



Välimeri Bgayeth...DZ, 2006

Lectio Praecursoria 9.11.2007 / 1

Thermal models for fire safety -  
calculation of flame spread on surface and  
heating of structures

Termiset mallit paloturvallisuudessa –  
liekin leviäminen pinnoilla ja  
rakenteiden lämpeneminen

Djebar BAROUDI

TKK Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto  
Rakenteiden mekaniikan laboratorio

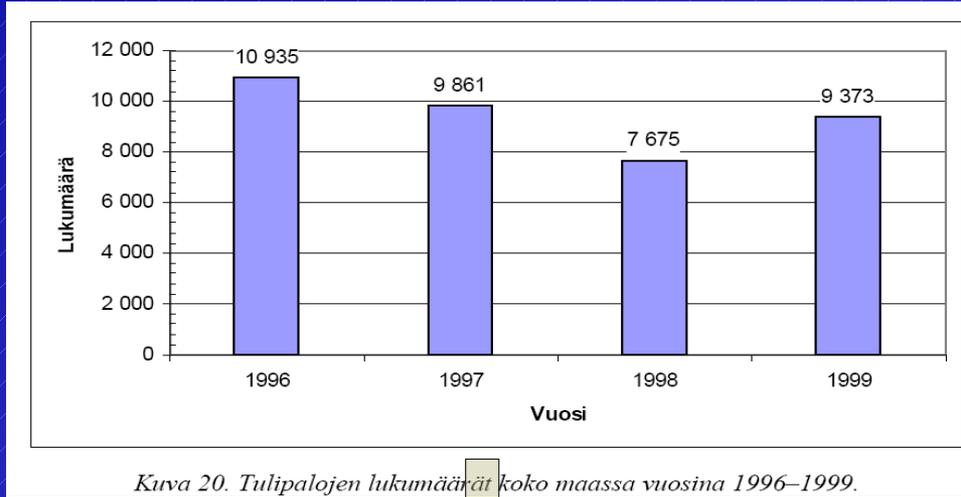
# Esitelmän sisältö

- Palotekniikka ja -tutkimus: mitä ja miksi?
- Palamisesta
- Kohtia väitöskirjasta

# Palotilastoja



Lähde: VTT-Palotekniikka

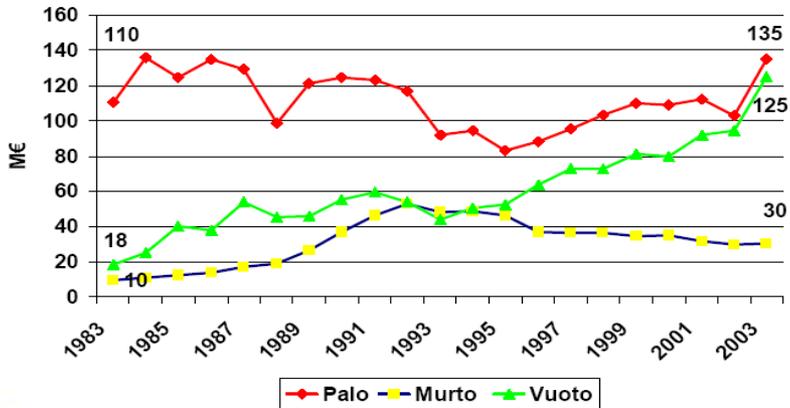


Kuva 20. Tulipalojen lukumäärät koko maassa vuosina 1996–1999.

K. Tillander & O. Keski-Rahkonen, Rakennusten syttymistaajuudet PRONTO-tietokannasta 1996-1999. VTT Tiedotteita 2119, Espoo 2001

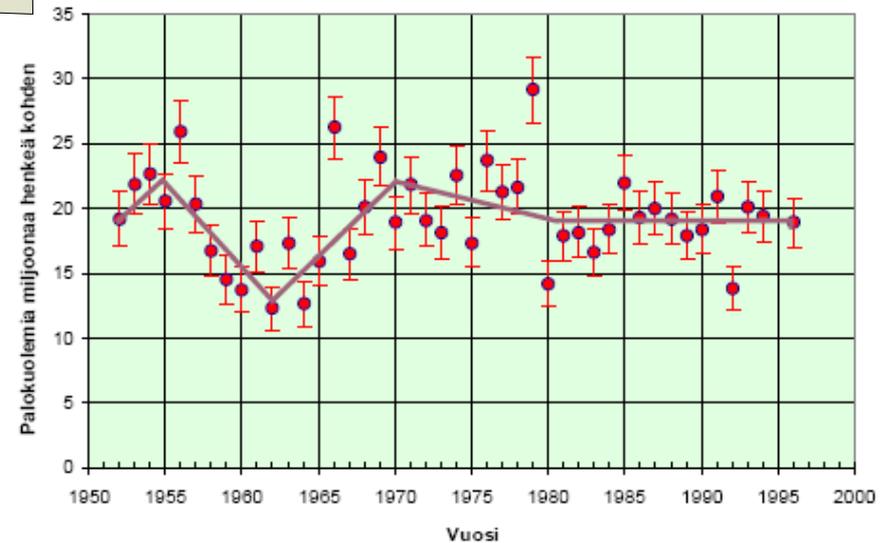
## VUOTOVAHINGOT

Vakuutusalan korvaamat palo-, murto- ja vuotovahingot 1983-2003



VAKUUTUSYHTIÖIDEN KESKUSLIITTO

VAKUUTUSYHTIÖIDEN KESKUSLIITTO



# Miksi palotutkimusta?

- n. 12 000 tulipaloa/vuosi Suomessa
- n. 100 ihmistä/vuosi kuolee Suomessa tulipaloissa
- omaisuusvahingot; n. 100 M€/vuosi (rakennuspaloja)
- kulttuuriperinnönvahingot
- ympäristövahingot
- häiriöitä yhteiskunnan toimintaan

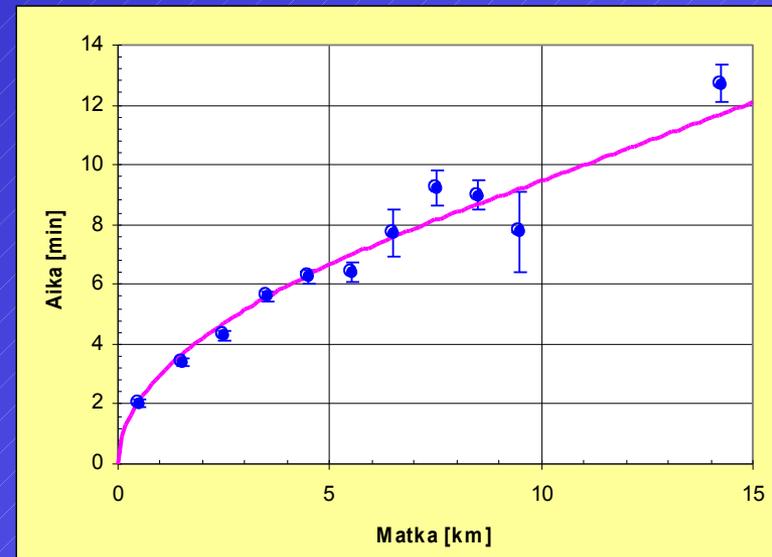
Tulipalon tuntemus ilmiönä antaa edellytykset oikeisiin toimenpiteisiin

# Mitä on palotekniikka?

- monitieteinen tutkimuskenttä
- **tavoitteena paloturvallisuuden parantaminen**
- paloturvallisuuden tavoite on suojata ihmisiä ja varallisuutta (+ ympäristöä ja kulttuuriperintöä) palolta ja sen uhalta
- tutkii paloa
- tutkii tuotteen/rakenteen/ihmisen käyttäytymistä tulipalossa ...
- pitkälle säädelty ala (säädökset ja suositukset)
- huom! palotekniikka ei ole sama kuin polttotekniikka

# Paloturvallisuuden vaikuttavia tekijöitä

- palokaasujen myrkyllisyys
- rakenteiden palonkestävyys, osastointi, ...
- näkevyys
- poistumisteiden/-ovien riittävyys ja näkyvyys
- palo-/savuilmaisimet ja hälyttimet sekä hälytysjärjestelmät
- sprinklerit, vesisumut, tms...
- savunhallinta järjestelmät
- palokunnan toimintavalmiusaika
- ... *esim.* ajoaika kohteeseen >>>



# Paloturvallisuustoimenpiteet

- syttymisen estäminen
- palon kehittymisen hidastaminen
- palon rajoittaminen ja sammuttaminen
- savunpoisto
- evakuointi
- pelastaminen
- palontorjunta (aktiivinen/passiivinen)
- ...

# Palamisen perusedellytykset

**Palotetraedri**  
(myös palokolmio)  
(the fire tetrahedron)



- **1: Happi**

- **3: Katkeamaton ketjureaktio**

$$\omega = A \cdot \underbrace{\rho_O^m}_{\text{Oxygen}} \cdot \underbrace{\rho_F^n}_{\text{Fuel}} \cdot \exp\left(-\frac{E_A}{R \cdot T}\right)$$

Sustained chemical reaction      (Heat) energy

- **2: Polttoaine**

- **4: (Lämpö)energia**

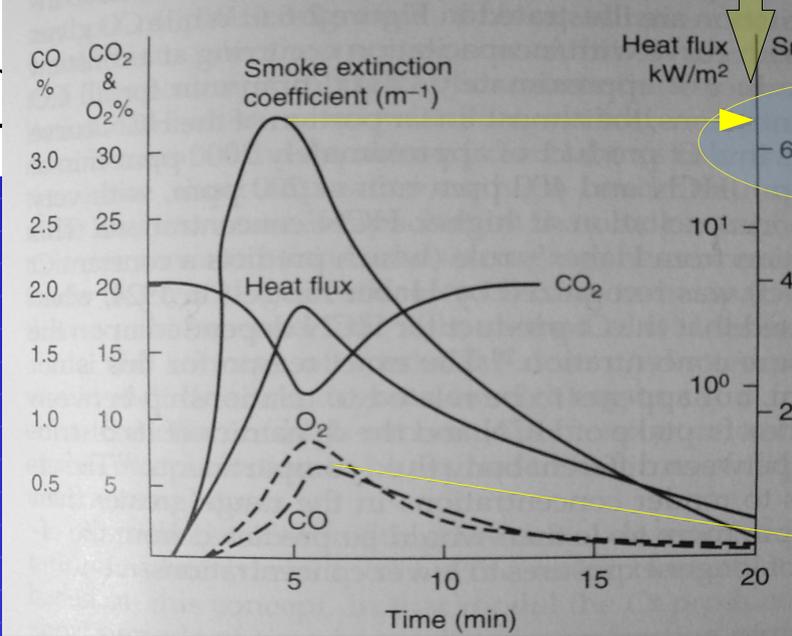
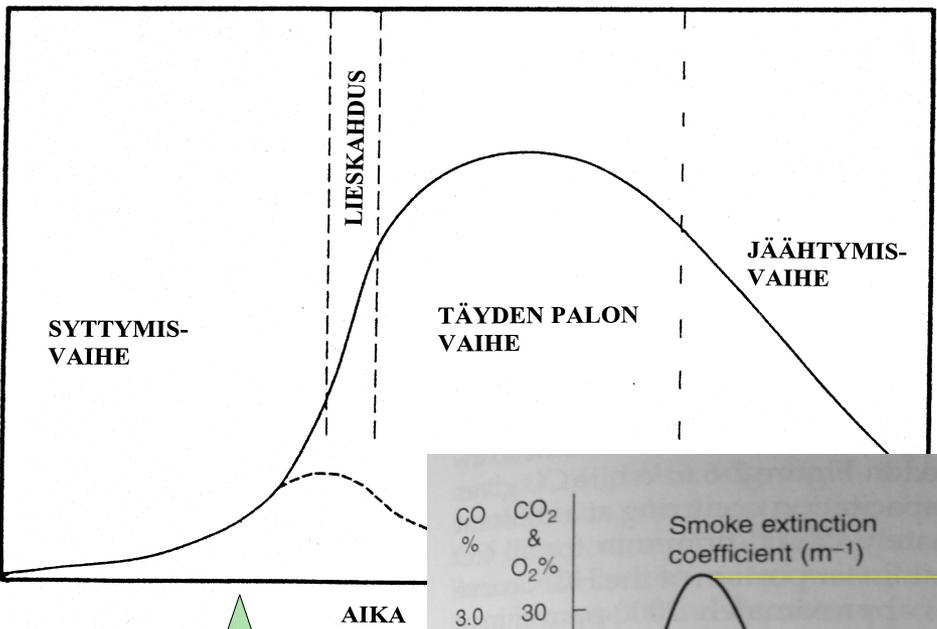
Palotetraedri → jos yksikin 4:stä elementistä "puuttuu", niin palo ei syty tai se sammuu

# Palon kehittyminen

Lämpövuo ja savu ja palokaasuja:  
sohvapalo huoneessa n.40m<sup>3</sup>  
2.1 m oven aukossa

SFPE, 3rd. Ed.

LÄMPÖTILA



näkyvyys:  
~ 1 m light-emitting sign  
~ 0.5 m light-reflecting sign

**Hiilimono-oxidi**

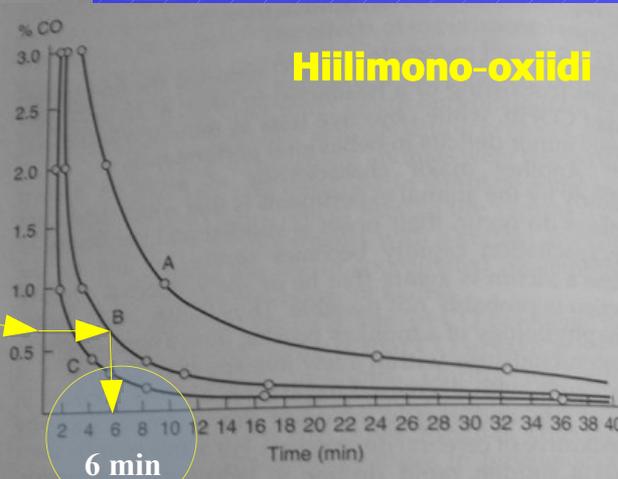
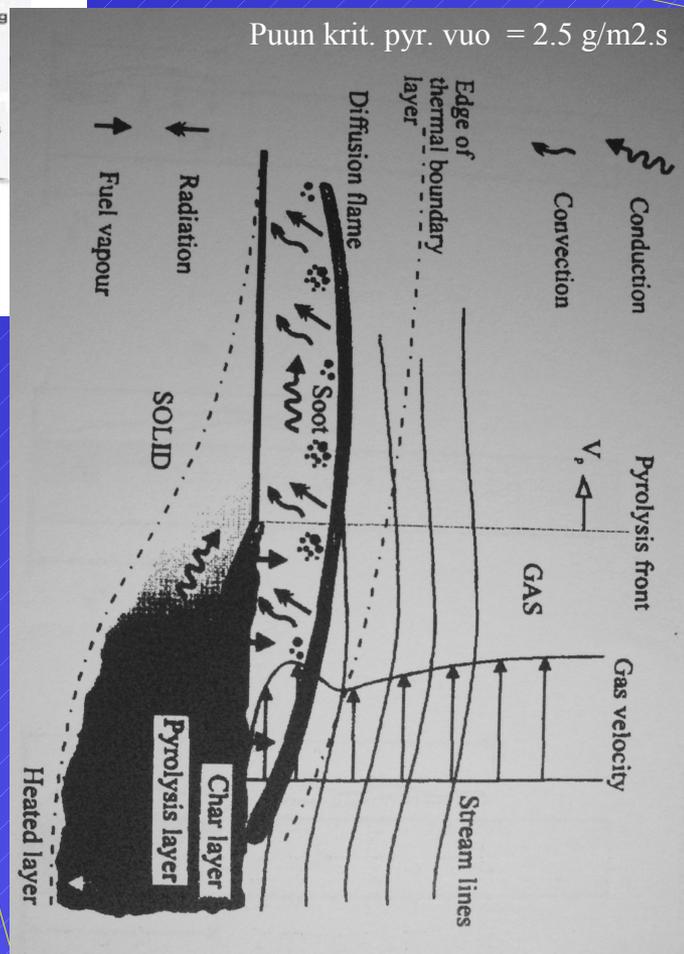
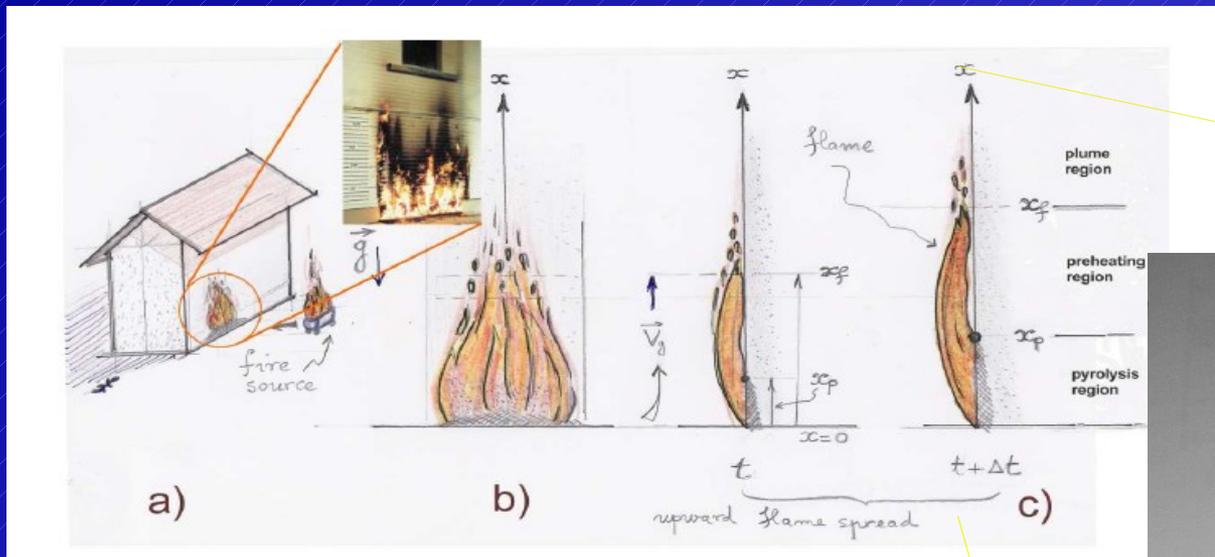


Figure 2-6-14. Time to incapacitation by carbon monoxide for a 70 kg human at different levels of activity. Curve A—40 percent carboxyhemoglobin RMV 8.5 L/min at rest sitting; Curve B—30 percent carboxyhemoglobin RMV 25 L/min, light work (e.g., walking 6.4 km/h); Curve C—20 percent carboxyhemoglobin RMV 50 L/min, heavy work (e.g., slow running 8.5 km/h) (or for walking 5.6 km/h up a 17 percent gradient).

Lämpötilan kehitys  
palossa

Palokaasujen  
myrkyllisyys

# Pystysuuntainen liekin leviäminen



- *paloteho* riippuu liekin leviämisenopeudesta ( $1 \text{ m}^3$  liekki = 1 MW)
- osa palotehoa lämmittää rakenteita
- rakenteiden kantokyky ja ominaisuudet huonenevat lämpöpitan noustessa
  - rakenteiden lämpenemisen laskenta tärkeätä → poistumisajat, ja turvalliset toiminta-ajat palomiehille
- *paloteho on tärkeimmistä kuormista paloturvallisuustarkasteluissa* (& kaasuemissiot, CO, HCN, ...)

# Väitöstyön alustava tutkimus eli, mikä on ollut se kipinä ...

*näin se oli ...v. 1992*

Djebar Baroudi & Matti Kokkala,  
Analysis of Upward Flame Spread  
(Pysytysuuntaisen liekin leviämisestä)  
Project 5 of the EUREFIC fire research programme  
VTT Publications 89, Espoo 1992, Pp. 49

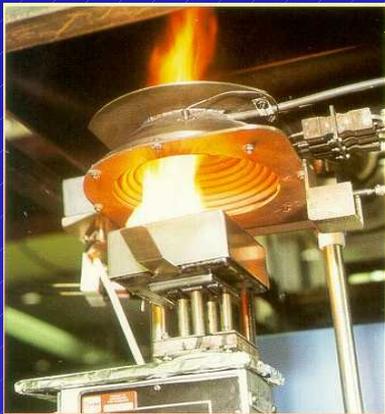
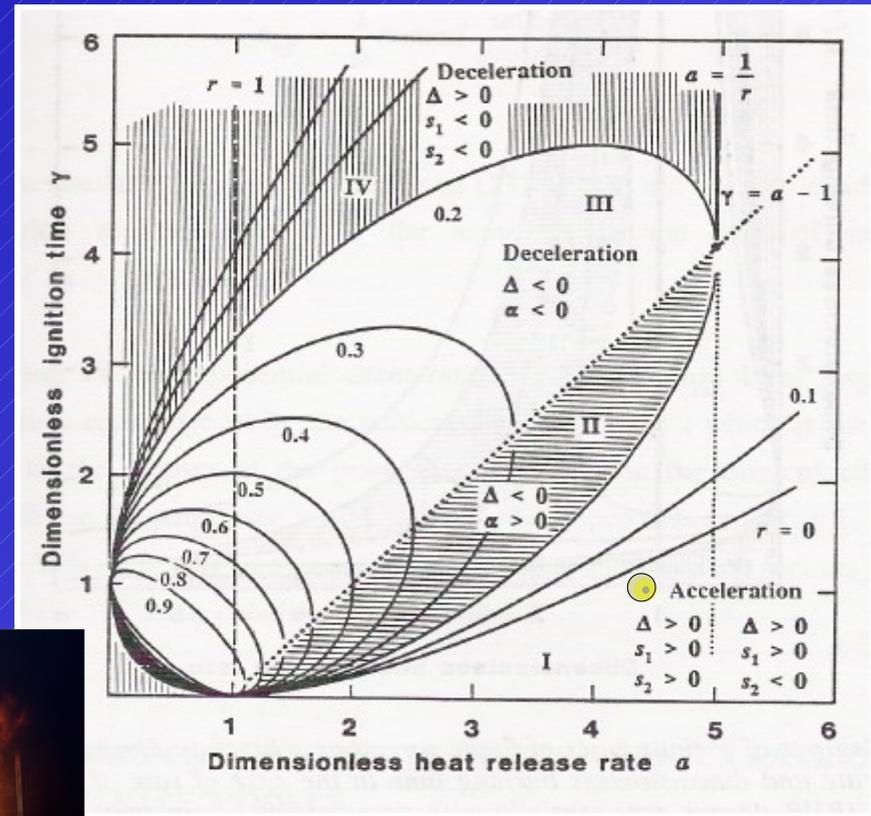
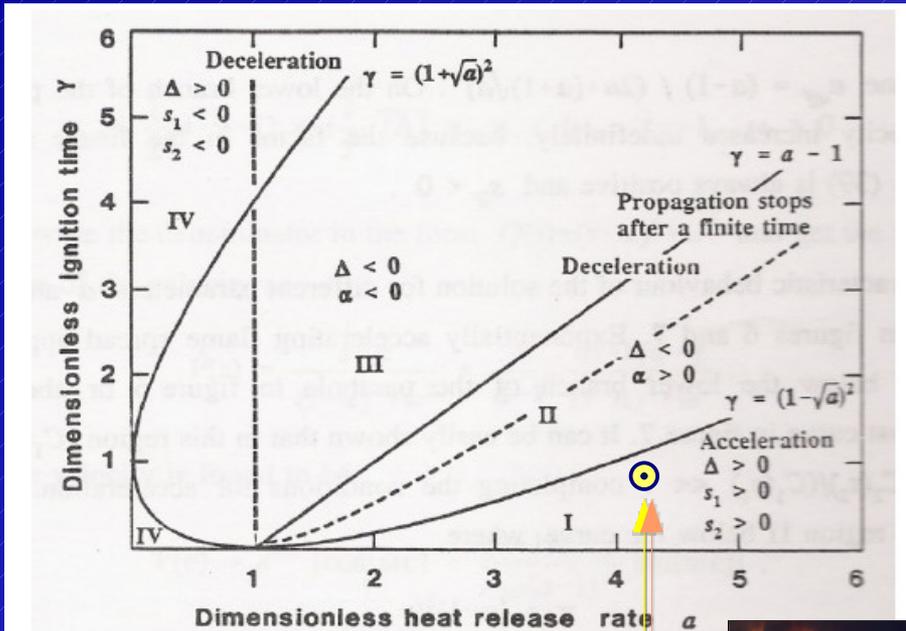
- ▶ Halu ymmärtää *liekinkasvua isoissa tiloissa, joissa korkeat seinät pinnoitettu palavalla materiaalilla*
  - *Analysoitiin teoreettisesti liekin leviämistä seinäpinnoitteilla:*  
Työ oli osana Pohjoismaisen tutkimusohjelmaa “**EUREFIC**” -  
**EU**ropean **RE**actionto-**FI**re **C**lassification”
    - **SP**, Swedish National Testing and Research Institute
    - **Dantest**, Norja, Denmark
    - **VTT**, Palotekniikka (nykyinen Palotutkimus), Fire Technology Lab. (Fire Research)
    - **SINTEF**, **NBL**, Norjan Palotutkimuslaboratorio, Norwegian Fire Research Lab.

## Kehitettiin:

- *Uusi menetelmä* arvioida pinnoitemateriaalien paloturvallisuutta (liekin leviämisen suhteen):  
*“Baroudi-Kokkala”-diagrammit*
  - ▶ Nämä *diagrammit* karakterisoivat pinnoitteiden liekin leviämisominaisuudet perustuen pienen mittakaavan kokeisiin
  - ▶ Ne myös vastaavat kysymykseen: *leviääkö liekki k.o. pinnoitteella vai ei? miten?*
  - ▶ Ne osoittivat, *enimmäistä kertaa*, miten suhteuttaa, yhden skenaarion koetulokset, seinä- ja katto pinnoitetuotekokeissa, toiseen skenaarion koetuloksiin
  - ▶ mahdollistivat tulkita koeaineiston suurimittakaavan kokeissa, mm. EUREFIC tutkimusprojektissa

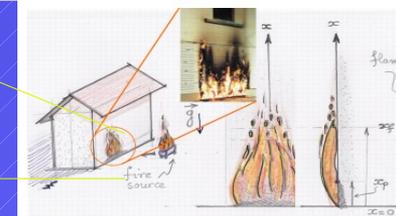
# B-K diagrammeista

Lähde: Baroudi D. & M. Kokkala,  
VTT Publications 89, Espoo 1992



- I => yleissytyminen (**levittävä**)
- II ja III => voi johtaa yleissytytykseen pienessä tilassa (**heikosti itse-sammuva**)
- IV => ei-johda yleissytytykseen (**vahvasti sammuva**)

• *Valokuva:* T. Oksanen, T. Hakkarainen. Puujulkisivujen paloturvallisuus sprinklatuissa kerrostaloissa, VTT – tiedotteita, 1736, Espoo 1996



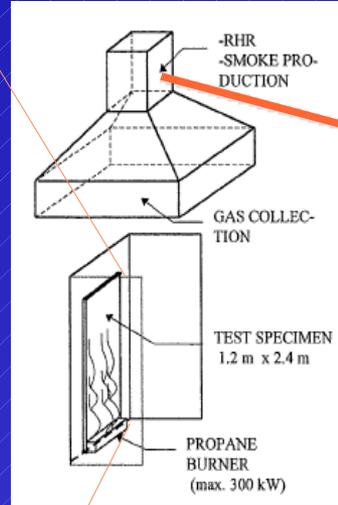
# Kohtia väitöstyöstä ...

# Liekin leviämismalli ... I

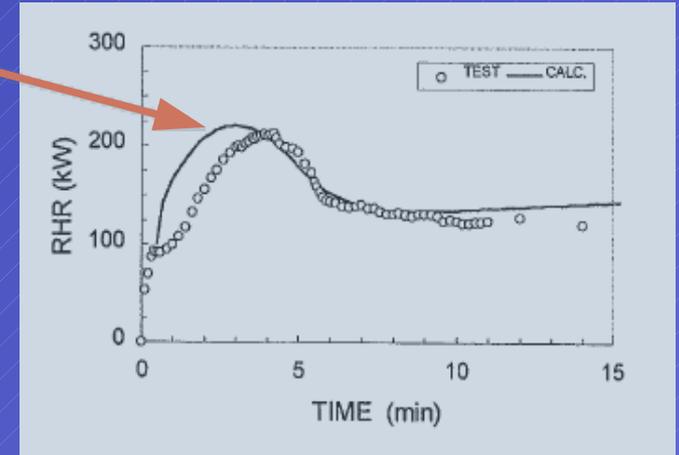
## Upward Flame Spread on Wooden Surface Products: Experiments and Numerical Modelling

MATTI KOKKALA, DJEBAR BAROUDI and WILLIAM J. PARKER<sup>1</sup>

Large-scale upward flame spread tests on wood products



### Paloteho (kW), MALLI versus KOE

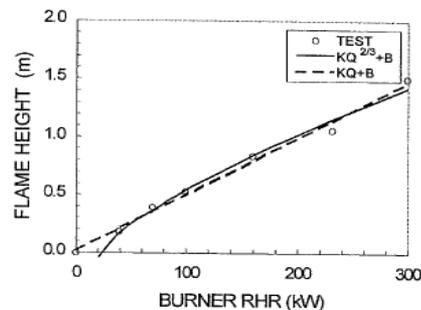
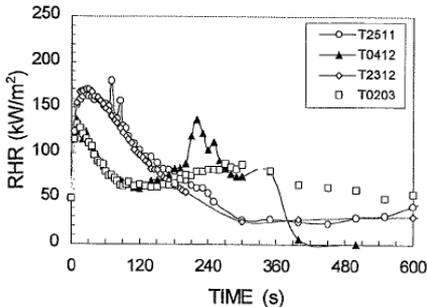


rates of heat release as a function of time in the test T2312: particle board on calcium silicate board; burner output 100 kW.



### Ennustetaan

- liekin leviämistä
- palamisnopeutta (palotehoa, kW)

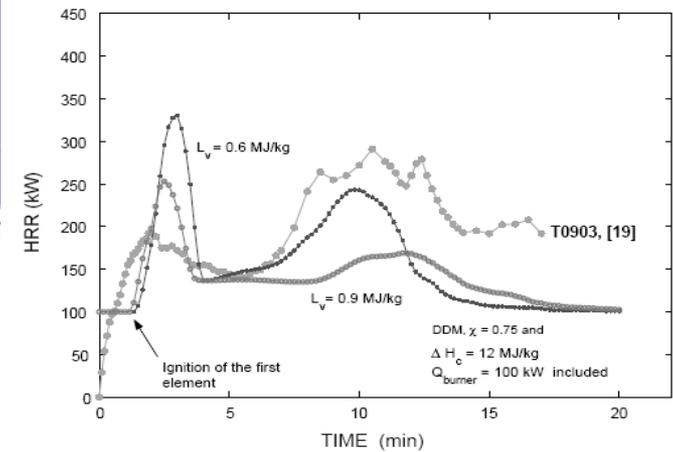
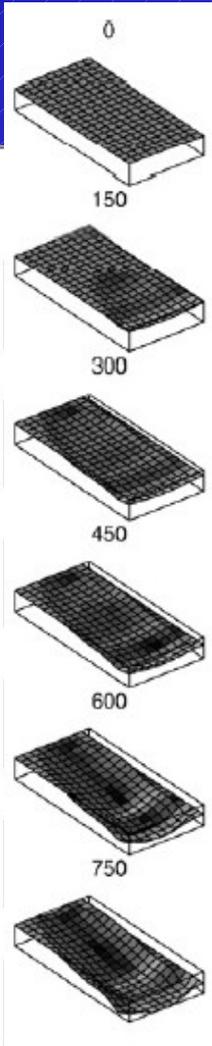


The work was funded by Suomen Puututkimus Oy, TEKES (Technology Development Centre).

# Liekin leviämismalli ... II

Pyrolyysikaasujen massavuo ( $\text{kg/m}^2$ ), MALLI

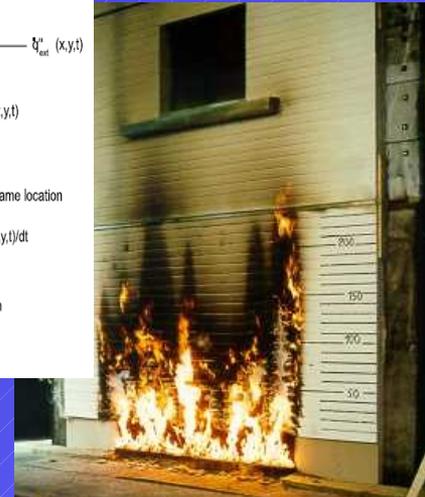
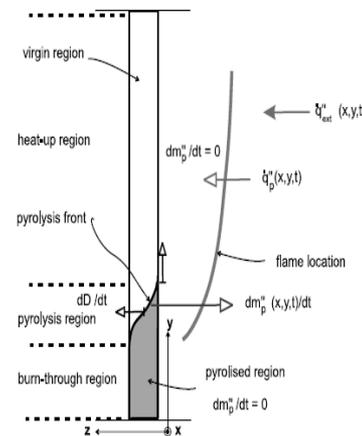
D. Baroudi / Fire Safety Journal 38 (2003) 53–84



Paloteho (kW), MALLI versus KOE

## Ennustetaan

- liekin leviämistä
- palamisnopeutta (palotehoa, kW)
- hiiltemissyvyyksiä



KIITOS ...

TACK ...

THANK YOU...

sum.^sum:->1



# Oscillatory flame spread!

- Under certain conditions, SQW Eqs. anticipates oscillatory behaviour...
- Experimentally, cyclic flame spread behaviour has been observed by Kokkala et al. and Hakkarainen et al. in large-scale upward flame spread tests on wood products at VTT

Particle board on min. wool

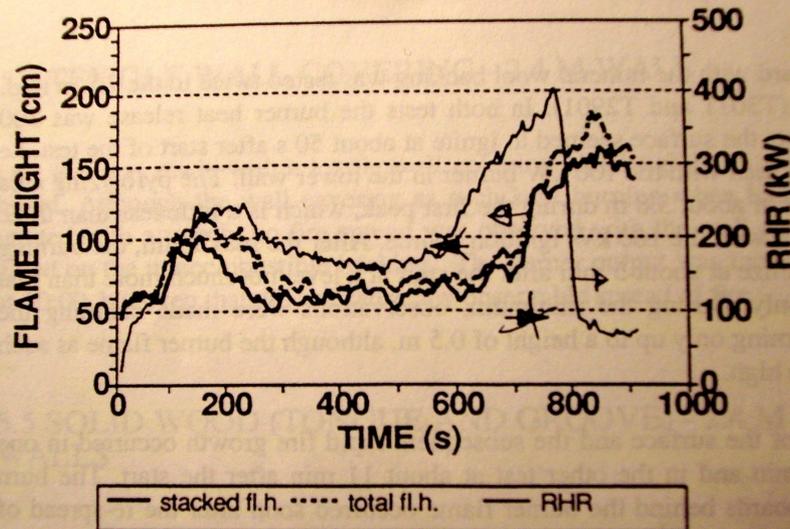


Figure 11a. Flame height as a function of time in test T2511.

• Matti Kokkala et al., *Large scale upward flame spread tests on wood products*, VTT – research notes, 1834, Espoo 1997

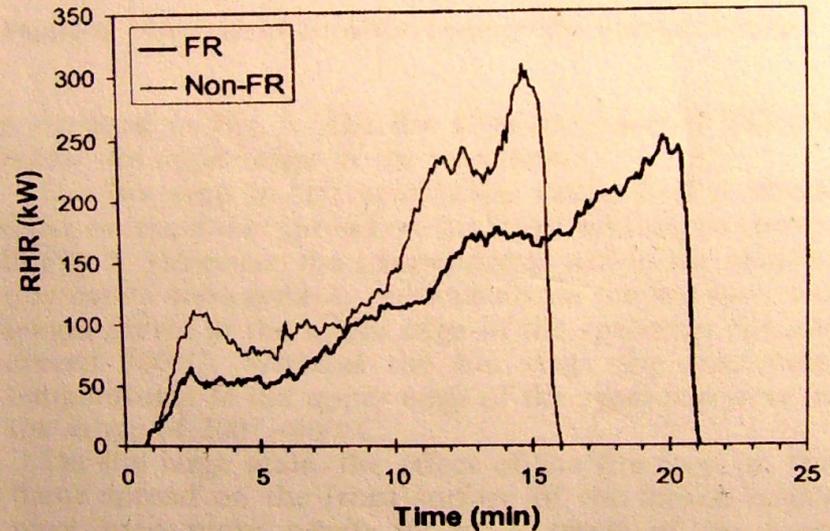


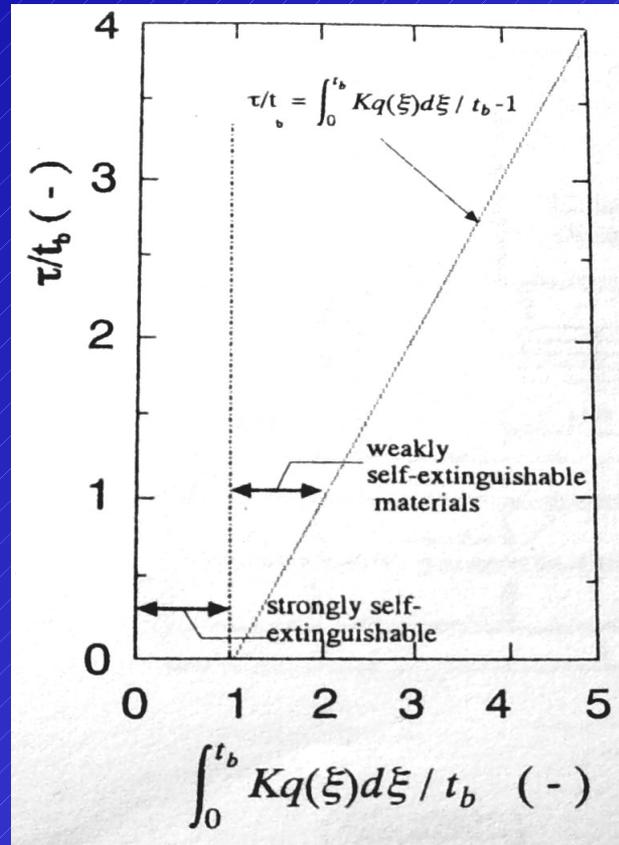
Figure 3. Rate of heat release of painted pine boards with and without FR treatment in intermediate-scale tests.

• Tuula Hakkarainen & Tuuli Oksanen, *Fire Safety Assessment of Wooden Facades*, FIRE AND MATERIALS, 2002:26: 7-27

$$x_f = k_f \dot{Q}'^n$$

$$V_p \equiv \frac{dx_p}{dt} = \frac{x_f - x_p}{t_{ig}},$$

$$\dot{Q}(t) = \dot{Q}_b(t) + w x_p(0) \dot{q}''(t) + \int_0^t w \dot{q}''(t - \tau) V_p(\tau) d\tau$$



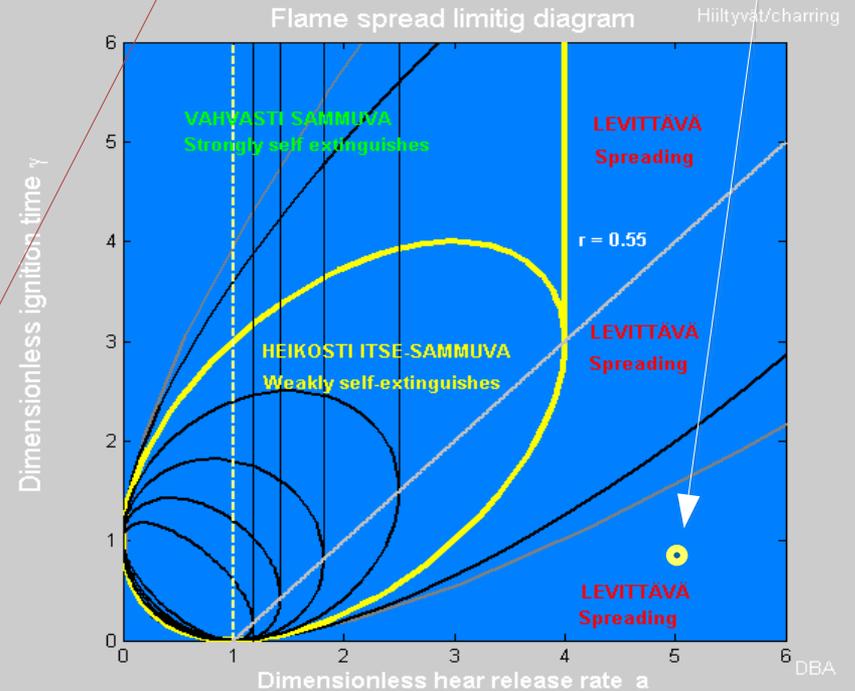
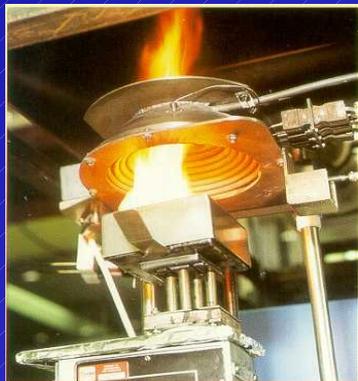
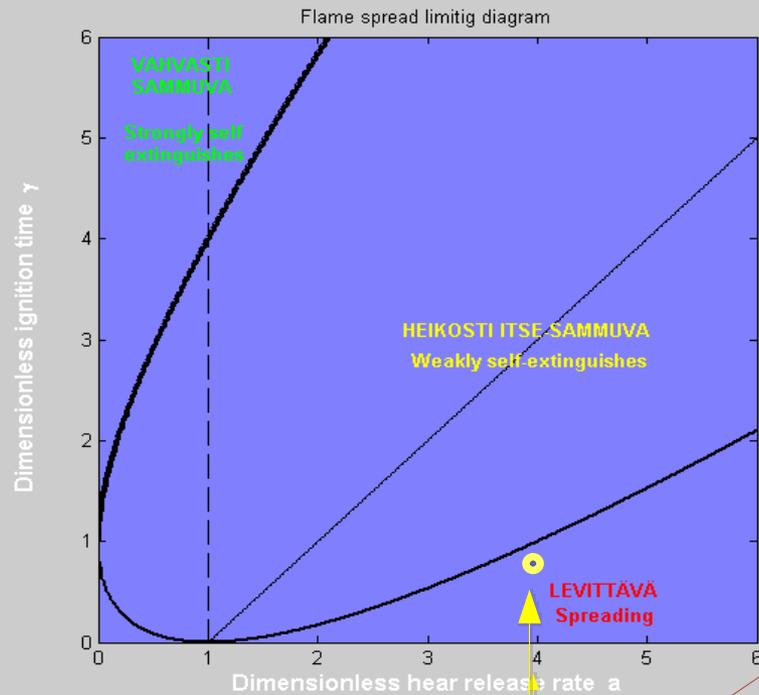
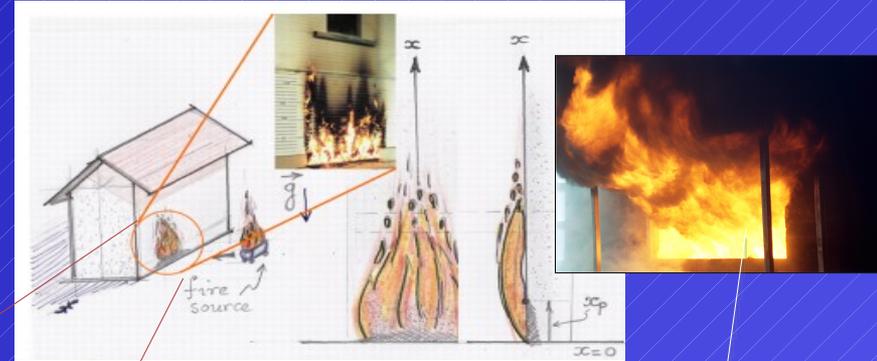
•Y. Hasemi, 1999

•Burnout accounted

•Howard W. Emmons invited Plenary Lecture

# B-K Rajadiagrammit

- I => yleissyttyminen (levittävä)
- II ja III => voi johtaa yleissyttymiseen pienessä tilassa (heikosti itse-sammuva)
- IV => ei johda yleissyttymiseen (vahvasti sammuva)



KIITOS ...

