



LUND  
UNIVERSITY

# Branddynamik

ETT VERKTYG VID UTREDNINGAR



# Innehåll

---

- Övertändning
- Fullt utvecklade brand
- Begränsad ventilation
- Spridning mellan byggnader



# Övertändning

# Övertändning

---

## ”Vägen” till övertändning

- Branden skapar en plym med varma brandgaser
- Ett varmt brandgaslager ackumuleras under taket
- Värmestrålning från det varma brandgaslagret och varma ytor värmer upp rummet
- Flamspridningshastigheten över brännbara ytor ökar
- Brandeffekten ökar
- Brandgaslagret blir ännu varmare

**Feedback**



# Övertändning

---

- 20 kW/m<sup>2</sup> strålningsintensitet mot golvet
  - Tillräckligt för att antända vanliga bränslen
- Brandgaslagrets temperatur 500-600°C
  - Ger ca 20 kW/m<sup>2</sup> mot golvet
- Flammor ut genom öppningar



# Övertändning

---

- Har övertändning inträffat?



# Brandeffekt för övertändning

---

- Definition av övertändning

– 500° C

$$\Delta T = 6.85 \left( \frac{\dot{Q}^2}{A_o \sqrt{H_o} h_k A_T} \right)^{1/3}$$

- $\Delta T = 500^\circ \text{ C}$

- Använd MQH metoden och lös ut  $\dot{Q}_{FLASHOVER} = \dot{Q}_{FO}$

$$\dot{Q}_{FO} = 610 \left( h_K A_T A_o \sqrt{H_o} \right)^{1/2}$$

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}}$$



# Brandeffekt för övertändning

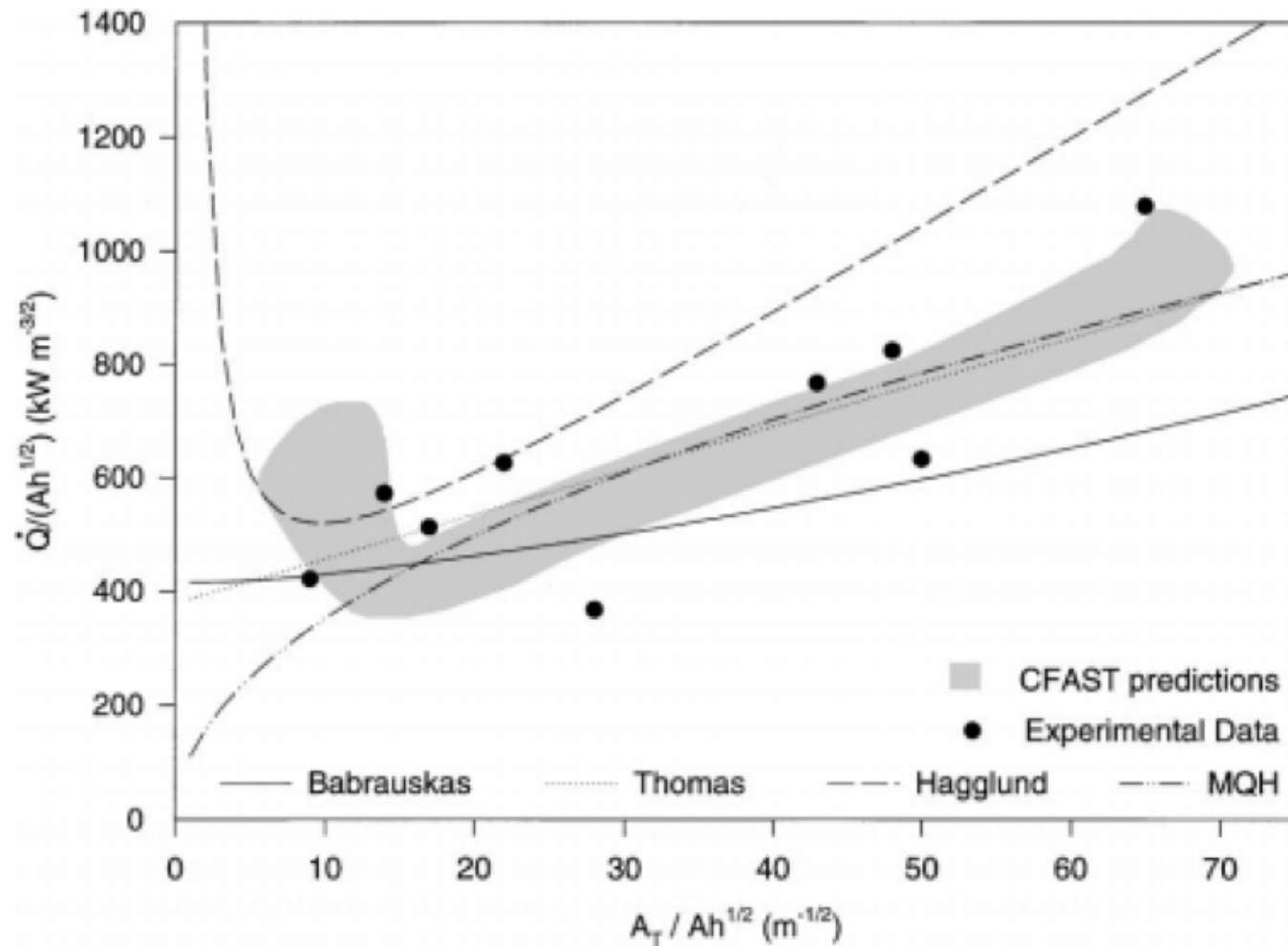
---

- MQH metoden  $\dot{Q}_{FO} = 610 \left( h_K A_T A_o \sqrt{H_o} \right)^{1/2}$
- Babrauskas metod  $\dot{Q}_{FO} = 750 \cdot \left( A_o \sqrt{H_o} \right)$
- Thomas metod  $\dot{Q}_{FO} = 7.8A_t + 378 \cdot \left( A_o \sqrt{H_o} \right)$
- Vad händer när  $A_T$ ,  $A_o$  or  $H_o$  går mot noll?





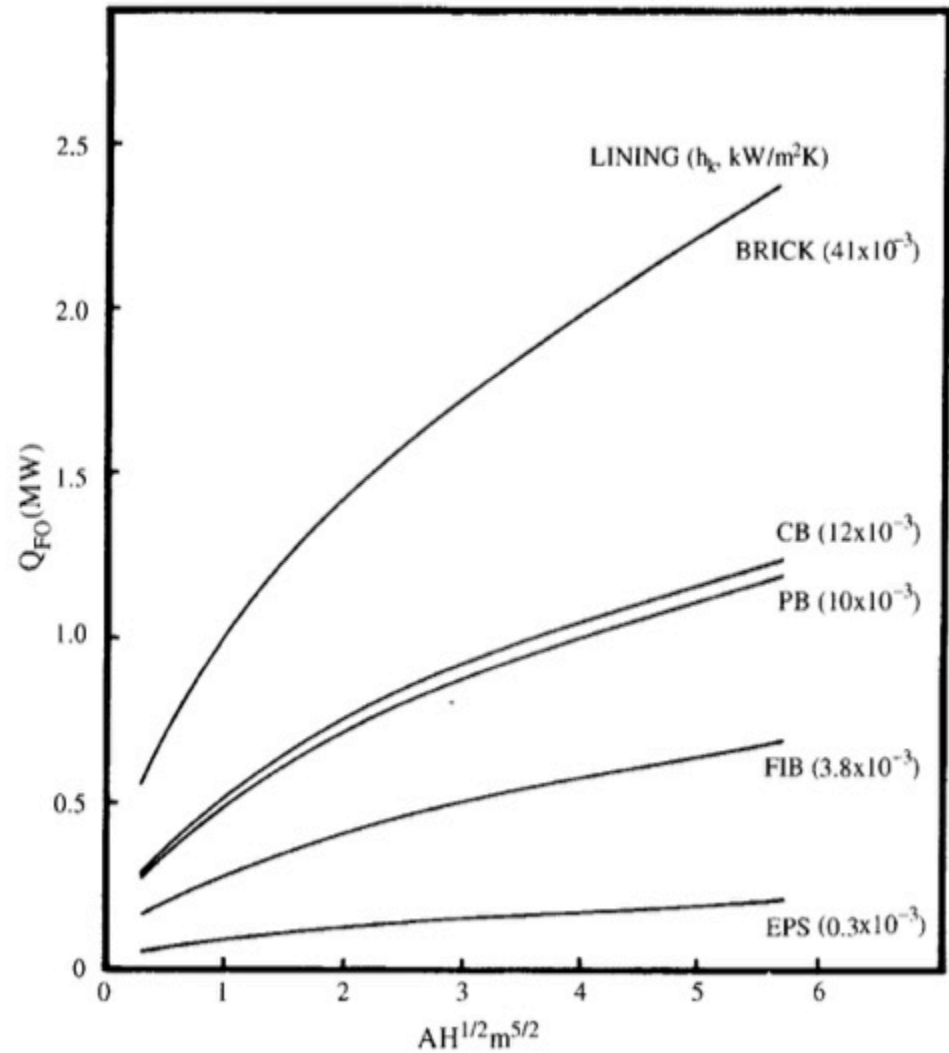
# Jämförelse av metoderna



# Brandeffekt för övertändning

Viktigt att ta hänsyn till materialet i väggarna

Mindre isolerande material, högre effekt krävs för övertändning

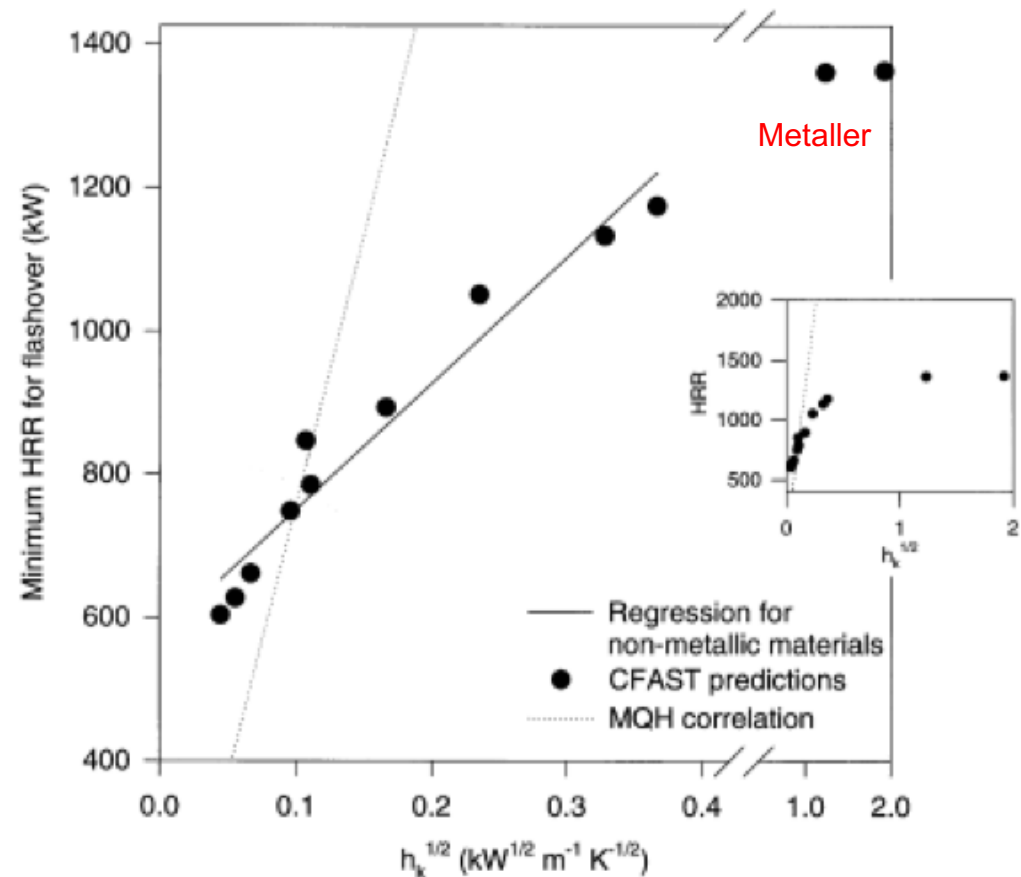


# Brandeffekt för övertändning

Viktigt att ta hänsyn till materialet i väggarna

Mindre isolerande material, högre effekt krävs för övertändning

Korrelationer (MQH-metoden) dock framtagen för vissa förhållande



# Exempel: Tid till övertändning

---

Övertändning inträffade i en lägenhet innan räddningstjänsten kom till platsen. Den enda öppningen till lägenheten var en dörr (2x1 m). Byggnaden var gjord av betong och omslutande area är 100 m<sup>2</sup>. Branden har troligen startat efter att ett ljus antänt en soffa.

Brandutredaren vill undersöka om en kortare insatstid hade kunnat stoppa övertändningen.

**OBS om det varit en glödbrand kan den startat mycket tidigare**

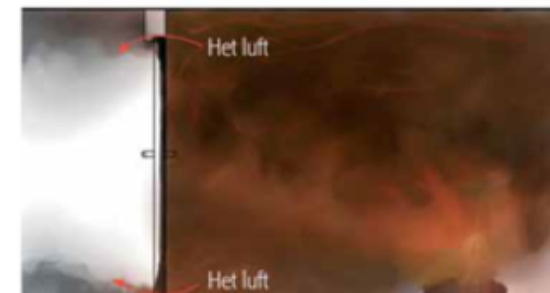
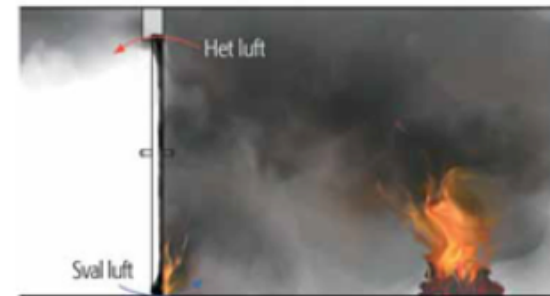
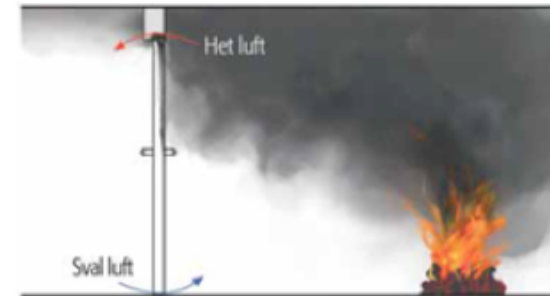


**Fullt utvecklade brand**

# Fullt utvecklad brand

---

- Större förstörelse
  - Svårare att hitta ledtrådar / spår
- Brinner där det finns bränsle och luft
  - Öppningar
- Teoretiska modellerna grövre än innan ÖT
  - Maximala temperaturer
  - Brandeffekter



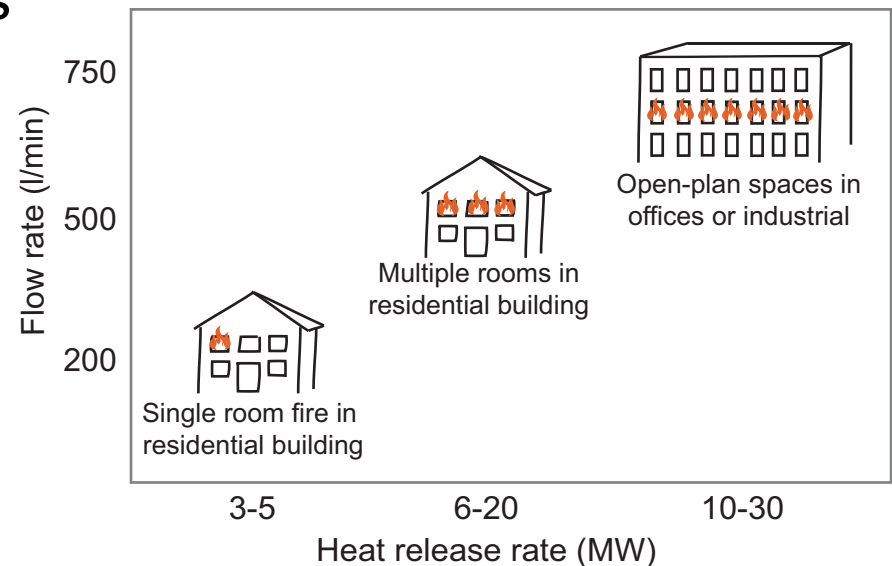
# Maximal effekt

- Ventilationskontrollerad brand
  - Brandeffekten styrs av öppningars storlek

$$\dot{Q}_{\max} = 1.518 \cdot A_o \sqrt{H_o}$$

- För att släcka en brand krävs
  - Ca 0.4 l/s och MW

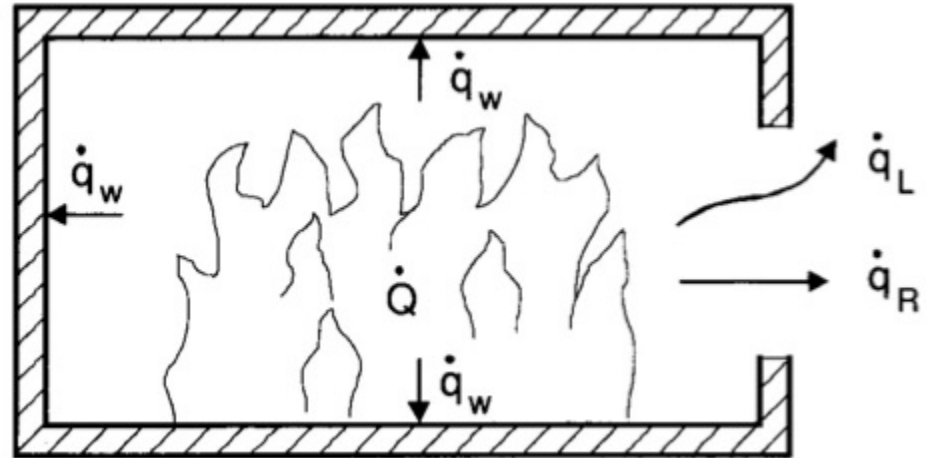
Exempel: Hade branden kunnat släckas i ett tidigt skede?



# Maximal temperatur

$$\dot{Q} = \dot{q}_L + \dot{q}_W + \dot{q}_R + \dot{q}_B$$

$$\dot{m}_g = \dot{m}_a + \dot{m}_b$$



- Varje kg  $O_2$  som används vid förbränning producerar 13.1 MJ

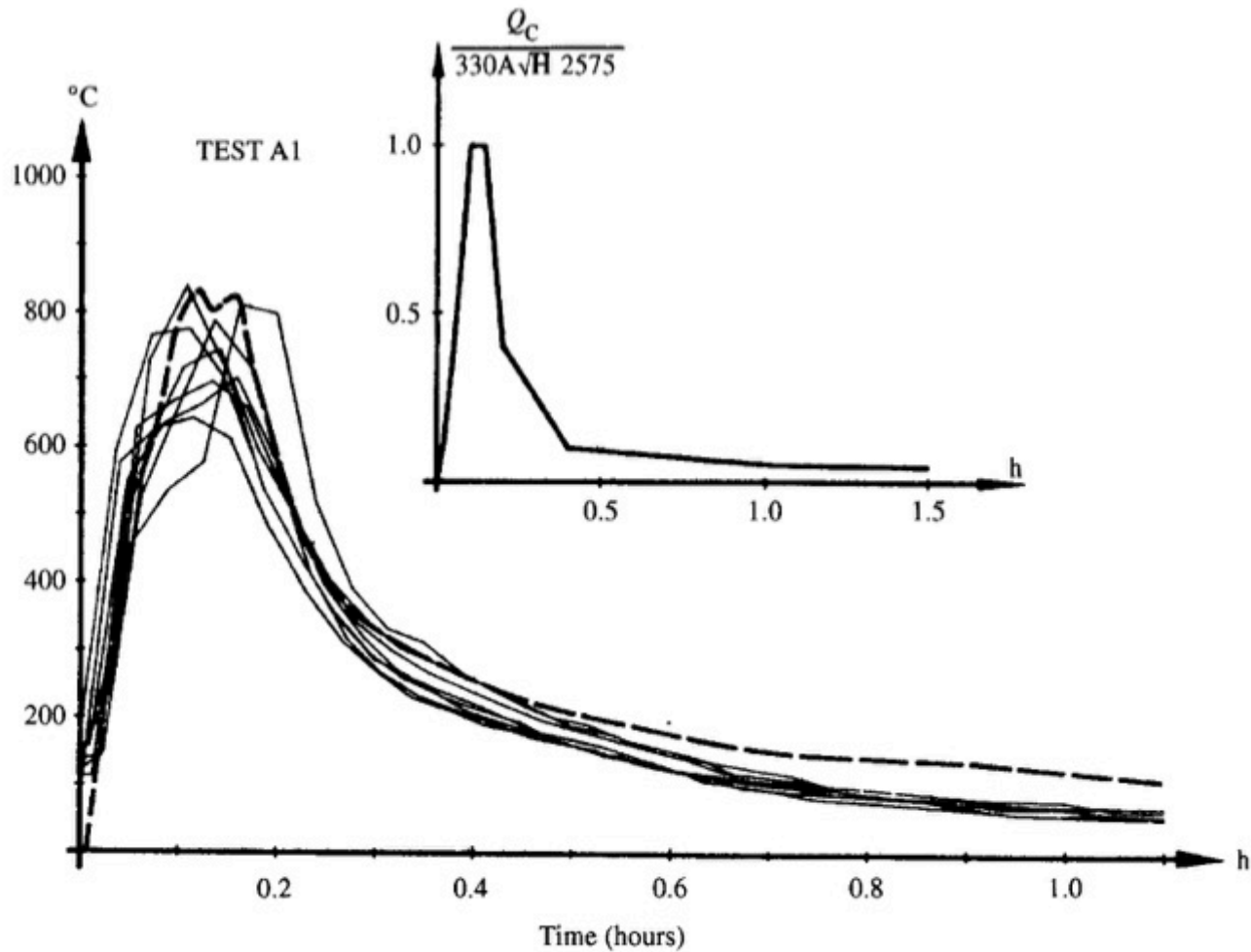
**Kan ge maximaltemperatur**

$$\dot{m}_a = 0.5 \cdot A \sqrt{H_o} \quad \dot{Q}_{\max} = 0.09 A_o \sqrt{H_o} \cdot \Delta H_{eff, wood}$$





# Hur hittar man effektutvecklingen?

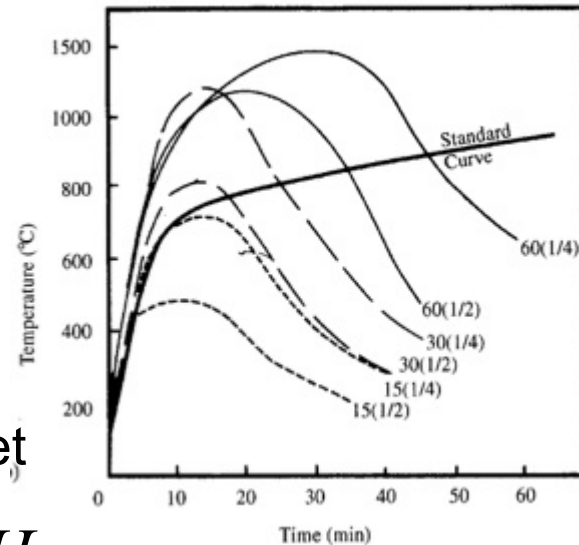


# Fullt utvecklade brand – vad är viktigt?

Viktigt för att skapa en temperaturkurva:

- Omslutande area,  $A_t$  [m<sup>2</sup>]
  - Inkl. öppningar
- Brandbelastning [MJ]
  - Frigjord energi från allt brännbart i rummet
  - Brandbelastning per yta [MJ/m<sup>2</sup>]

$$Q_t'' = \frac{\sum_i^n m_i \Delta H_{eff,i}}{A_t}$$



- Öppningsfaktor:  $\frac{A_o \sqrt{H_o}}{A_t}$



# Fullt utvecklade brand - metoder

Två metoder som bygger på samma principer

- Eurocode
  - Möjligt att beräkna T(tid)
  - Komplicerat (?)
- Magnusson & Thelandersson
  - Grafisk metod
  - Grövre men mindre

$$T_g = 1325 \left( 1 - 0.324e^{-0.2t^*} - 0.204e^{-1.7t^*} - 0.472e^{-19t^*} \right)$$

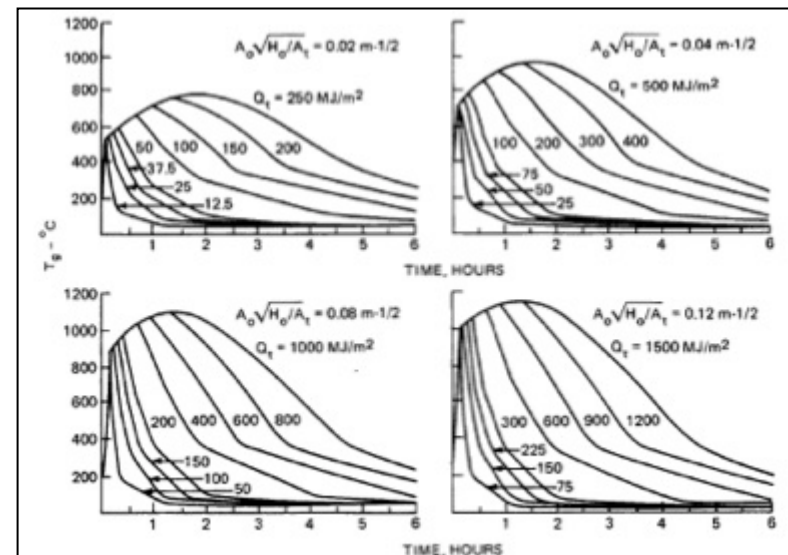
$$T_g = T_{g,max} - 625(t^* - t_d^*) \quad \text{for } t_d^* \leq 0.5$$

$$T_g = T_{g,max} - 250(3 - t_d^*)(t^* - t_d^*) \quad \text{for } 0.5 < t_d^* < 2$$

$$T_g = T_{g,max} - 250(t^* - t_d^*) \quad \text{for } t_d^* \geq 2$$

$$t^* = t \cdot \left( \frac{A_o \sqrt{H_o} / A_t}{\sqrt{k\rho c}} \right)^2 \left( \frac{1160}{0.04} \right)^2$$

$$t_d^* = \left( \frac{0.13 \cdot 10^{-3} \cdot Q_t}{A_o \sqrt{H_o} / A_t} \right) \cdot \left( \frac{A_o \sqrt{H_o} / A_t}{\sqrt{k\rho c}} \right)^2 \left( \frac{1160}{0.04} \right)^2$$



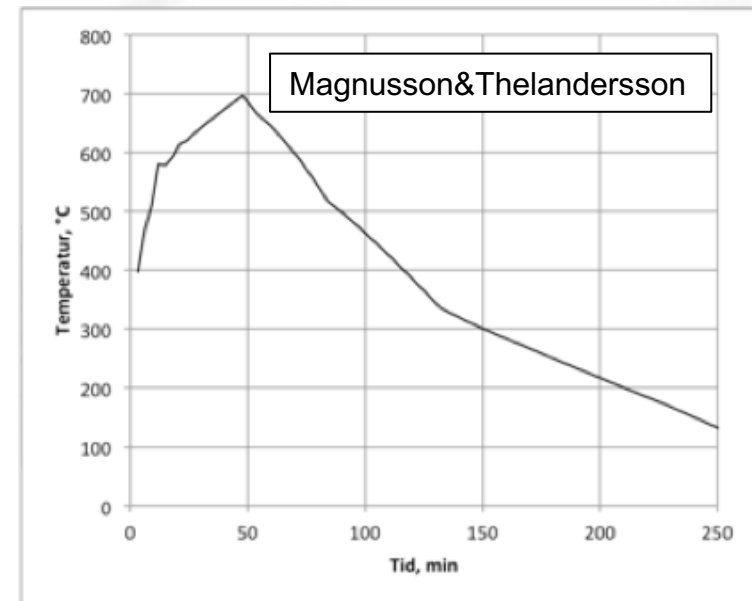
# Exempel: Hur långt var brandförloppet?

En mindre industribyggnad (400 m<sup>2</sup>) rasade efter att en fullt utvecklad brand pågått där. Konstruktionen ska ha varit klassad till R30. Brandutredaren vill undersöka hur stor värmepåverkan det varit på konstruktionen.

Öppningar: portar 3x3 m<sup>2</sup> och 2x2 m<sup>2</sup>

Omslutande area: 1100 m<sup>2</sup>

Brandbelastning: bedöms vara 130 MJ/m<sup>2</sup> (t.ex. från referensdata, vittne, Boverkets handbok (per golvarea!))



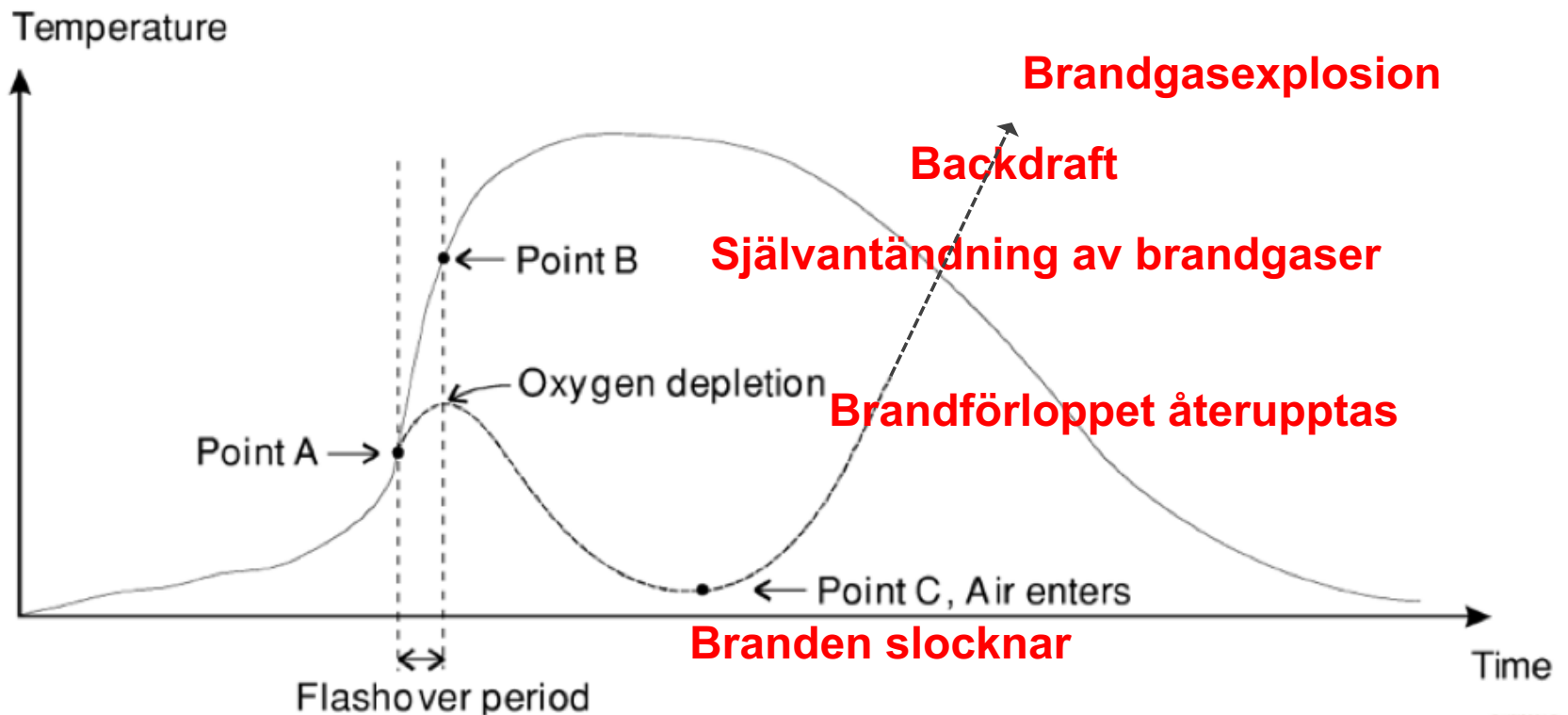
**OBS, ta hänsyn till kf-faktorn som styrs av material i väggar, tak och golv**



# Begränsad ventilation

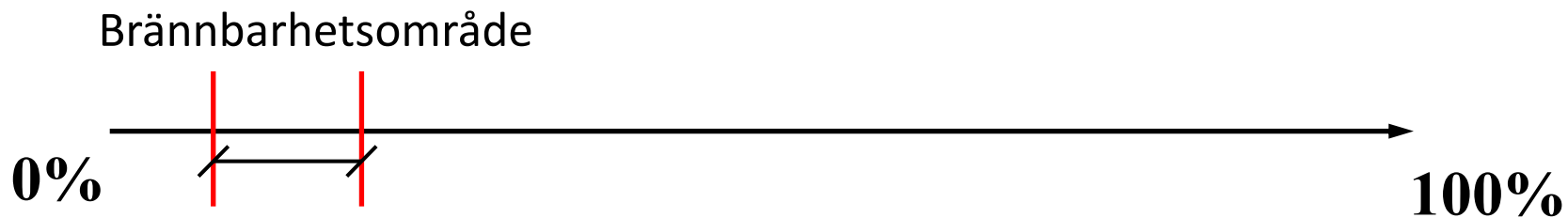
# Begränsad ventilation

Ventilationskontroll → minskad intensitet →  
långsam avsvälning



# Begränsad ventilation - förutsättningar

---



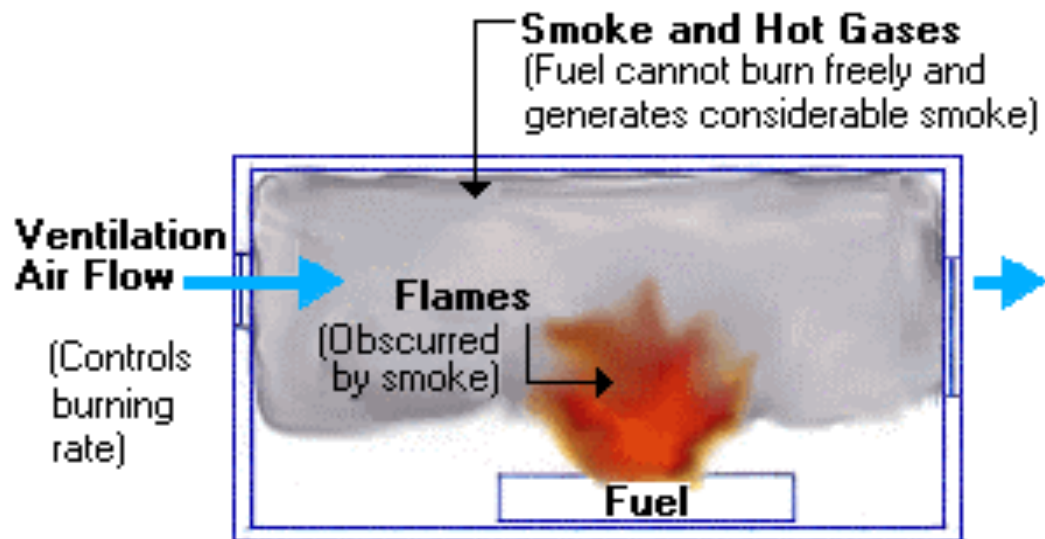
Bränsle	LFL	UFL
Metan	5%	15%
Vätgas	4%	75%
Etanol	3%	19%



# Begränsad ventilation

---

- Kombination av att kunna läsa brandmönster och branddynamik viktigt vid underventilerade bränder för att förstå brandens flöde eller rörelse.
- Brandutredaren lära sig att förstå påverkan av ventilation och utnyttja den kunskapen vid utredningen.





# Begränsad ventilation

---

- Ventilation kan dramatiskt ändra storlek, form och plats för förbränning / kolning.
- Ventilation kan påverka djupet av kolmätningar samt många andra effekter / mönster
  - Ventilationen styr var det faktiskt brinner och var heta gaser finns.
- Det kommer att påverka spridningen av branden.
- Högre CO- och sotproduktion



# Begränsad ventilation

---

Beräkna tid till syret tar slut, konstant brand

$$\dot{Q} \cdot t = (0.23 - X) \cdot V \cdot \rho \cdot \Delta h_c$$

$V$  – volym på slutet utrymme

$\dot{Q}$  – brandeffekt

$X$  – gräns för syremängd för förbränning

$\Delta h_c$  – frigjord energi per kg  $O_2$

$\rho$  – densitet på luft



# Begränsad ventilation

---

Beräkna tid till syret tar slut, tillväxande brand

$$(\alpha \cdot t^2) \cdot t = (0.23 - X) \cdot V \cdot \rho \cdot \Delta h_c$$

$V$  – volym på slutet utrymme

$\alpha$  – brandtillväxt ( $\text{kW/s}^2$ )

$X$  – gräns för syremängd för förbränning

$\Delta h_c$  – frigjord energi per kg  $\text{O}_2$

$\rho$  – densitet på luft

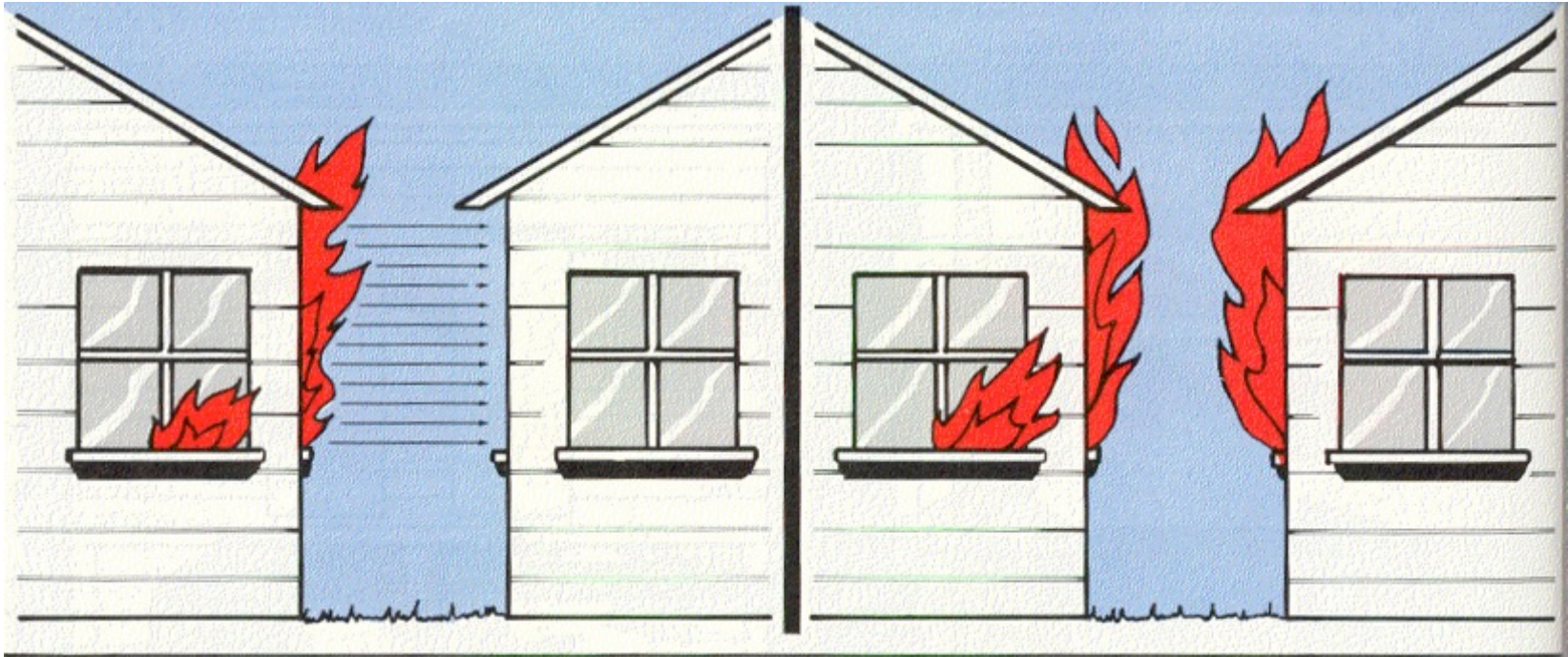


# **Spridning till närliggande byggnader**

# Strålning mot vägg eller fasad

---

- **Strålning** – värmetransport genom värmevågor



# Strålning mot vägg eller fasad

---

Varför vill man studera värmestrålning?

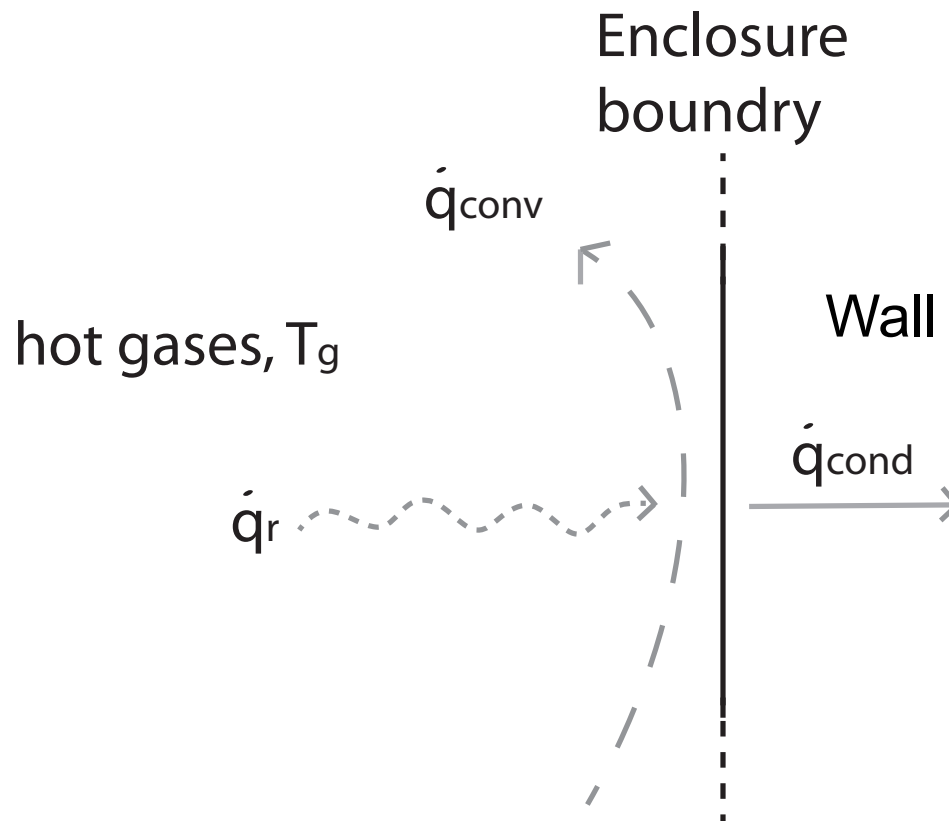
- Fanns det en risk för spridning?
- Utvärdera räddningsinsats, var det vattenbegjutning befogad?

Vilka parametrar styr värmestrålning?



# Strålning mot vägg eller fasad

---



# Strålning

---

$$\dot{q}'' = F_{1-2} \varepsilon \sigma T^4 \quad [\text{W/m}^2]$$

$F_{1-2}$  – synfaktor

$\varepsilon$  – emissionstalet

$\sigma$  – Stefan-Boltzmanns konstant

$T$  – temperatur (K)

$$\dot{q}''_{tot} = \varepsilon \left( \dot{q}''_{inc} - \sigma T^4 \right) + h_c \left( T_g - T_s \right)$$

Kritisk värmestrålning  
med pilotlåga (kW/m<sup>2</sup>)

Trä	12
Polyethylene (mjukplast)	15
Polypropylene (termoplast, hårdplast)	15
Polystyrene (frigolit, plast)	13



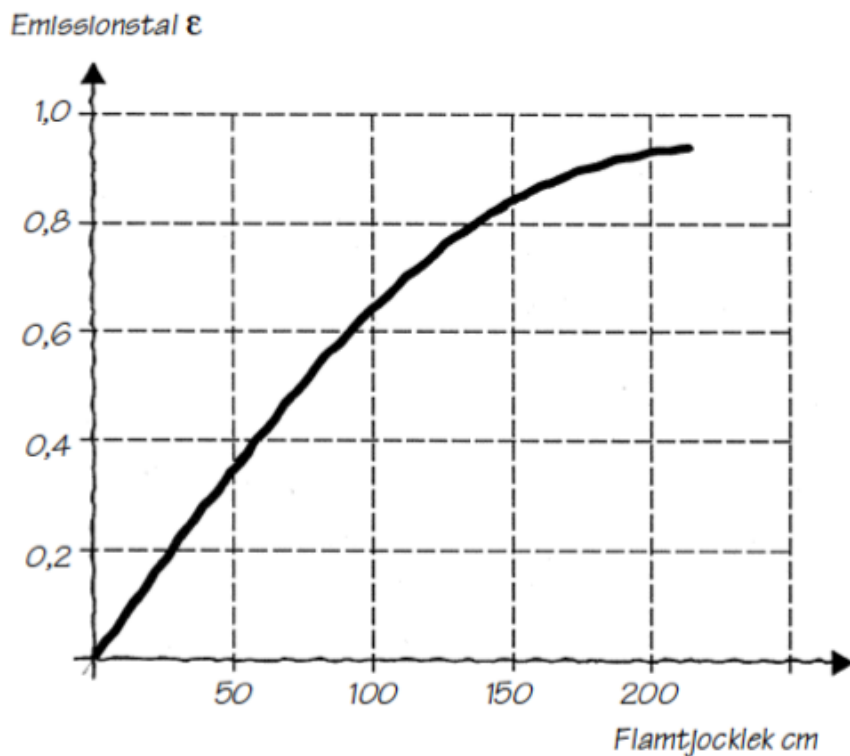


# Flamtemperatur

- Varierar med bränsle
  - Sotande flammor lägre temperatur
    - » Brinner mer ofullständigt
    - » Avger mer strålning
- Varierar med position i flammen
  - 700-1200° C i flammen
  - 500-600° C i flammans topp

Försök	Stråln.int/temp
<i>Fritt brinnande träbaserat bränsle för flamtjocklekar större än 2 meter</i>	<i>Ca 160 KW/m<sup>2</sup></i>
<i>Fritt brinnande oljebränder</i>	<i>Ca 135 KW/m<sup>2</sup></i>
<i>Fritt brinnande celluloidfilm</i>	<i>Ca 240 KW/m<sup>2</sup></i>
<i>Flamtemp. i fönster från rumsbränder med brännbara ytskikt och syrekontrollerade bränder</i>	<i>Ca 168 KW/m<sup>2</sup>/ca 1100°C</i>
<i>Flamtemp. i fönster från rumsbränder med obrännbara ytskikt och/eller relativt låg brandbelastning (motsv. ca 25kg trä/m<sup>2</sup> golvyta), dvs bränslekontrollerad brand</i>	<i>Ca 84 KW/m<sup>2</sup>/ca 800°C</i>
<i>Flamtemperatur i fönster från en brinnande byggnad</i>	<i>Ca 1000°C</i>
<i>Temperatur i flammen strax ovanför fönsteröppningen</i>	<i>Ca 800-900°C</i>

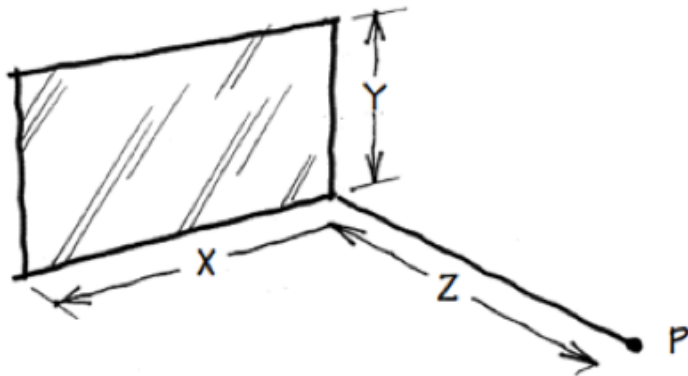
# Emissivitet



Emissionstal flamma (Hägglund & Persson, 1974)

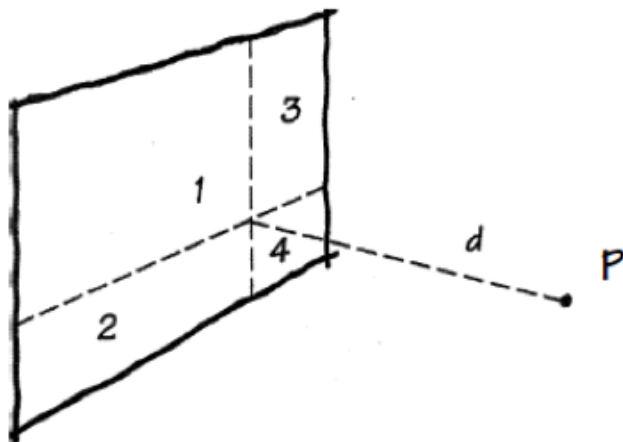
Yta	$\epsilon$
Guld, polerat	0,02
Silver, polerat	0,02
Koppar, polerat	0,02
Koppar, svartoxiderad	0,78
Aluminium, polerad	0,05
Aluminium, praktiskt värde	0,30
Stålplåtyta, skrovlig, oxiderad	0,80
Stål, valshud	0,77
Stål, rostigt	0,61
Stål, polerat el. galvaniserat	0,27
Stål, polerat vid 100°C	0,07
Bly, oxiderat	0,28
Glas	0,94
Porölin	0,92
Tegelsten, puts	0,93
Betongplattor, vid 1000°C	0,60
Trä	0,94
Takpapp	0,92
Målning, matt, svart lack	0,97
Målning, oljefärg	0,94
Marmor, polerad	0,55
Papper	0,93
Vatten	0,95
Is, vid 0°C	0,97

# Synfaktor – platta till punkt



$$S = Y/X$$

$$\alpha = XY/Z^2$$



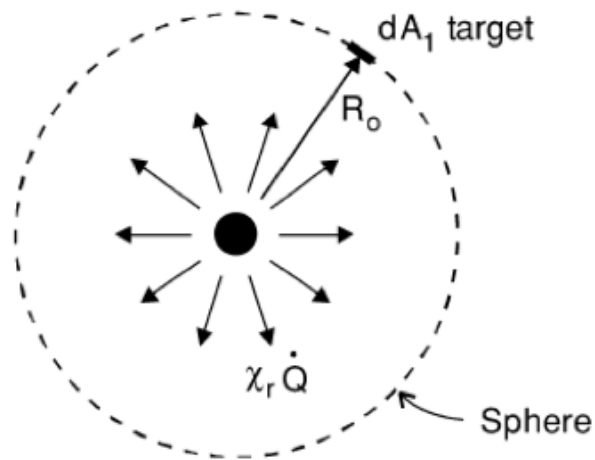
$$F_{1-2} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$\alpha$	$S=1,0$	$S=0,9$	$S=0,8$	$S=0,7$	$S=0,6$	$S=0,5$	$S=0,4$	$S=0,3$	$S=0,2$	$S=0,1$
2,0	0,178	0,178	0,177	0,175	0,172	0,167	0,161	0,149	0,132	0,102
1,0	0,139	0,138	0,137	0,136	0,133	0,129	0,123	0,113	0,099	0,075
0,9	0,132	0,132	0,131	0,130	0,127	0,123	0,117	0,108	0,094	0,071
0,8	0,125	0,125	0,124	0,122	0,120	0,116	0,111	0,102	0,089	0,067
0,7	0,117	0,116	0,116	0,115	0,112	0,109	0,104	0,096	0,083	0,063
0,6	0,107	0,107	0,106	0,105	0,103	0,100	0,096	0,088	0,077	0,058
0,5	0,097	0,096	0,096	0,095	0,093	0,090	0,086	0,080	0,070	0,053
0,4	0,084	0,083	0,083	0,082	0,081	0,079	0,075	0,070	0,062	0,048
0,3	0,069	0,068	0,068	0,068	0,067	0,065	0,063	0,059	0,052	0,040
0,2	0,051	0,051	0,050	0,050	0,049	0,048	0,047	0,045	0,040	0,032
0,1	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,027	0,026	0,024	0,021
0,09	0,026	0,026	0,026	0,026	0,025	0,025	0,025	0,024	0,022	0,19
0,08	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,022	0,022	0,020	0,017
0,07	0,021	0,021	0,021	0,021	0,020	0,020	0,020	0,019	0,018	0,016
0,06	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,017	0,017	0,017	0,016	0,014
0,05	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,014	0,014	0,013
0,04	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,011	0,010
0,03	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,008
0,02	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
0,01	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003



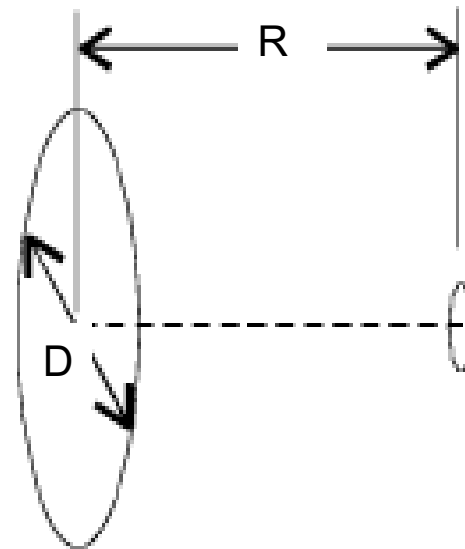
# Synfaktor – punktkälla

Punkt till punkt, förenkla  
branden till en punkt



$$q'' = \frac{Q_r}{4\pi R_d^2}$$

Cirkel till punkt, förenkla branden till en cirkel

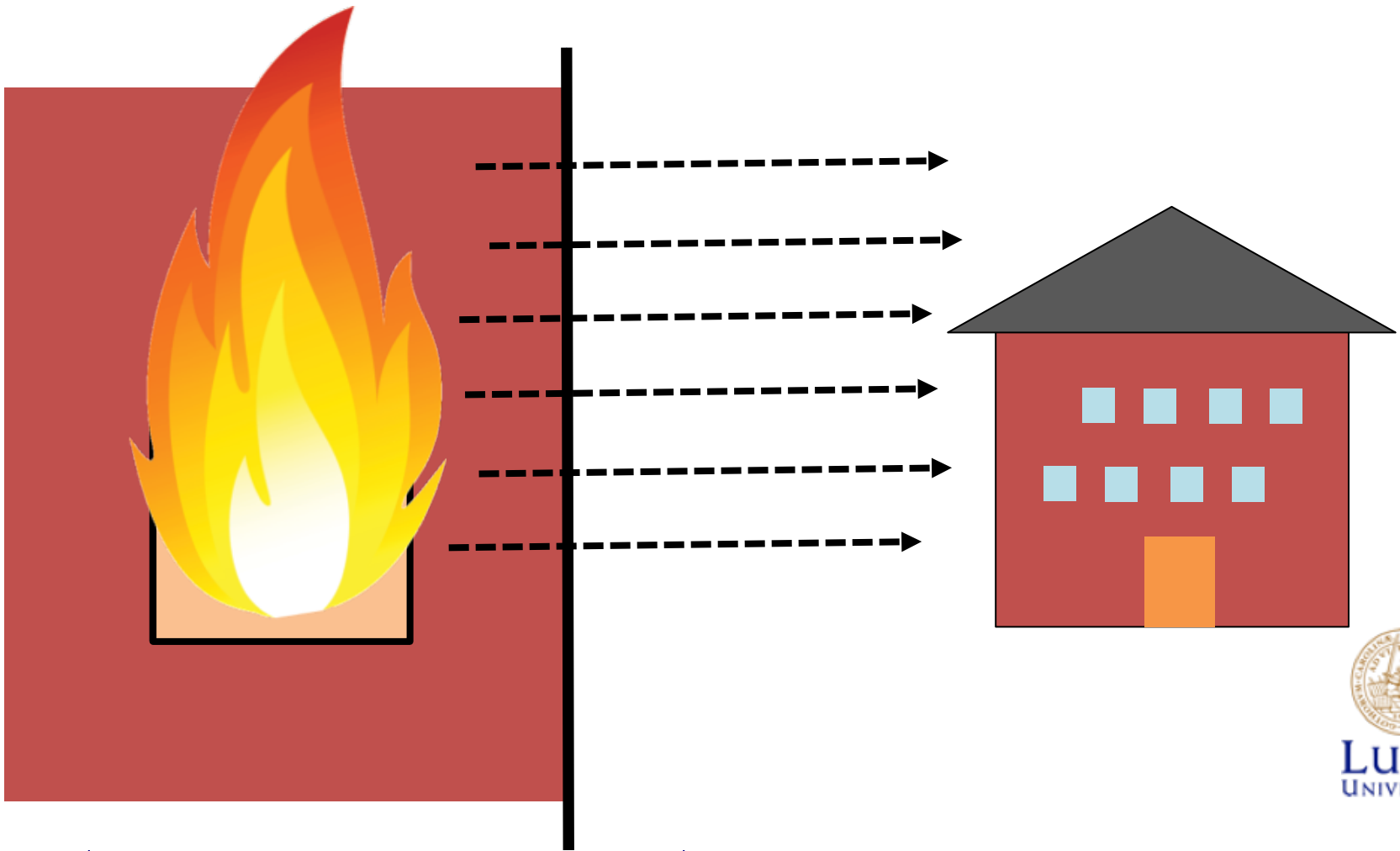


$$F_{1-2} = \frac{D^2}{4R^2 + D^2}$$



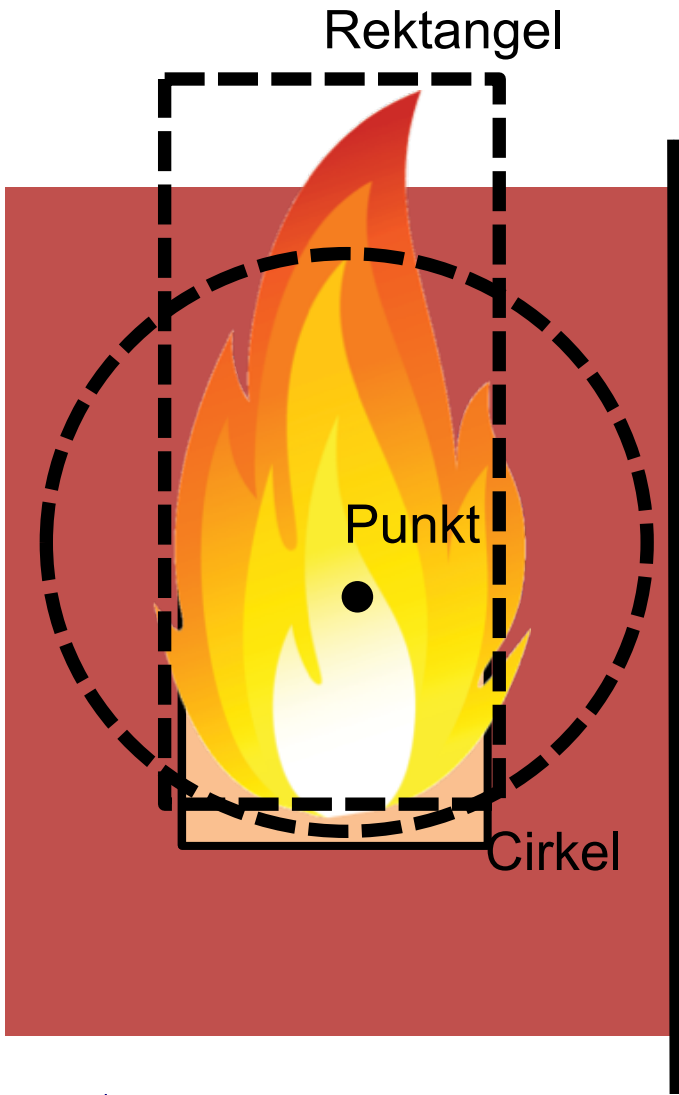
# Fönsterflamma

---

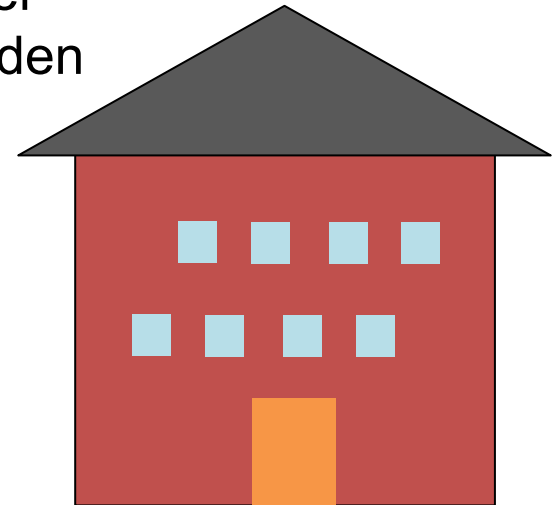


# Fönsterflamma

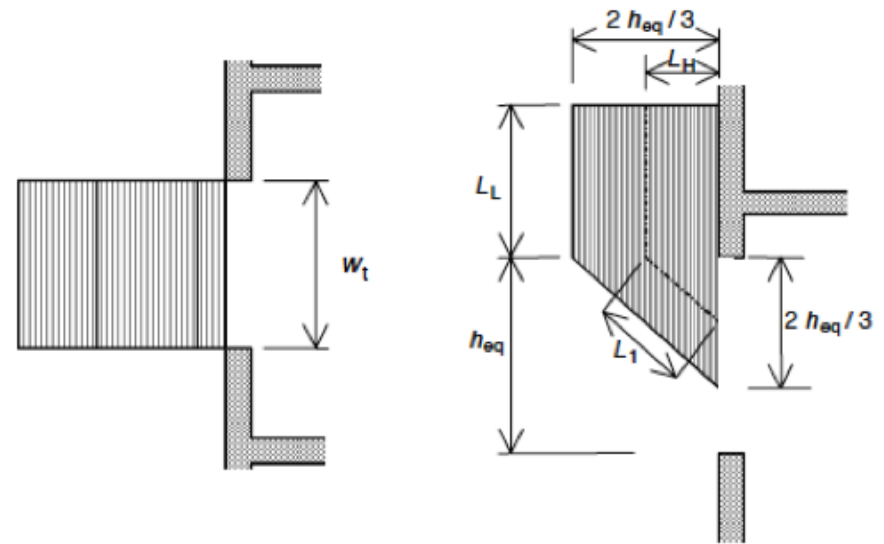
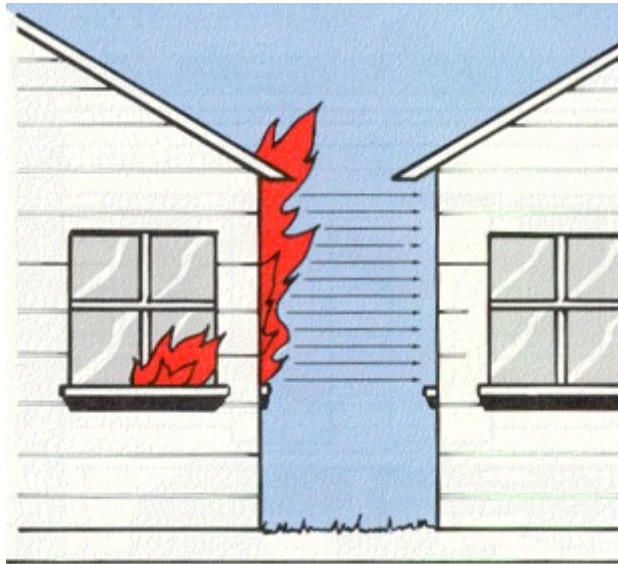
---



Måste veta eller bestämma höjden



# Fönsterflamma



horizontal cross section

vertical cross section

$$L_L = h_{eq} \left[ 2.37 \left[ \frac{\dot{Q}}{A_v \rho_g \sqrt{h_{eq} g}} \right]^{2/3} - 1 \right]$$

Obs, brandeffekt i MW

För  $\rho_g = 0,45 \text{ kg/m}^3$  (ca  $500^\circ \text{ C}$ ) och  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  kan ekvationen skrivas:

$$L_L = 1.9 \left[ \frac{\dot{Q}}{w_t} \right]^{2/3} - h_{eq}$$

**OBS, flera special fall finns, se Eurocode1**

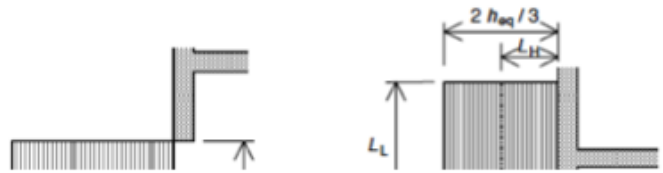


# Exempel: Strålning från fönster

Det har brunnit i en lägenhet, branden spreds inte till närliggande byggnad som låg bara 3 m från fönstret en brandutredare vill bedöma den strålningsnivån som den närliggande byggnaden utsattes för.

Fönster: 1.0 x 1.2 m<sup>2</sup>

Avstånd mellan byggnader: 3 m



$\alpha$	$s=1,0$	$s=0,9$	$s=0,8$	$s=0,7$	$s=0,6$	$s=0,5$	$s=0,4$	$s=0,3$	$s=0,2$	$s=0,1$
2,0	0,178	0,178	0,177	0,175	0,172	0,167	0,161	0,149	0,132	0,102
1,0	0,139	0,138	0,137	0,136	0,133	0,129	0,123	0,113	0,099	0,075
0,9	0,132	0,132	0,131	0,130	0,127	0,123	0,117	0,108	0,094	0,071
0,8	0,125	0,125	0,124	0,122	0,120	0,116	0,111	0,102	0,089	0,067
0,7	0,117	0,116	0,116	0,115	0,112	0,109	0,104	0,096	0,083	0,063
0,6	0,107	0,107	0,106	0,105	0,103	0,100	0,096	0,088	0,077	0,058
0,5	0,097	0,096	0,096	0,095	0,093	0,090	0,086	0,080	0,070	0,053
0,4	0,084	0,083	0,083	0,082	0,081	0,079	0,075	0,070	0,062	0,048
0,3	0,069	0,068	0,068	0,068	0,067	0,065	0,063	0,059	0,052	0,040
0,2	0,051	0,051	0,050	0,050	0,049	0,048	0,047	0,045	0,040	0,032
0,1	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,027	0,026	0,024	0,021
0,09	0,026	0,026	0,026	0,026	0,025	0,025	0,025	0,024	0,022	0,19
0,08	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,022	0,022	0,020	0,017
0,07	0,021	0,021	0,021	0,021	0,020	0,020	0,020	0,019	0,018	0,016
0,06	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,017	0,017	0,017	0,016	0,014
0,05	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,014	0,014	0,013
0,04	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,011	0,010
0,03	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,008
0,02	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
0,01	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003

**OBS, beräknad flamhöjd kan synkas med brandmöster / tecken ovanför fönstret**