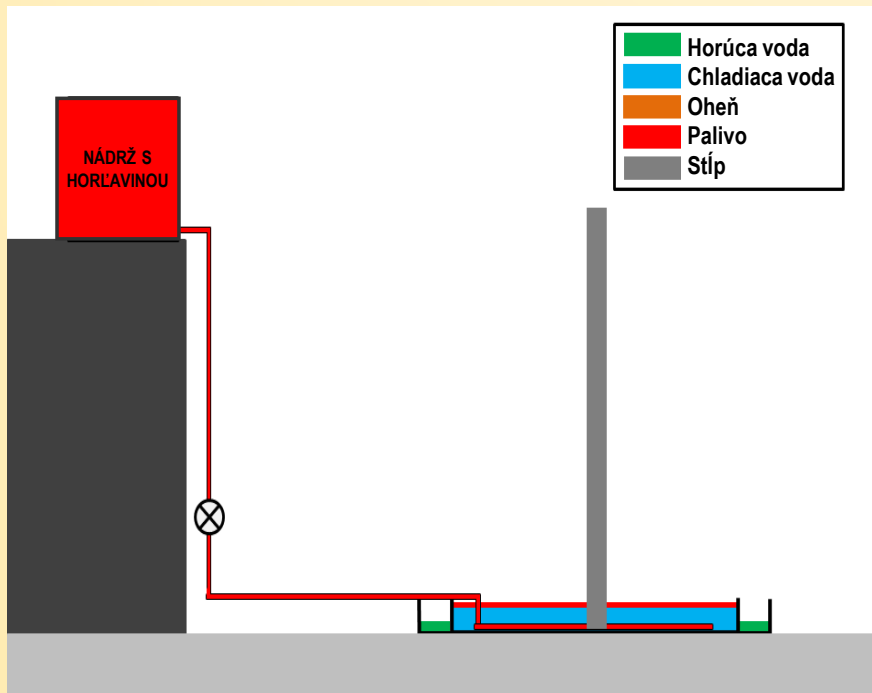


- Na univerzite v Liège sa uskutočnilo 24 skúšok, pričom sa menilo:
  - Priemer ohňa (5 priemerov: 0.6m, 1.0m, 1.4m, 1.8m a 2.2m)
  - Typ paliva (2 rôzne kvapalné palivá (nafta a N-heptane) + 1 celulózové požiarne zaťaženie)
  - Prítomnosť stĺpa pohlteneho ohňom Pre každý priemer a každé z dvoch kvapalných palív:
  - Jedna skúška bez stĺpa v ohni
  - Jedna skúška so stĺpom v strede zdroja ohňa

### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

## Skúšky uskutočnené na univerzite Liège

### Všeobecné usporiadanie skúšky

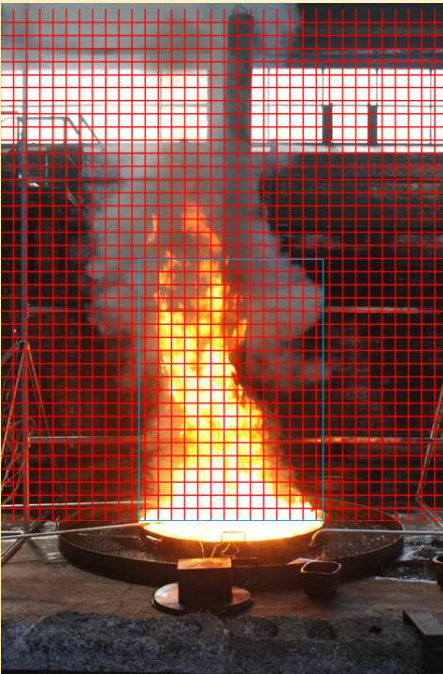


- Dva zásobníky naplnené heptánom a naftou umiestnené vo väčšej výške nad podlahou, aby bol zabezpečený tok paliva pomocou gravitácie;
- Rýchlosť uvoľňovania tepla z požiaru v nádrži bola riadená reguláciou toku vstrekovanej paliva pomocou jednoduchého manuálneho ventilu;
- Nádrž bola plynule napájaná studenou vodou, aby sa zdola chladila vrstva horiaceho paliva a takto sa zabezpečil stabilnejší ustálený režim horenia, tým že sa zamedzí varu vodu.

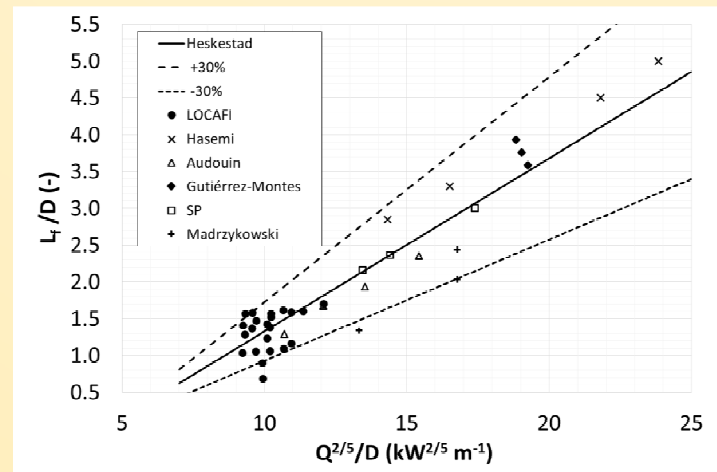
### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

## Skúšky uskutočnené na univerzite Liège

### Experimentálne merania: dĺžka plameňa



Dĺžka hlavného plameňa  $L$  je úsek nad zdrojom ohňa, kde nespojitosť klesla na 0.5, pričom nespojitosť  $I(z)$  je definovaná ako podiel času, keď je plameň nad zdrojom ohňa. Tento odhad sa urobil pomocou digitálnej analýzy obrázkov.



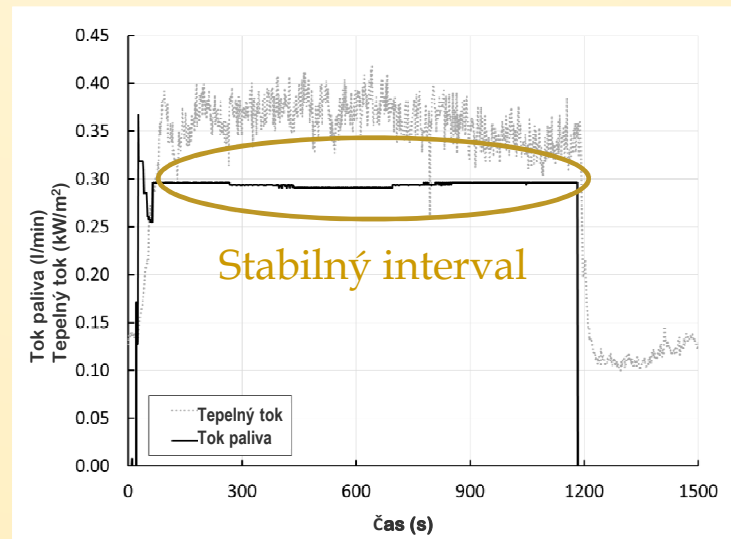
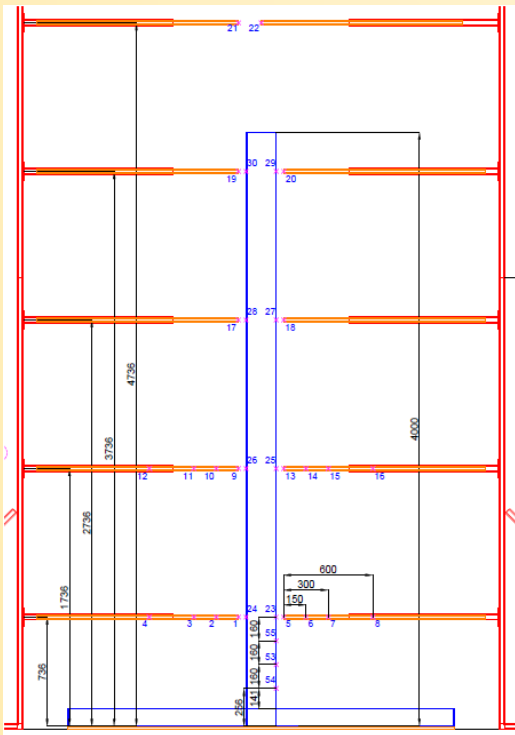
Rozdiel medzi dĺžkou plameňa z experimentu a dĺžkou plameňa vypočítanou pomocou Heskestad je +/- 30%, toto je ale v súlade s ďalšími výskumami požiarov v nádržiach najmä kvôli neistotám spojeným s účinnosťou spaľovania a hustotou paliva.

N. Tondini, J.M. Franssen, "Analysis of experimental hydrocarbon localised fires with and without engulfed steel members", Fire Safety Journal 92 (2017), 9-22

### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

## Skúšky uskutočnené na univerzite Liège

### Experimentálne merania: teplota a tepelné toky

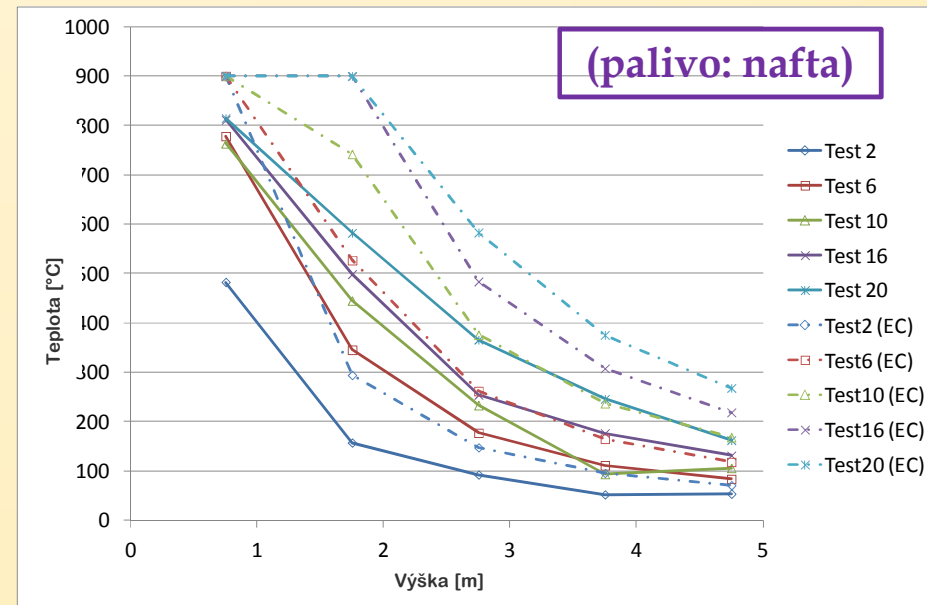
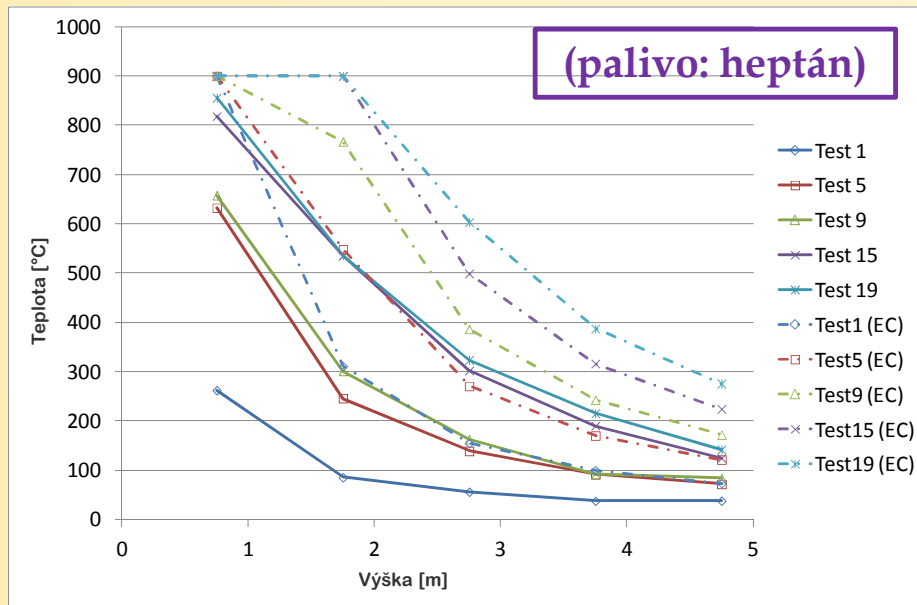


- Skúšky trvali, kým bola dosiahnutá ustálená konfigurácia (merania teploty plynu a sálavého tepelného toku sa stabilizovali);
- V usporiadaní s oceľovými stĺpmi termočlánky poskytli informácie o vývoji teploty ocele.

### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

## Skúšky uskutočnené na univerzite Liège

### Experimentálne merania: teplota a tepelné toky

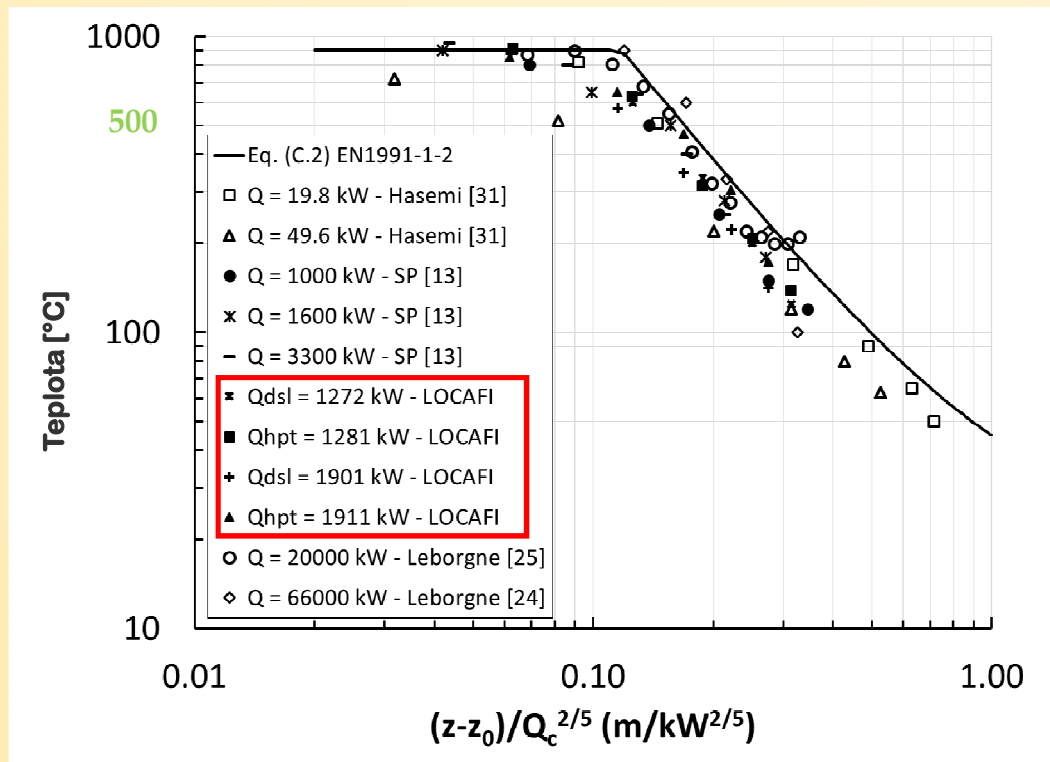


Heskestad závislosť (EN 1991-1-2) nadhodnocuje teploty plameňa ( $\theta_g \geq 500^\circ\text{C}$ ) aj oblaku plynov ( $\theta_g < 500^\circ\text{C}$ )

### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

## Skúšky uskutočnené na univerzite Liège

### Experimentálne merania: teplota a tepelné toky



Vzťah EN 1991-1-2 udáva dobrý odhad teplôt plameňa ( $\theta_g \geq 500^\circ\text{C}$ ) aj oblaku plynov ( $\theta_g < 500^\circ\text{C}$ ).

### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

## Skúšky uskutočnené na univerzite Ulster

### Popis tepelných tokov prijatých prvkami mimo ohňa



- Na univerzite v Ulsteri sa uskutočnilo 58 skúšok, pričom sa menilo:
  - Prítomnosť alebo neprítomnosť stropu (37 testov bez / 21 testov s)
  - Počet nádob s palivom (1 až 4) a priemer týchto nádob (2 priemery: 0.7m a 1.6m)
  - Typ paliva (2 rôzne kvapalné palivá (nafta a petrolej) + 1 celulózové požiarne zaťaženie)
- Konštrukcia 9mx9m sa skladá z 3 typov stĺpov (I-prierez, H-prierez a kruhový prierez)
- RHR sa mení s časom (neriadená) a bola meraná kalorimetricky
- Dĺžka plameňa bola určená pomocou kamery a na základe pravdepodobnosti prítomnosti plameňa

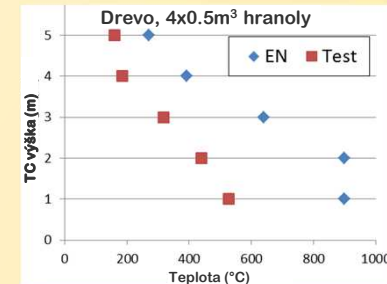
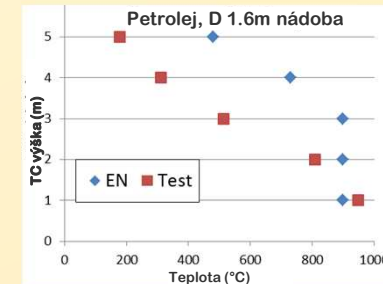
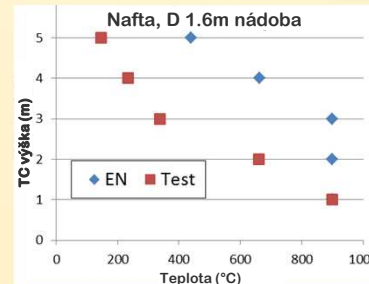
### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

## Skúšky uskutočnené na univerzite Ulster

### Experimentálne merania: Teplota plameňa

VÝŠKA	TESTY O8, I9 (PETROLEJ, D1.6M)		TEST O10 (NAFTA, D1.6M)		TESTS O1,O2 (PETROLEJ, D0.7M)		TESTS O3,O4 (NAFTA, D0.7M)		TEST O14 (DREVENÉ HRANOLY)	
	EN	TEST	EN	TEST	EN	TEST	EN	TEST	EN	TEST
1M	900	949	900	899	900	686	900	652	900	527
2M	900	810	900	660	845	223	697	208	900	440
3M	900	515	900	339	381	90	325	89	640	317
4M	730	312	663	235	228	-	198	-	391	185
5M	479	179	440	146	157	-	139	-	271	159

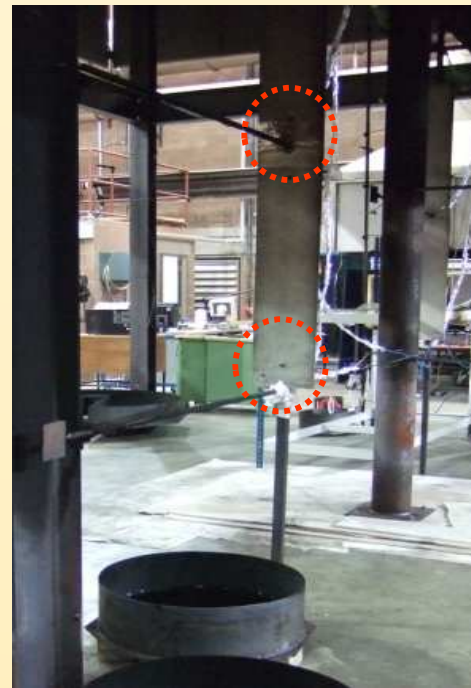
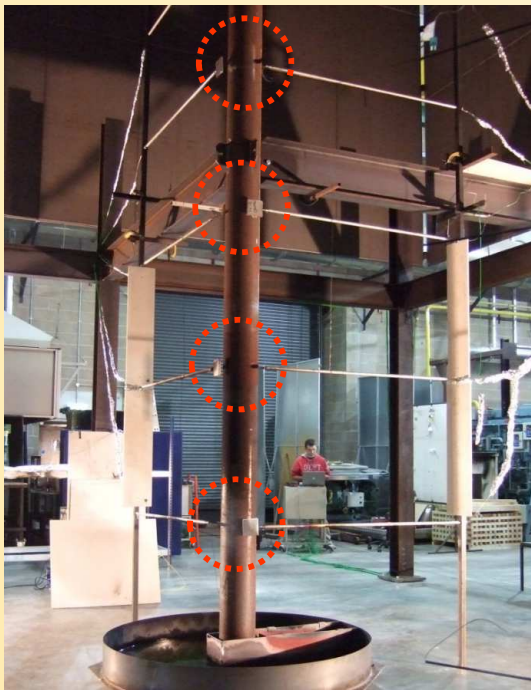
Tieto skúšky potvrdili, že vzťahy podľa Heskestad (EN 1991-1-2) nadhodnocujú teploty plameňa ( $\theta_g \geq 500^\circ\text{C}$ ) a oblaku dymu ( $\theta_g < 500^\circ\text{C}$ ).



### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

## Skúšky uskutočnené na univerzite Ulster

### Experimentálne merania: Teplota a tepelné toky mimo ohňa

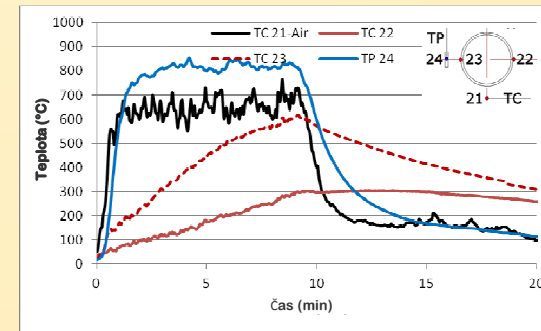
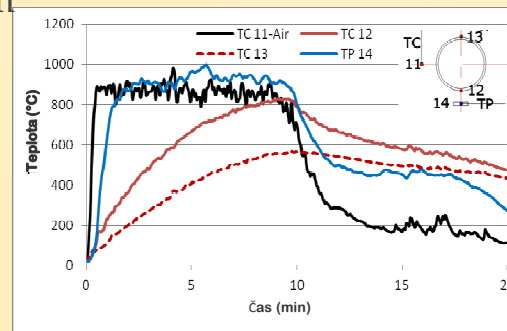
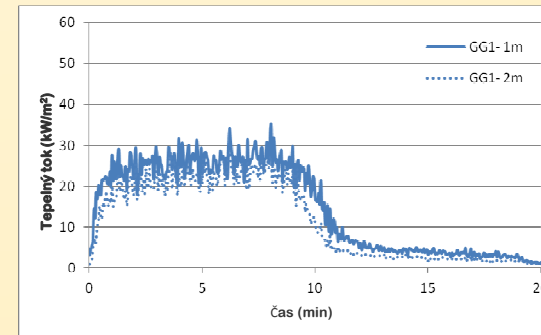
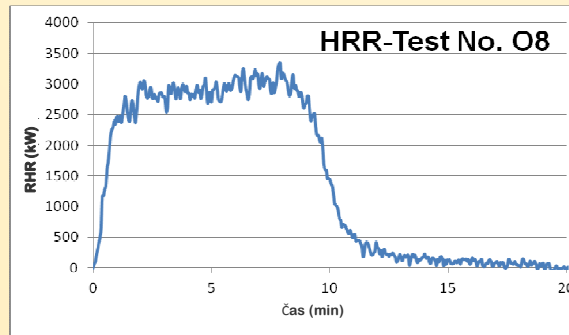


### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

## Skúšky uskutočnené na univerzite Ulster

### Experimentálne merania: Výsledky z testu O8

- Počet nádob: 1
- Priemer nádoby: 1.6 m
- Typ paliva: Petrolej
- Množstvo paliva: 60 L
- Vzdialenosť stĺpa od nádoby: 0 m
- Vzdialenosť meračov od stĺpa: 1.5m
- Bez stropu



### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

## Kalibrácia CFD modelu pomocou FDS softwaru

### Ciele

- Počet skúšok je obmedzený a merania robené počas skúšok sú obmedzené tiež
  - Vzhľadom na rozmery budovy/laboratória, kde sa experimenty uskutočňovali, nebolo možné zahrnúť celý rozsah lokálnych požiarov (Príloha C EN 1991-1-2 je použiteľná až po  $D = 10$  m a  $Q = 50$  MW)
- Po overení modelov je CFD modelovanie ekonomickým a výkonným nástrojom, schopným poskytnúť širokú sadu výsledkov na ďalšie overenie analytických výpočtových metód
- FDS software je freeware, vyvinutý NIST-om a široko používaný medzi požiarnymi inžiniermi

Kalibrácia FDS modelov sa robila reprodukciou výberu 5 skúšok vybraných na základe nasledujúcich kritérií:

- Testy vykonané pri konštantných a kontrolovaných podmienkach (Liège) a pri voľných podmienkach (Ulster)
- Skúšky vykazujúce dlhé stabilné a ustálené výsledky
- Rôzne typy palív, malé a veľké priemery nádob, so stropom a bez neho, ...

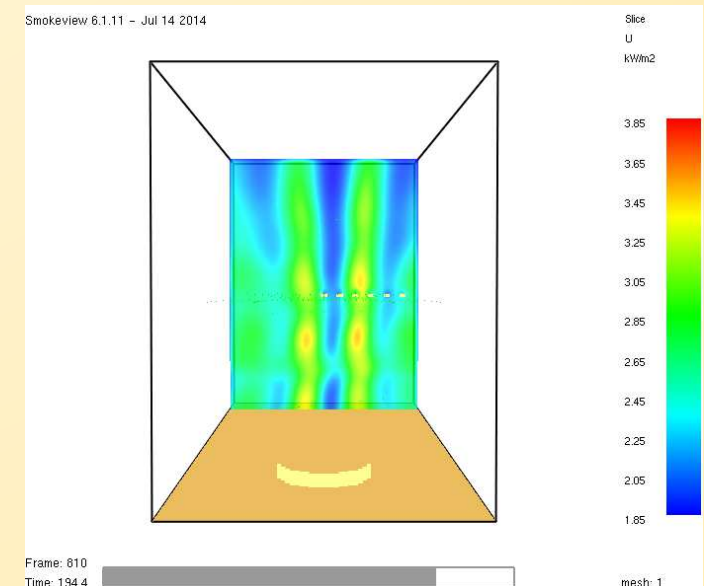
### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

## Kalibrácia CFD modelu pomocou FDS softwaru

### Kalibračné parametre

Parametre, ktoré majú najväčší vplyv, určené počas kalibračného procesu:

- Model turbulencie (Smagorinski,  $C_s = 0.1$ )
- Vlastnosti paliva vrátane výnosu sadzí, prebraté z literatúry (podmienky prevetrania)
- Počet radiačných uhlov (200)
- Podiel radiačných strát (rozsah 0.2-0.5, závislý najmä od typu paliva a priemeru ohňa)
- Účinky vetra (založené na meraniach)
- Rozmery siete (založené na charakteristickej dĺžke a miere turbulencie)



Príklad zmien toku vplyvom nedostatočného počtu radiačných uhlov

### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

## Kalibrácia CFD modelu pomocou FDS softwaru

### Test ULG 06 (D = 1m, Heptane, bez stĺpa)

Priemerný tok paliva $q_{\text{fuel}}$	0.98 l/min
Objemová hmotnosť paliva $\rho$	675 kg/m <sup>3</sup>
Výnos sadzí $y_{\text{soot}}$	0.037
Ideálne teplo horenia $\Delta H_{\text{c,ideal}}$	44600 kJ/kg
Teplo horenia $\Delta H_{\text{c}}$	41200 kJ/kg
RHR počítané s $\Delta H_{\text{c,ideal}}$	491.7 kW (626.1 kW/m <sup>2</sup> )

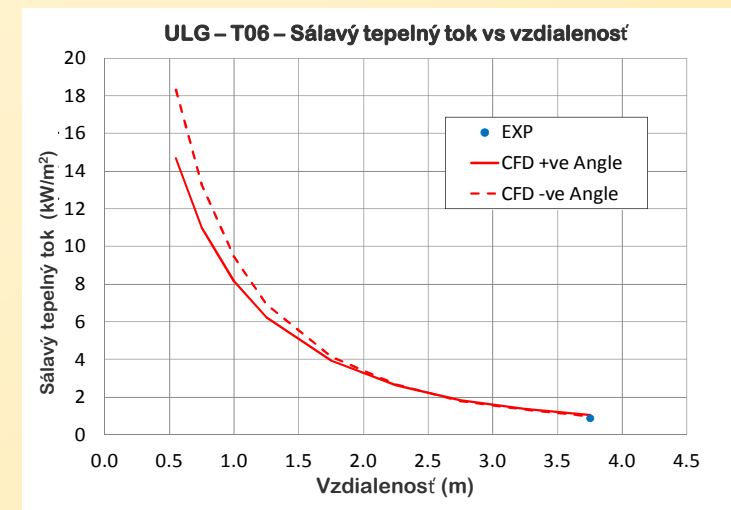
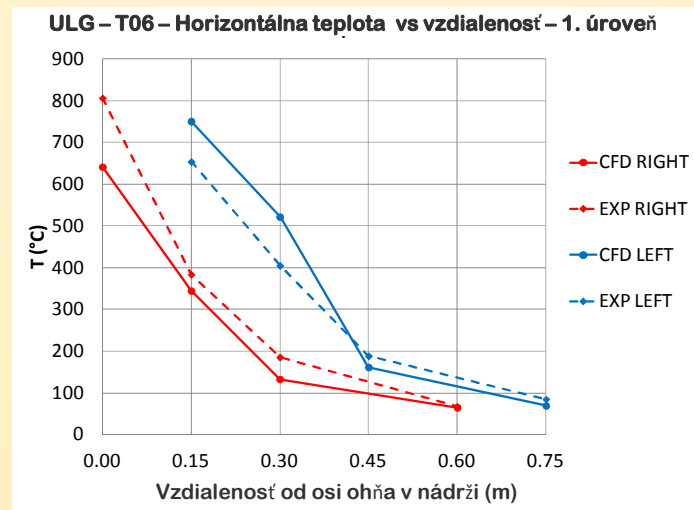
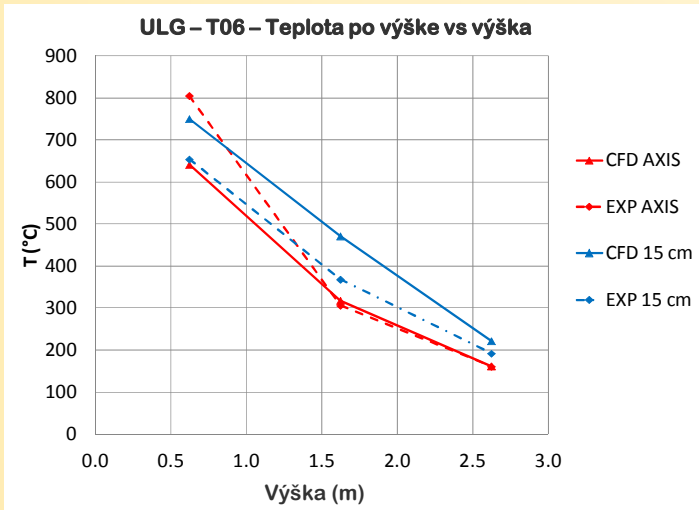
- Rozmery CFD oblasti: 5.75m x 3m x 4m
- Rozmery siete: 5cm x 5 cm x 5 cm
- Rýchlosť vetra: 0.22 m/s
- Podiel radiačných strát: 0.45 (SFPE)



### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

## Kalibrácia CFD modelu pomocou FDS softwaru

### Test ULG 06 (D = 1m, Heptán, bez stĺpa)



### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

## Kalibrácia CFD modelu pomocou FDS softwaru

Test Ulster O29 (D = 0.7m, nafta, so stropom v 3.5m)

Objemová hmotnosť paliva $\rho$	823 kg/m <sup>3</sup>
Výnos sadzí $y_{\text{soot}}$	0.10
Ideálne teplo horenia $\Delta H_{c,\text{ideal}}$	44000 kJ/kg
Teplo horenia $\Delta H_c$	41200 kJ/kg
RHR počítané s $\Delta H_{c,\text{ideal}}$	491.5 kW (1277.1 kW/m <sup>2</sup> )

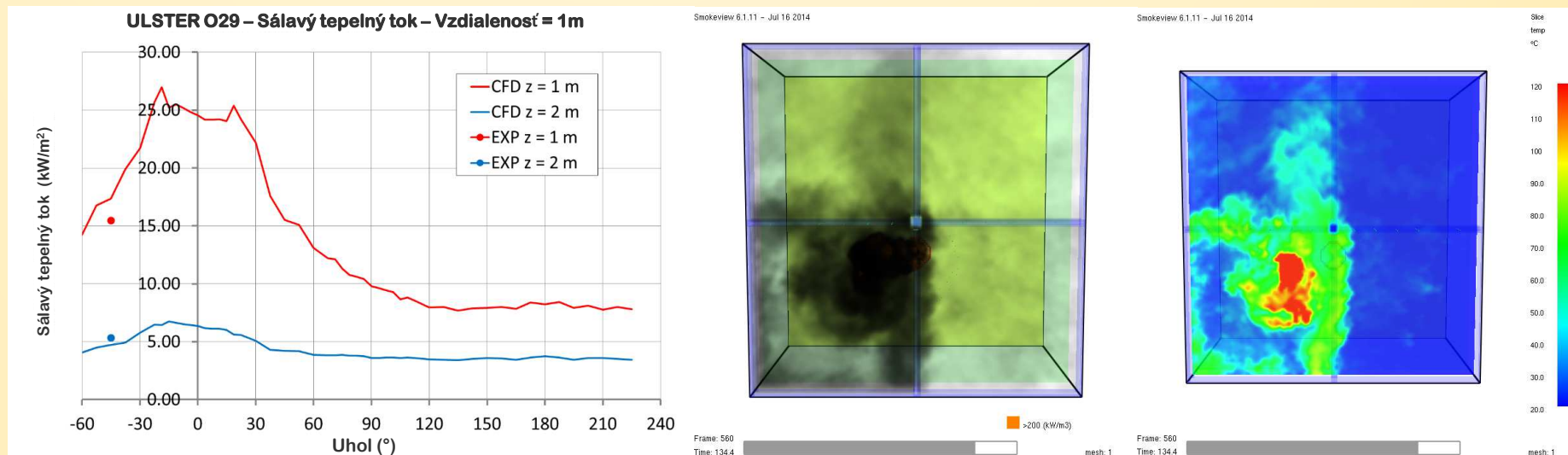
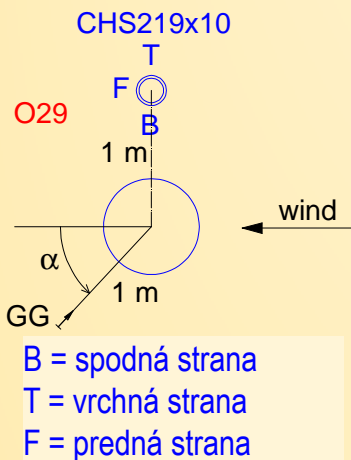
- Rozmery CFD oblasti: 7m x 7m x 3.5m
- Rozmery siete: 5cm x 5 cm x 5 cm
- Rýchlosť vetra: 0.76 m/s
- Podiel radiačných strát: 0.45 (SFPE)



### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

## Kalibrácia CFD modelu pomocou FDS softwaru

### Test Ulster O29 (D = 0.7m, Nafta, so stropom v 3.5m)



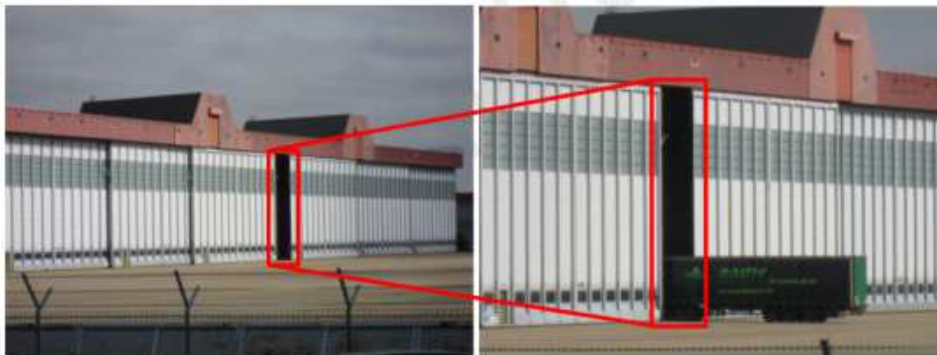
z (m)	CFD RHFG GG (kW/m <sup>2</sup> )	EXP GG (kW/m <sup>2</sup> )	Chyba (%)
1	17.35	15.45	12.3
2	4.71	5.32	-11.5

### 3. Experimenty a kalibrácia CFD

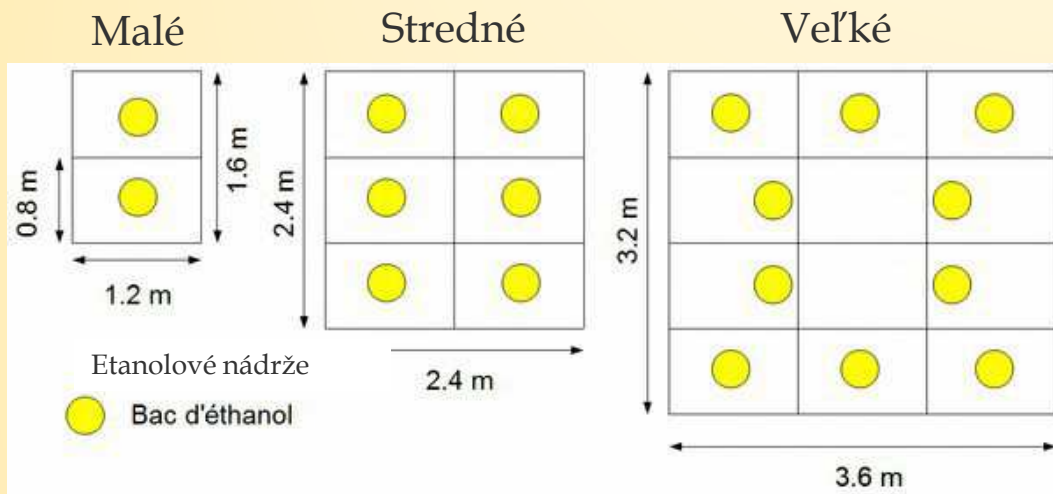
## Francúzske testy (nie sú súčasťou LOCAFI+)

### Veľkorozmerové testy začaté LCPP:

- Hlavná hala: 300 m x 50 x 17 m
- 2 druhy horľavín: drevené palety/ petrolej
- Opakované požiarne skúšky
- Množstvo meračov: termočlánky, merače tepelného toku, video (infračervené a normálne)



### 3. Experimenty a kalibrácia CFD



Malý test: ~ 20 paliet  
Stredný test: ~ 60 paliet  
Veľký test: ~ 110 paliet



### 3. Experimenty a kalibráció CFD



HRR ~ 30 MW

