LOCAFI+

Temperatuur vertikaalses konstruktsioonielemendis kohaliku põlengu tingimustes

Leping n° 754072

3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

Katsed LIEGE ülikoolis

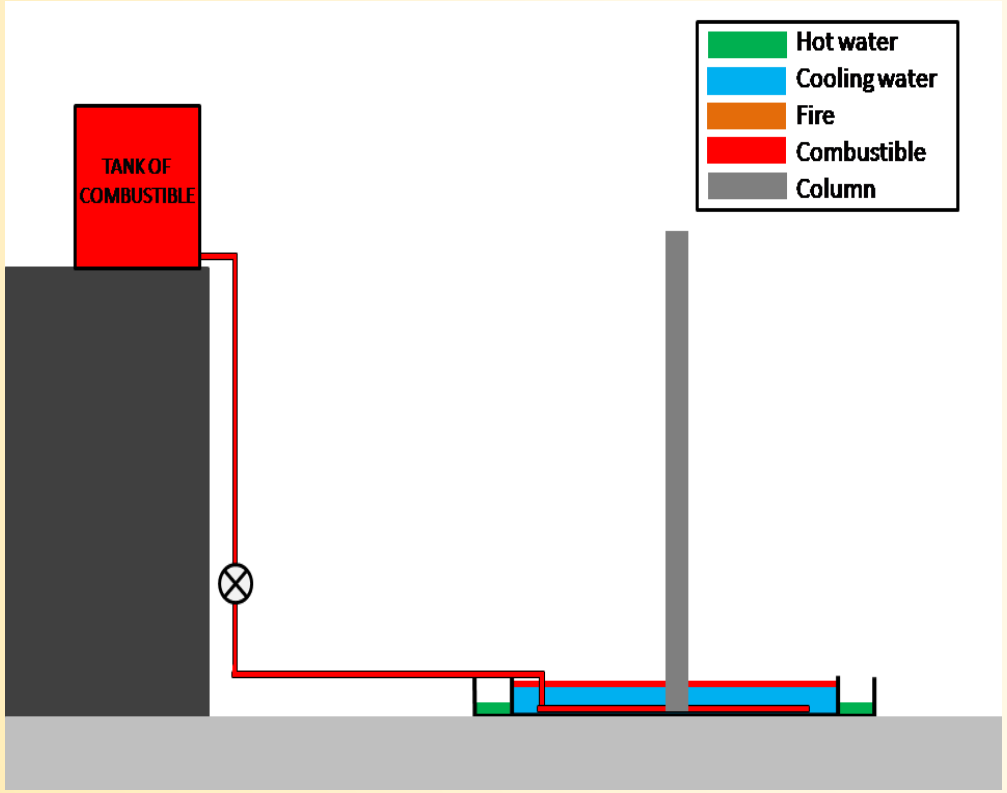
Leegist haaratud elementide soojusvoo kirjeldus

- Liege Ülikoolis on läbi viided 24 katset, varieerides:
  - Tulealika läbimõõtu (*5 läbimõõtu: 0.6m, 1.0m, 1.4m, 1.8m and 2.2m*)
  - Põleva aine tüüpi (*2 erinevat põlevat vedelikku (diisel ja N-heptaan) + 1 tselluloosne põlev aine*
  - Leegiga haaratud posti olemasolu
- Iga läbimõõdu puhul ja mõlema põleva vedeliku puhul:
  - Üks katse ilma postita
  - Üks katse postiga leegi keskmes

3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

Katsed LIEGE ülikoolis

Katseseadme üldvaade

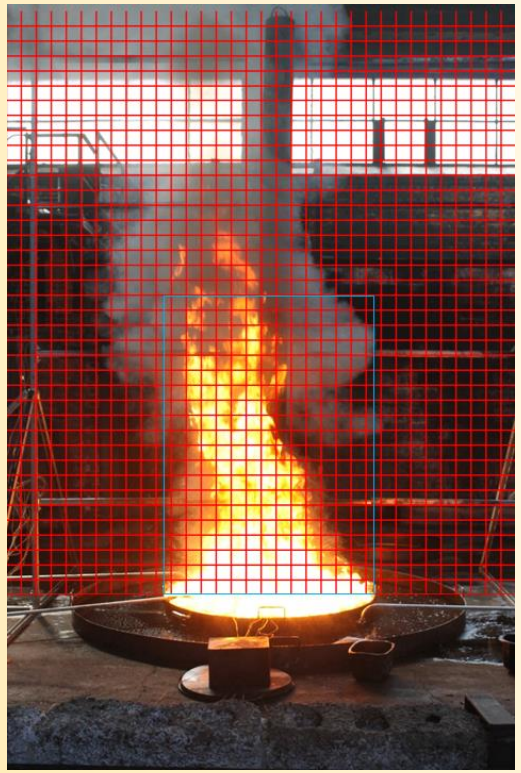


- Kaks heptaani ja diisiga täidetud paaki asetati põrandat kõrgenale, et võimaldada vvedeliku vaba voolamist;
- Soojuse eraldmiskiirust (RHR) kontrolliti reguleerides sisspritsitava kütuse voolu lihtsa manuaalse klapiga;
- Põhjale kallati kogu aeg külma vett, et jahutada põleva kütuse all olevat kütuse kihti eesmärgiga saavutada ühtlasem temperatuurirežiim ja vältida vee mulinal keemist.

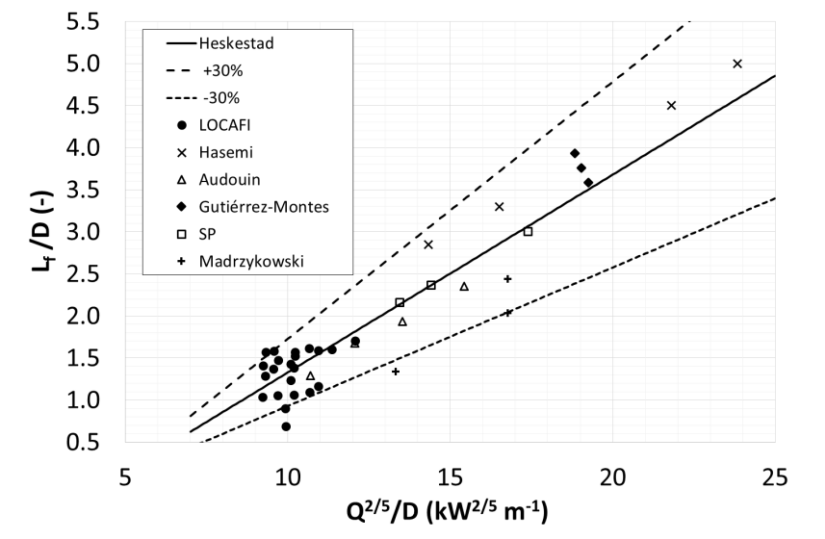
3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

Katsed LIEGE ülikoolis

Eksperimetaalsed mõõtmised: leegi pikkus



Keskmine leegi pikkus L on kaugus tuleallika kohal kuni vahelduvus on langenud 0.5-ni, kus vahelduvus I(z) on aeg, mille jooksul leek on tuleallika kohal. Seda hinnati digitaalse kujutise analüüsi teel.



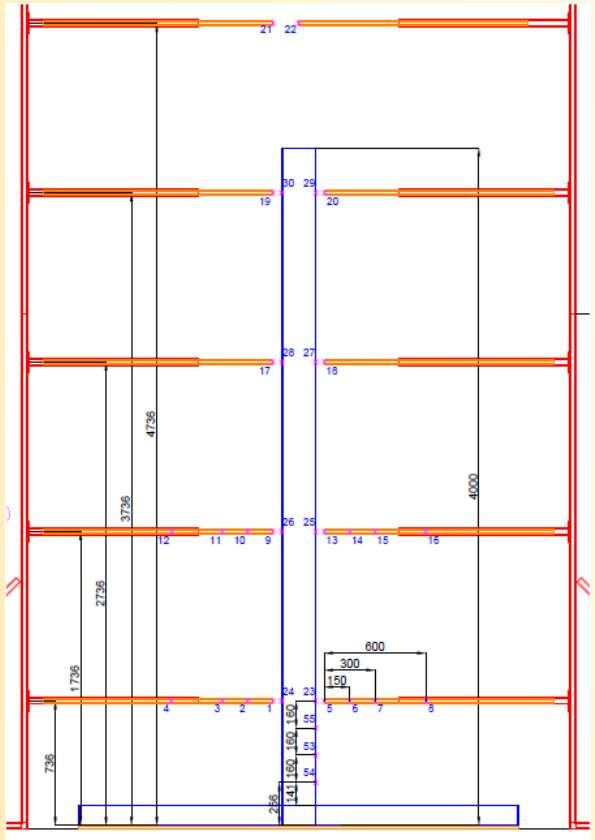
Tulemuste erinevus eksperimendis ja Heskestadi mudelis määratud leegi pikkuse vahel on vahemikus +30% ja -30% , kuid see on sarnane teiste uuringutega ja tuleneb peamiselt põlemise efektiivsuse ja kütuse tiheduse määramise ebatäpsusest.

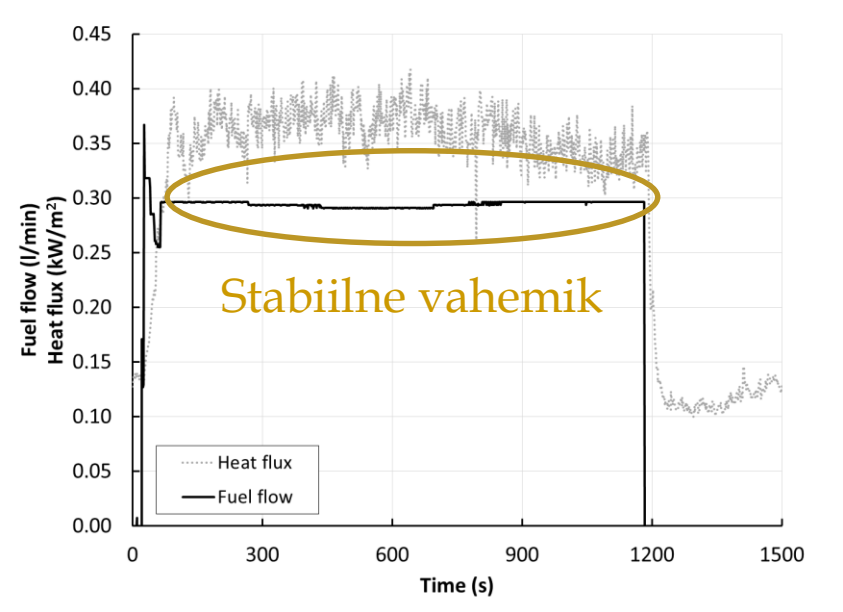
N. Tondini, J.M. Franssen, "Analysis of experimental hydrocarbon localised fires with and without engulfed steel members", Fire Safety Journal 92 (2017), 9-22

3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

Katsed LIEGE ülikoolis

Eksperimentaalsed mõõtmised: temperatuur ja soojusvoog



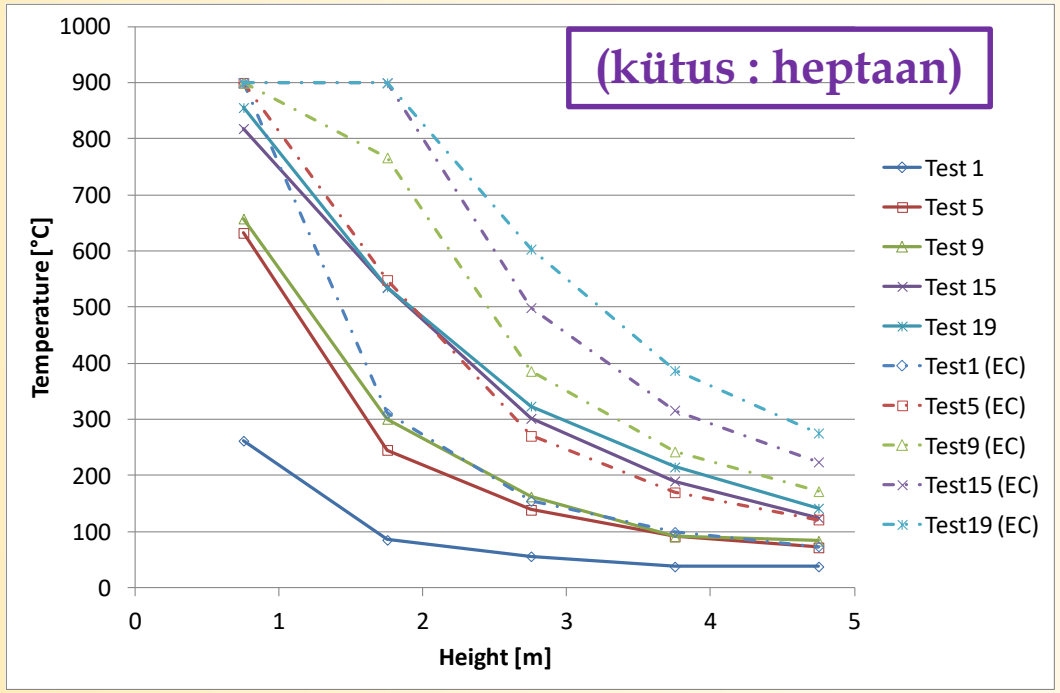


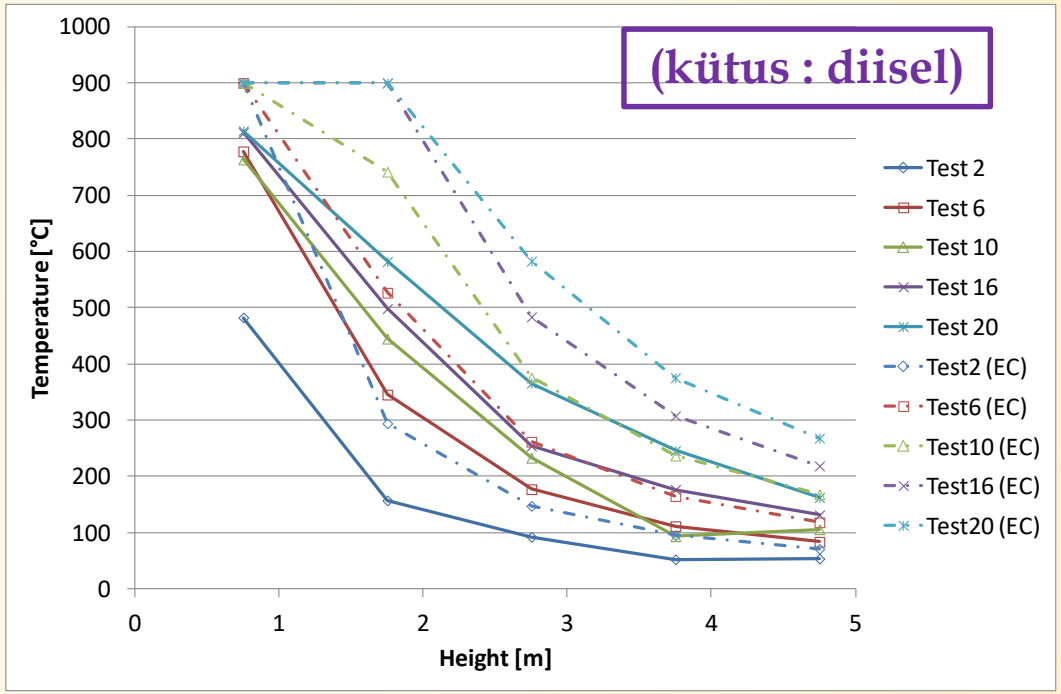
- Katset jätkati kuni saavutati stabiilne olukord (gaasi temperatuuri soojuskiirguse voog on stabiliseerunud);
- Termopaarid näitavad temperatuuri tõusu teraspostides.

3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

Katsed LIEGE ülikoolis

Eksperimentaalsed mõõtmised: tempraturid ja vood



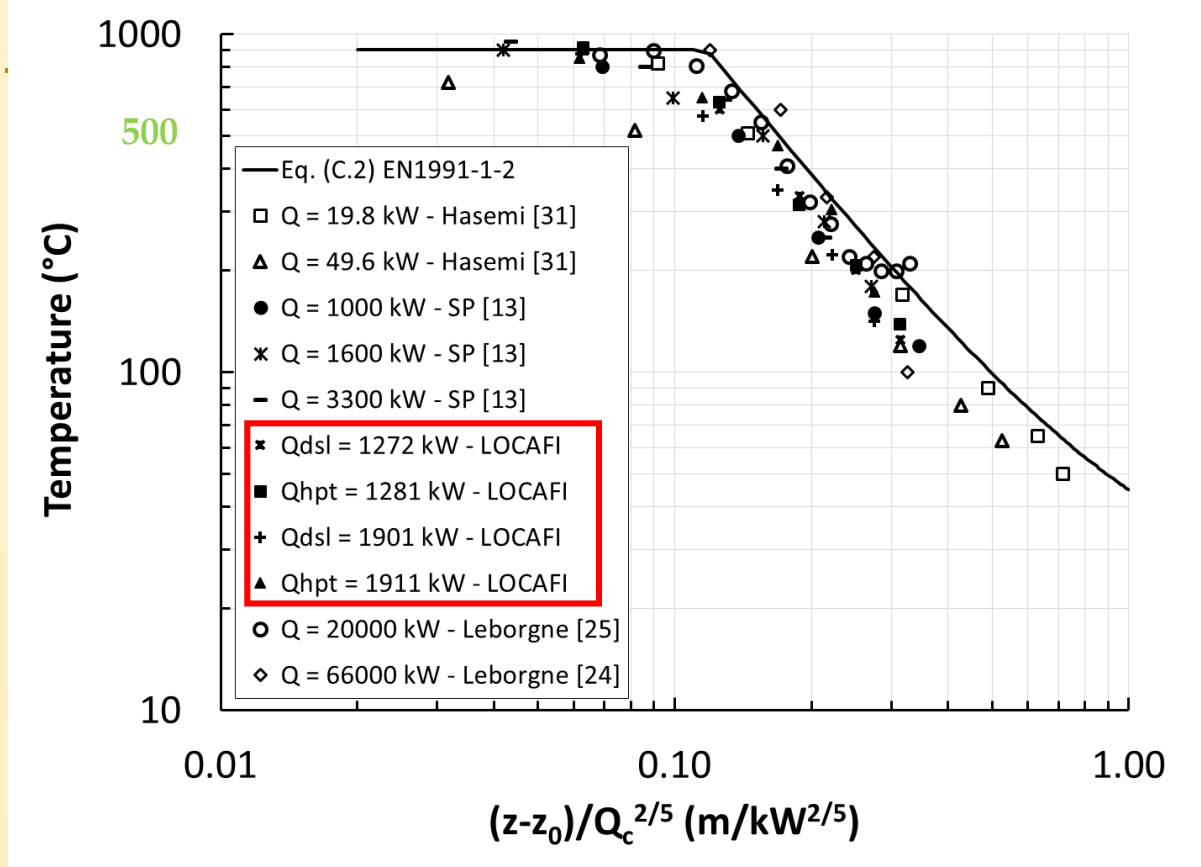


Heskestad'i korrelatsioon (EN 1991-1-2) ülehindab temperatuure leegis nii piirkonnas $\theta_g \geq 500°C$ kui ka $\theta_g < 500°C$

3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

Katsed LIEGE ülikoolis

Eksperimentaalsed mõõtmised: temperatuurid ja vood



EN 1991-1-2 kohane korrelatsioon annab häid tulemusi temperatuuri hindamisel erinevates tsoonides nii leegis ($\theta_g \geq 500°C$) kui selle kohal ($\theta_g < 500°C$).

3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

Katsed Ulsteri Ülikoolis

Leegist väljaspool asetsevatele elementidele mõjuv soojusvoog

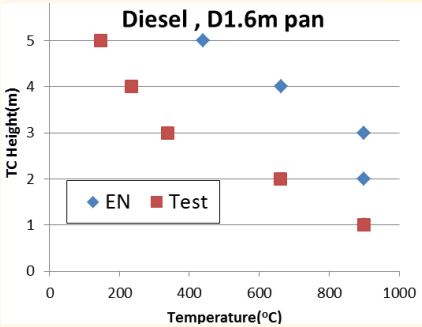
- Ulsteri ülikoolis tehti 58 katset, uurides järgmiste parameetrite mõjusid:
  - Lae olemasolu (37 katset ilma / 21 katset koos laega)
  - Tuleanumate arv (*1 kuni 4*) ja anumate diameeter (*2 diameetrit: 0.7m ja 1.6m*)
  - Põlevaine tüüp (*2 erinevat vedelkütust (diisel ja petrooleum) + 1 tselluloosi tüüpi aine*)
- 9mx9m konstruktsioonis kolme tüüpi poste (*I-ristlõige, H-ristlõige ja O-ristlõige*)
- HRR muutus ajas (ei juhitud) ja mõõdeti kalorimeetriga
- Leegi pikkust hinnati kaameraga leegi tekkimise tõenäosuse alusel

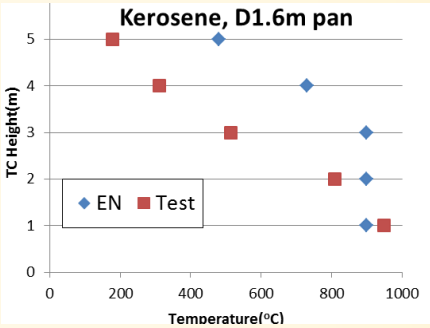
3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

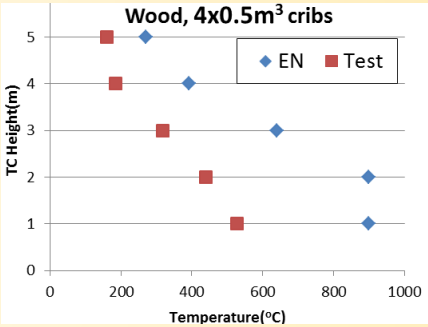
Katsed Ulsteri Ülikoolis

Eksperimentaalsed mõõtmised: leegi temperatuur

KÕRGUS	KATSE O8, I9 (PETROO-LEUM, D1.6M)		KATSE O10 (DIISEL, D1.6M)		KATSE O1,O2 (PETROO-LEUM, D0.7M)		KATSE O3,O4 (DIISEL, D0.7M)		KATSE O14 (PUIT CRIBS)	
	EN	KATSE	EN	KATSE	EN	KATSE	EN	KATSE	EN	KATSE
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





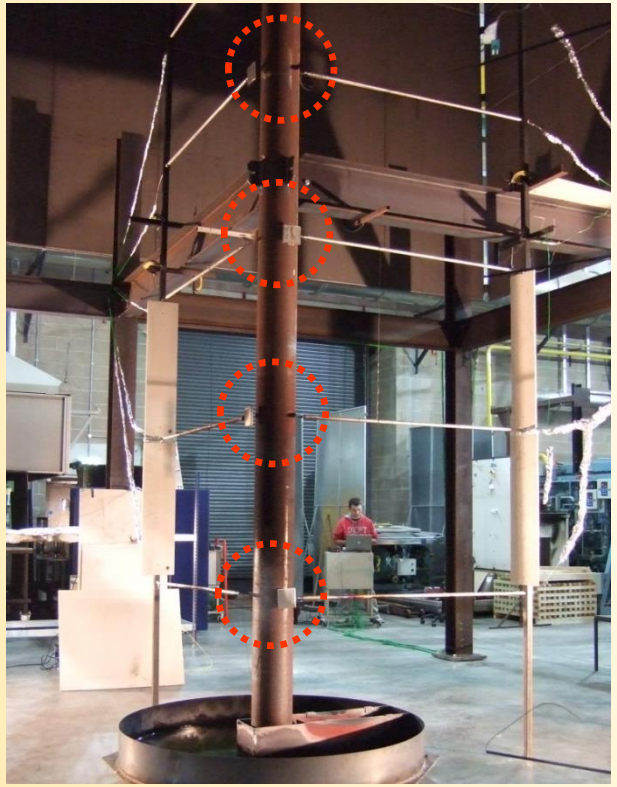


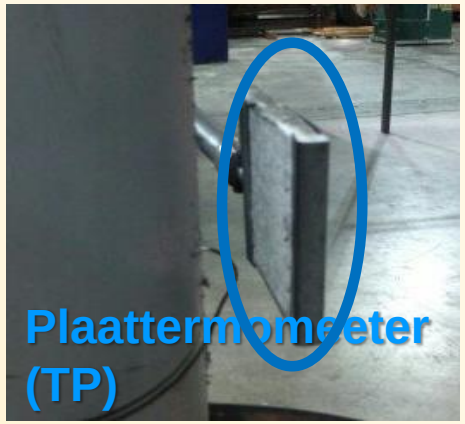
Need katsed kinnitavad, et Heskestadi korrelatsioon (EN 1991-1-2) ülehindab temperatuure leegis ($\theta_g \geq 500°C$) ja leegi kohal olevas tsoonis ($\theta_g < 500°C$).

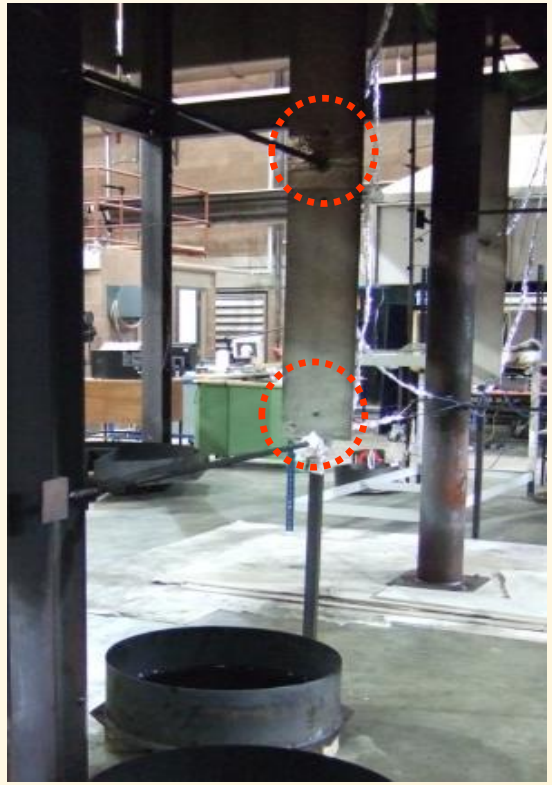
3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

Katsed Ulsteri Ülikoolis

Eksperimentaalsed mõõtmised: temperatuur ja vood tulest väljaspool





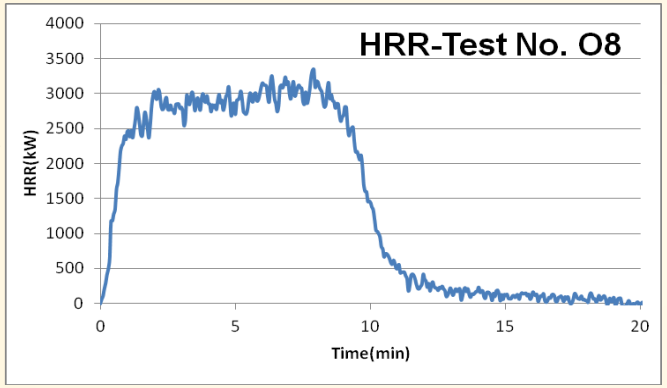


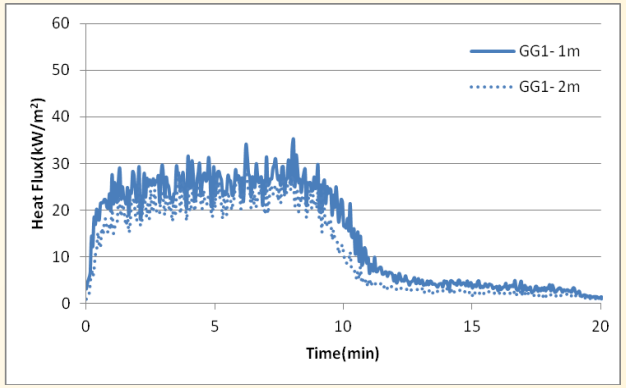
3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

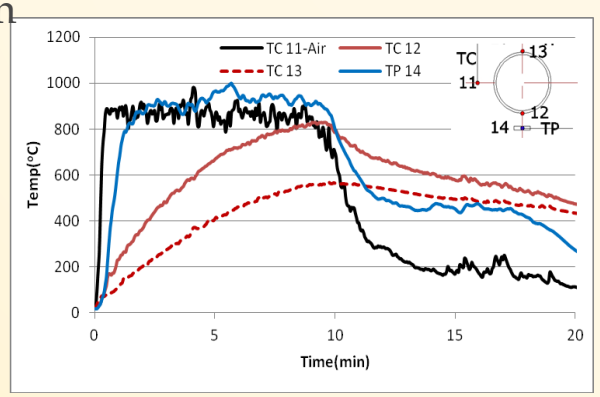
Katsed Ulsteri Ülikoolis

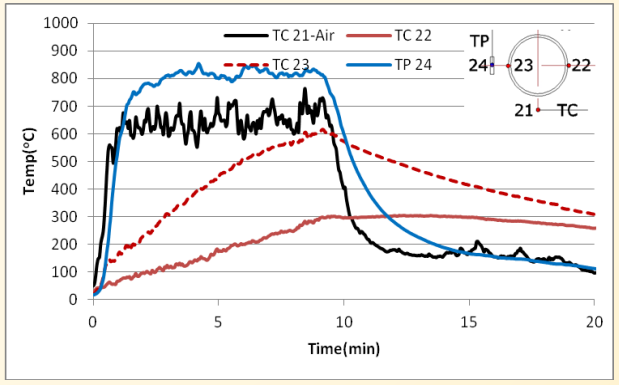
Eksperimentaalsed mõõtmised: katsest O8 saadud tulemused

- Tuleanumate arv : 1
- Tuleanuma diameeter: 1.6 m
- Põlevaine tüüp: Petrooleum
- Põlevaine kogus: 60 L
- Kaugus tuleanumast postini: 0 m
- Kaugus anduritest postini: 1.5m
- Lagi puudub









3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

CFD mudeli kalibreerimine FDS tarkvara kasutades

Eesmärgid

- Katsete arv ja nende käigus tehtud mõõtmiste hulk on piiratud.
- Labori ruumide piiratud mõõtmete tõttu ei olnud võimalik uurida kohaliku põlengu kõiki variante (Lisa C standardis EN 1991-1-2 käsitleb kuni D = 10 m ja Q = 50 MW)

→ **Pärast mudelite valideerimist on efektiivne tööriist, mis võimaldab saada suure hulga tulemusi, mis on vajalikud edasiseks analüütiliste meetodite arendamiseks**

- FDS tarkvara on vabavara, mida arendab NIST ja mida tuleohutuse alal laialdaselt kasutatakse

FDS mudelite kalibreerimiseks valiti 5 katset järgmiste kriteeriumite järgi

- Katsed, mis toimusi konstantsete ja juhitud tingimuste kohaselt (Liège) ja vabades tingimustes (Ulster)
- Katsed, mis andsid pikaajalisis ja püsivaid tulemusi
- Erinevat tüüpi põlevainega, väikeste ja suurte tuleanumatega, laega ja ilma laeta tingimustes tehtud katsed,…

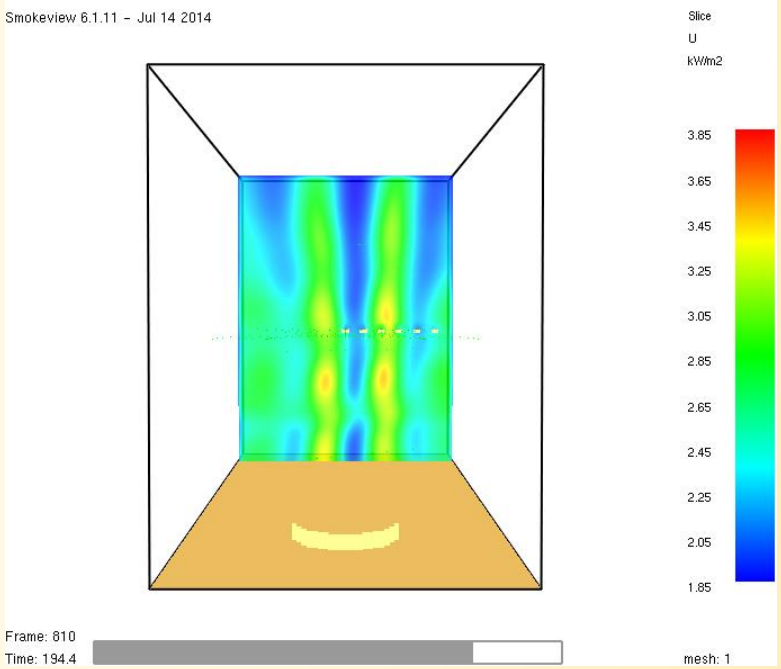
3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

CFD mudeli kalibreerimine FDS tarkvara kasutades

Kalibreetimisparameetrid

Kõige suurema mõjuga parameetrid kalibreerimisel olid:

- Turbulentsi mudel (Smagorinski, $C_s = 0.1$)
- Põlevaine omadused, näiteks tahmasaagis, mis on võetud kirjandusest (üleventileeritud tingimused)
- Kiirgusnurkade arv (200)
- Kiirguskao osakaal (vahemikus 0.2-0.5, peamiselt sõltub põlevaine tüübist ja tule diameetist)
- Tuule mõju (mõõtmistulemuste alusel)
- Võrgu tihedus (turbulentsi resolutsiooni iseloomuliku mõõtme alusel)



Soojusvoo muutumine kiirgusnurkade ebapiisava arvu tõttu

3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

CFD mudeli kalibreerimine FDS tarkvara kasutades

Katse ULG 06 (D = 1m, heptaan, ilma postideta)

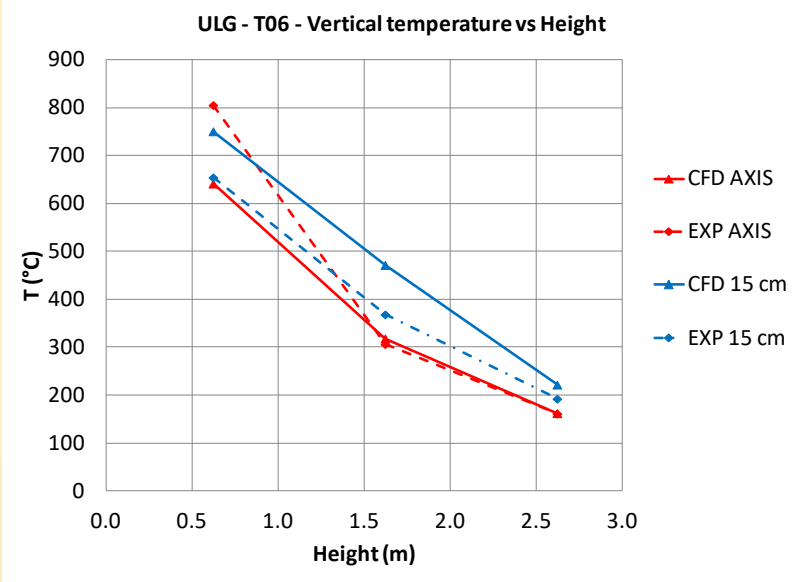
Keksmine küttuse hulk q_{fuel}	0.98 l/min
Küttuse tihedus ρ	675 kg/m^3
Tahma saagis y_{soot}	0.037
Ideaalne põlemissoojus $\Delta H_{c,ideal}$	44600 kJ/kg
Põlemissoojus ΔH_c	41200 kJ/kg
RHR arvutatud $\Delta H_{c,ideal}$ järgi	491.7 kW (626.1 kW/m^2)

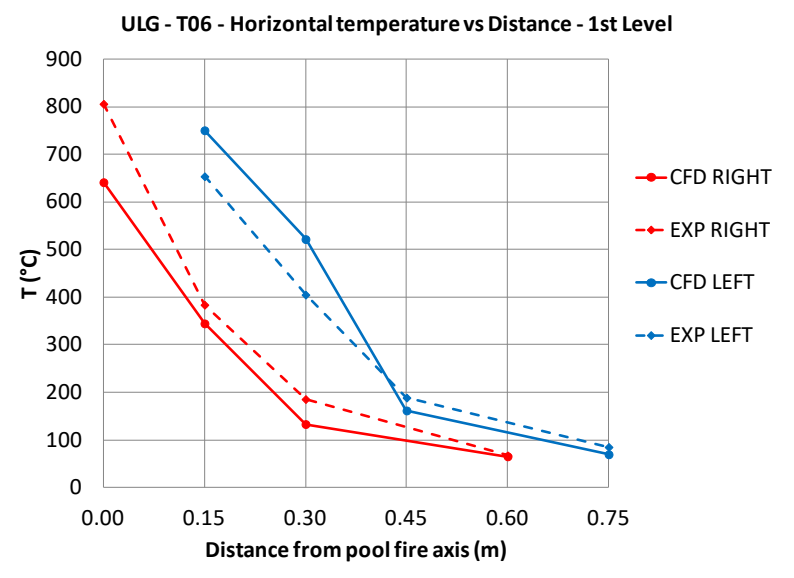
- CFD mudeli mõõtmed: 5.75m x 3m x 4m
- Võrgu tihedus: 5cm x 5 cm x 5 cm
- Tuule kiirus: 0.22 m/s
- Kiirguse kao osakaal: 0.45 (SFPE)

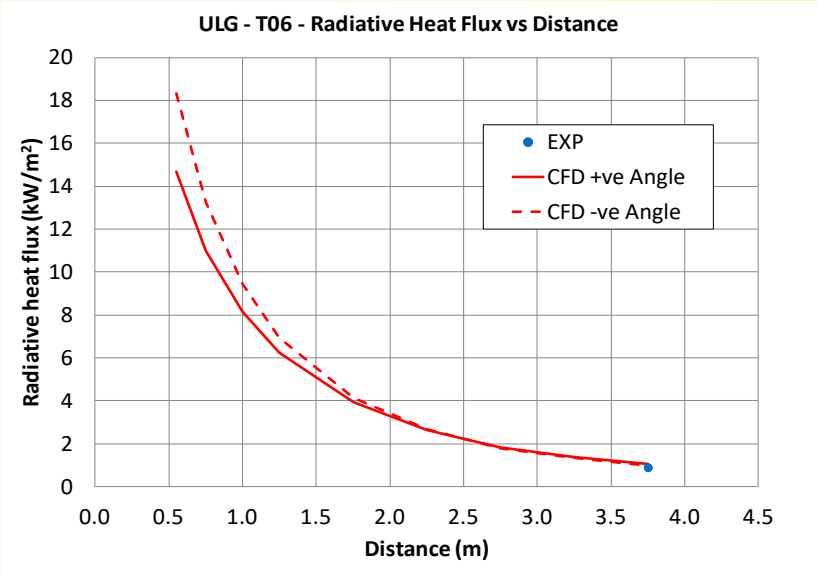
3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

CFD mudeli kalibreerimine FDS tarkvara kasutades

Katse ULG 06 (D = 1m, heptaan, ilma postideta)







3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

CFD mudeli kalibreerimine FDS tarkvara kasutades

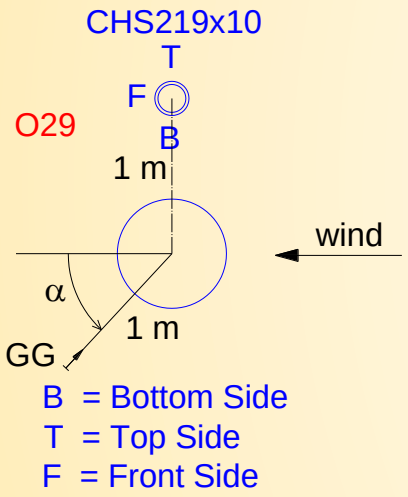
Kütuse tihedus ρ	823 kg/m^3
Tahma saagis y_{soot}	0.10
Ideaalne põlemissoojus $\Delta H_{c,ideal}$	44000 kJ/kg
Põlemissoojus ΔH_c	41200 kJ/kg
RHR arvutatud $\Delta H_{c,ideal}$ järgi	491.5 kW (1277.1 kW/m^2)

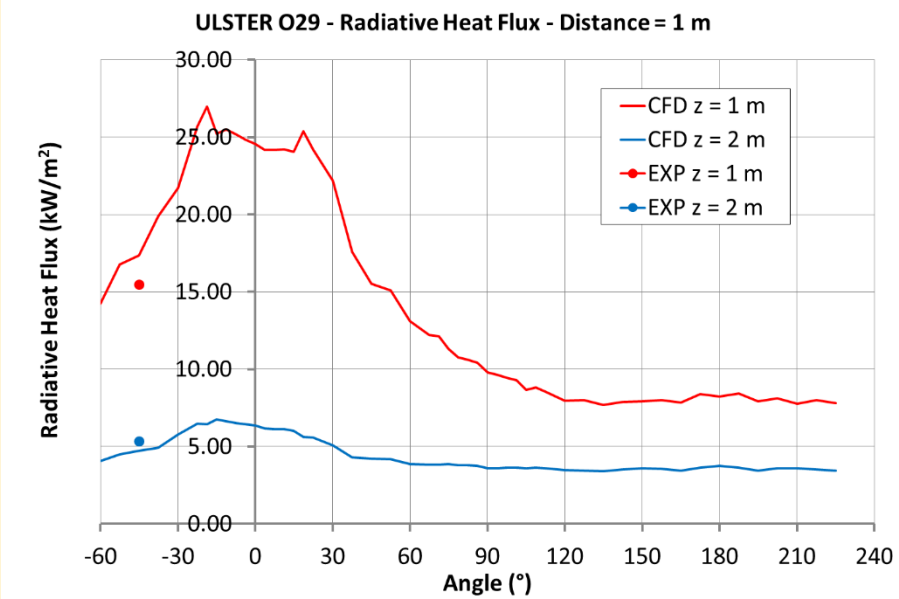
- CFD mudeli mõõtmed: 7m x 7m x 3.5m
- Võrgu tihedus: 5cm x 5 cm x 5 cm
- Tuule kiirus: 0.76 m/s
- Kiirguskao osakaal: 0.45 (SFPE)

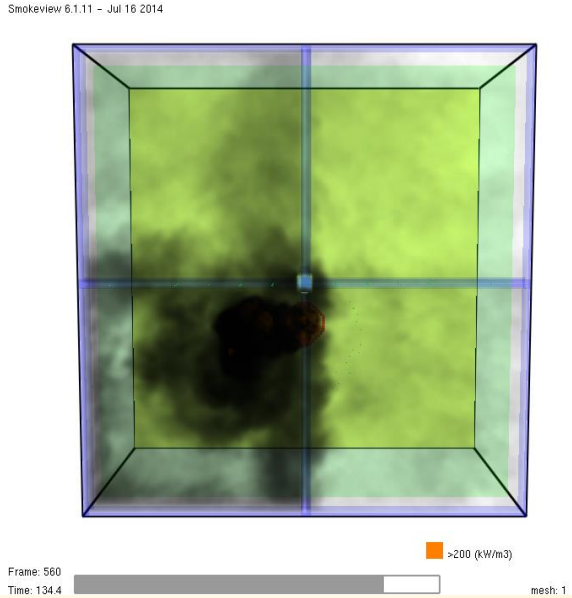
3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

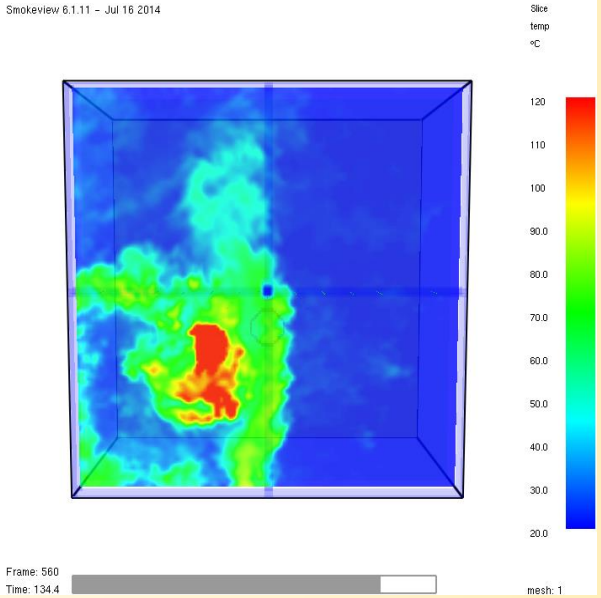
CFD mudeli kalibreerimine FDS tarkvara kasutades

Katse Ulster O29 (D = 0.7m, diisel, lagi kõrgusel 3.5m)









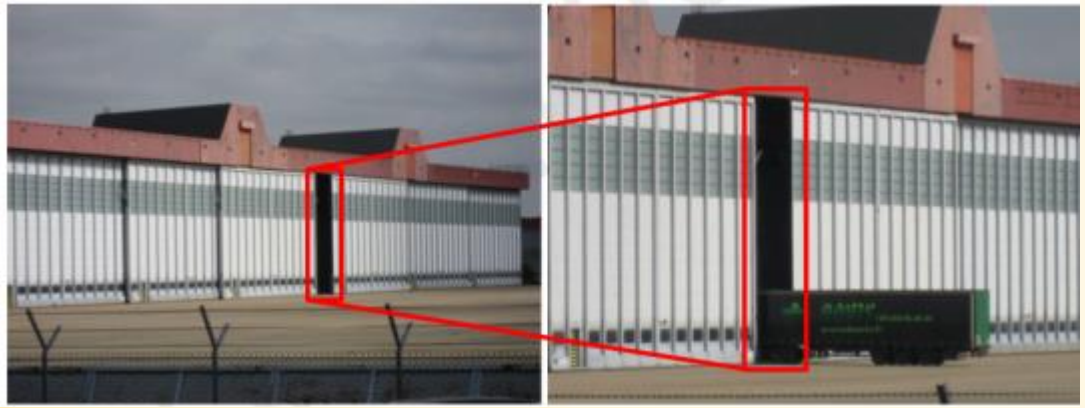
z (m)	CFD RHFG GG (kW/m²)	EXP GG (kW/m²)	Viga (%)
1	17.35	15.45	12.3
2	4.71	5.32	-11.5

3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

Katsed Pantsusmaal (ei kuulu LOCAFI+ projekti)

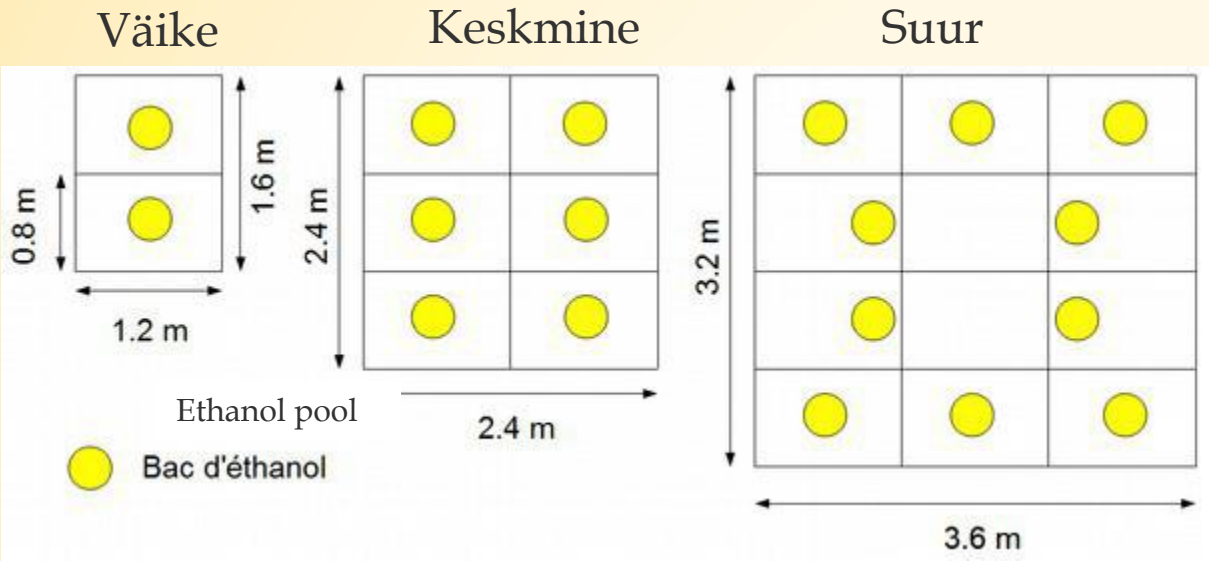
Suuremõõtmelised katsed LCPP initsiatiivil:

- Peamine ruum: 300 m x 50 x 17 m
- 2 tüüpi põlevainet: puidust kaubaalused / petrooleum
- Korduvad põlemiskatsed
- Hästi varustatud anduritega: termopaarid, soojusvoo andurid, video (IR ja tavaline)



18

3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

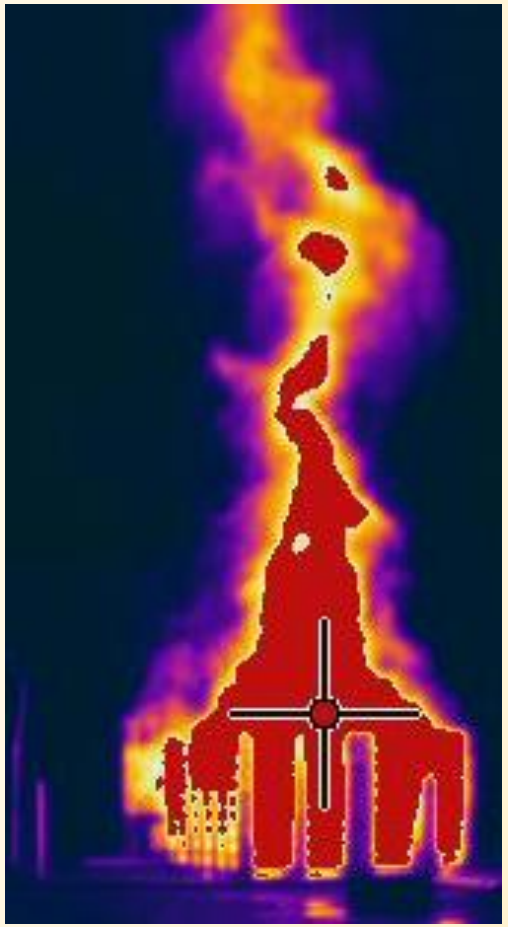


Väike katse: ~ 20 kaubaalust
Keskmine katse: ~ 60 kaubaalust
Suur katse: ~ 110 kaubaalust

19

3. Eksperimendid ja CFD kalibreerimine

HRR ~ 30 MW



20