



LUND
UNIVERSITY

Branddynamik

ETT VERKTYG VID UTREDNINGAR



Innehåll

- Repetition
 - I kontexten av brandutredningar
 - Förutsätts att ni har koll på brand och brandförlopp



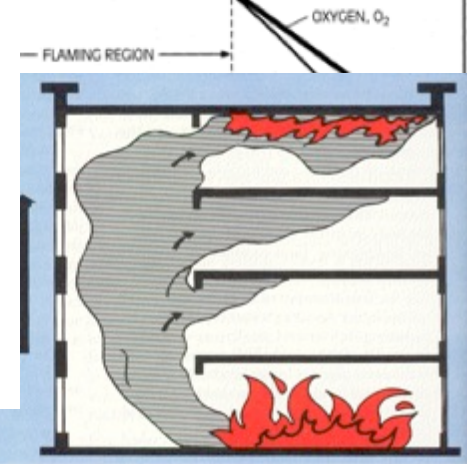
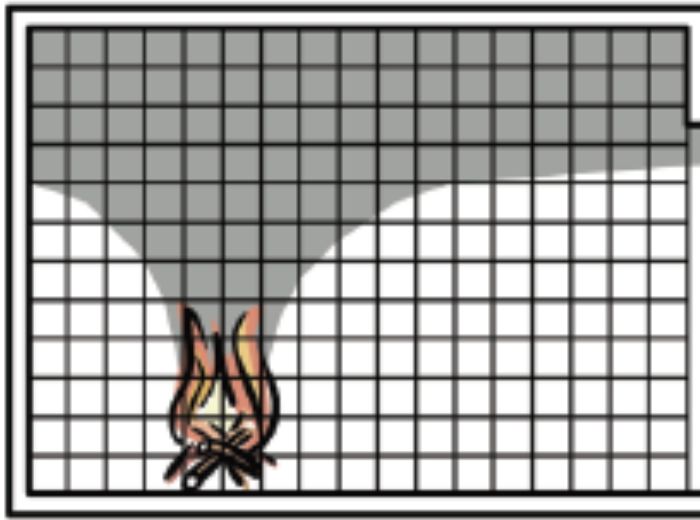
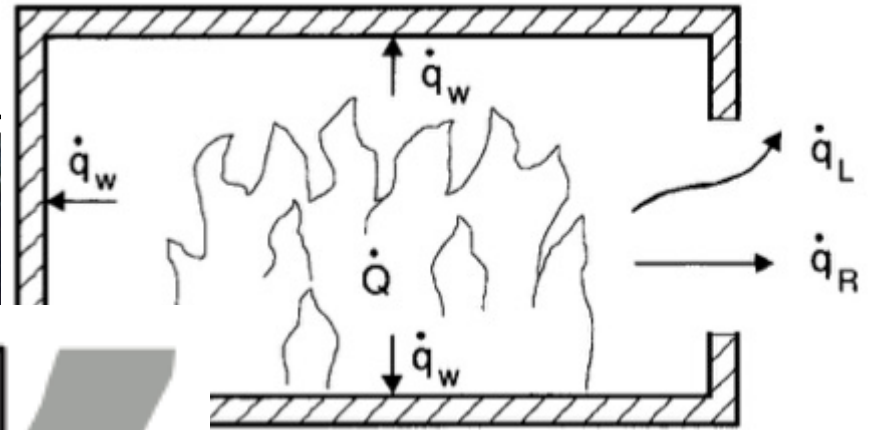
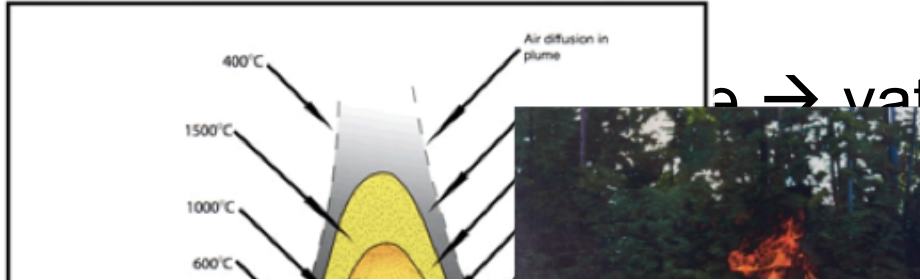
Innehåll

- Branddynamik och brandutredning
- Antändning
- Tillväxtfas
 - Flamhöjd
 - Plymer
 - Ceiling jet (takstråle)



Vad är branddynamik (Fire Dynamics)?

Pyrolysis, Gasification and Combustion in a Flaming Match



Branddynamik och brandutredning

- Används branddynamik i brandutredningar idag?



- MSB:s kunskapsbank

- Brandutredningar 2013-2015 (260 st)
- Ca 40% (subjektiv) användes branddynamik kvalitativt
- I 2 st. (< 1%) utredningar gjordes en kvantitativanalys
 - » Bedömning av tryck och brandgasspridning, påverkade räddningstjänstens insats spridning av brandgas.
 - » Provedning av krabamidiskum för att se hur det bidragit i brandförloppet



Branddynamik och brandutredning

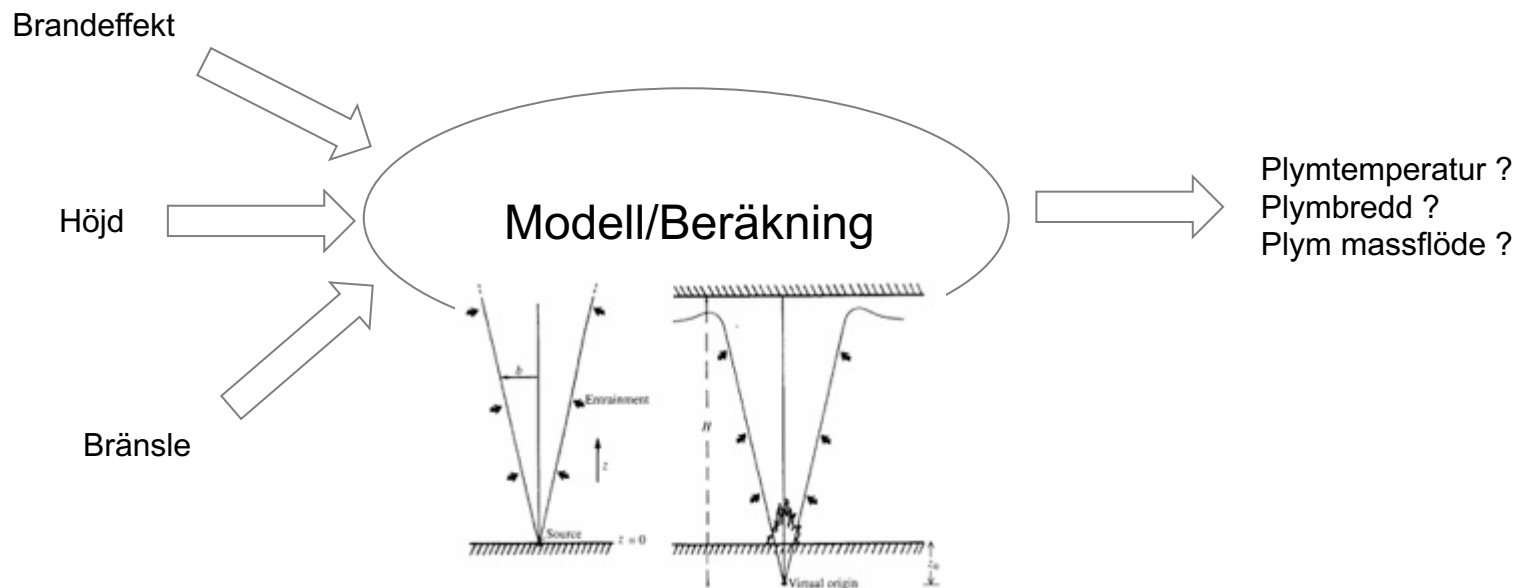
- Används branddynamik i brandutredningar idag?
- Intervjustudie
 - Frågade hur branddynamik används idag inom räddningstjänst och vilken potential som finns.

	Preventative	Operational	Investigative
Current use	Fair	Poor	Fair
Potential and need	Very good	Good	Very good
Current theoretical status	Good	Fair	Good



Branddynamik och brandutredning

- Hur kan vi använda branddynamik i brandutredningar?
 - Beräkningar användas på många sätt

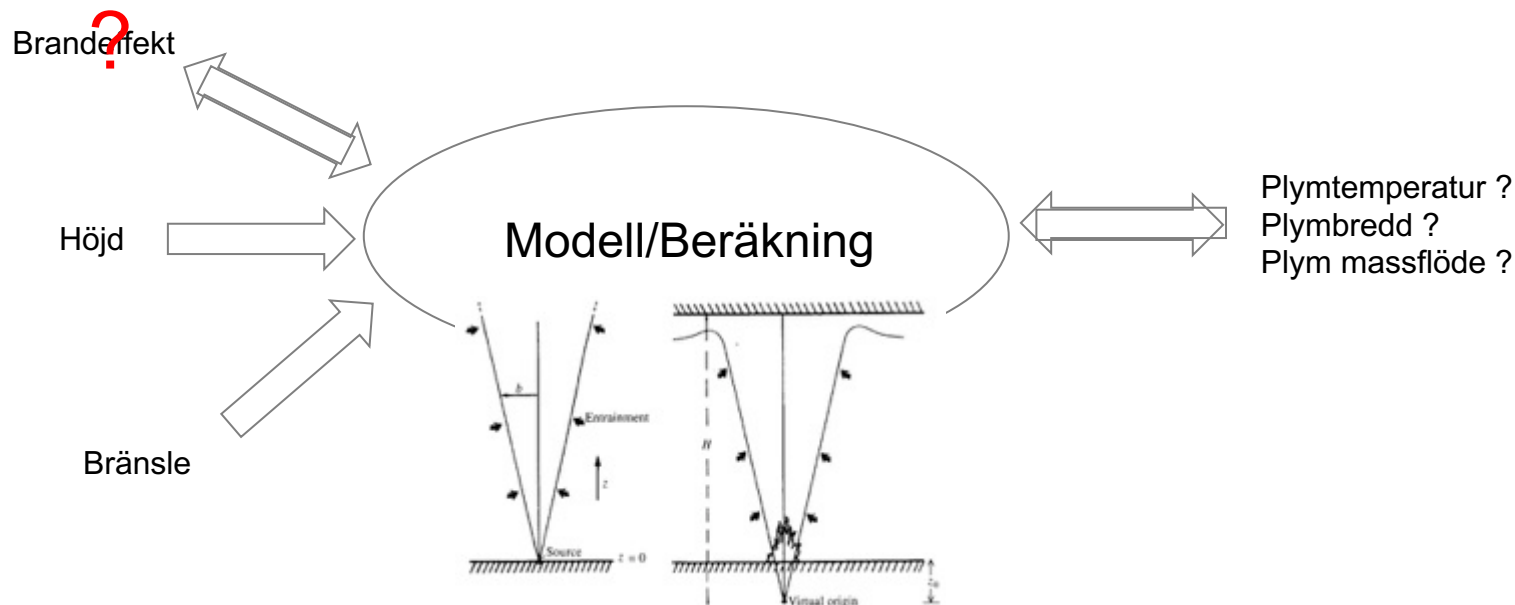


Traditionell brandberäkning



Branddynamik och brandutredning

- Hur kan vi använda branddynamik i brandutredningar?
 - Beräkningar användas på många sätt



Bakglängesberäkning / inverterad brandberäkning (eng. invers fire modelling)



Branddynamik och brandutredning

- Hur kan vi använda branddynamik i brandutredningar?
 - Beräkningar användas på många sätt
- Utgångspunkter här:
 - En hypotes finns (mer eller mindre konkret)
 - » T.ex. startföremål
 - » Beräkningar används för att bekräfta eller avfärda
 - Undersökning av alternativ
 - Risk för spridning
 - Analys av brandförlopp

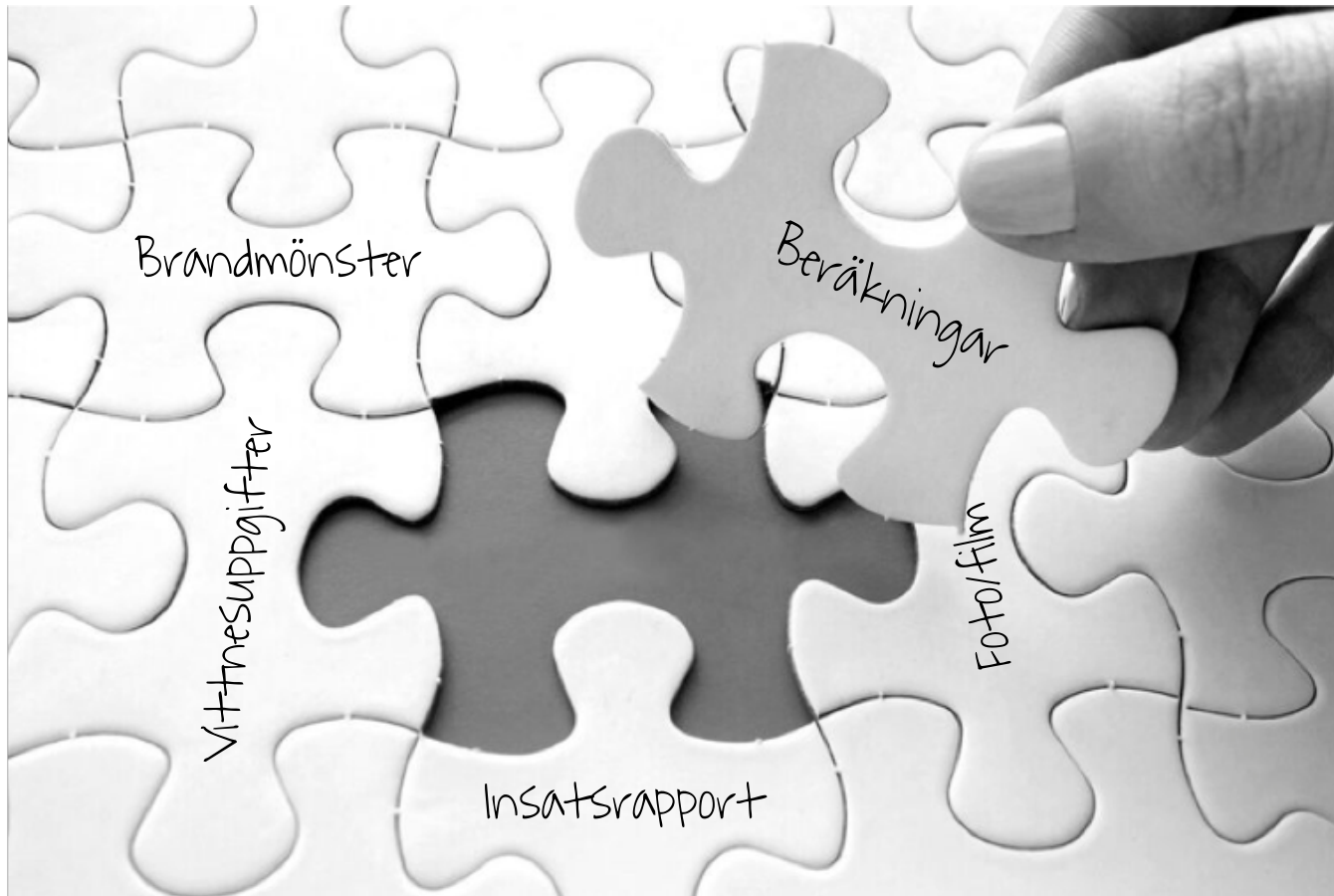


Branddynamik och brandutredning

- Möjliga frågeställningar:
 - Hur stor var branden?
 - » Indata till mer avancerad beräkning
 - Fanns det risk för spridning?
 - Hur länge brann det?
 - När aktiverade rökdetektor / sprinkler?
 - Har temperaturen så hög att glaset krossats?
 - Vad hade hänt om?



En del i pusslet



Branddynamik och brandutredning

Viktigt att tänka på:

- Hur fungerar modellen?
 - Vilka förenklingar är gjorda
 - Hur stora är osäkerheterna
- Finns det flera alternativ?
 - Kan beräkningar / överslag göras med flera modeller

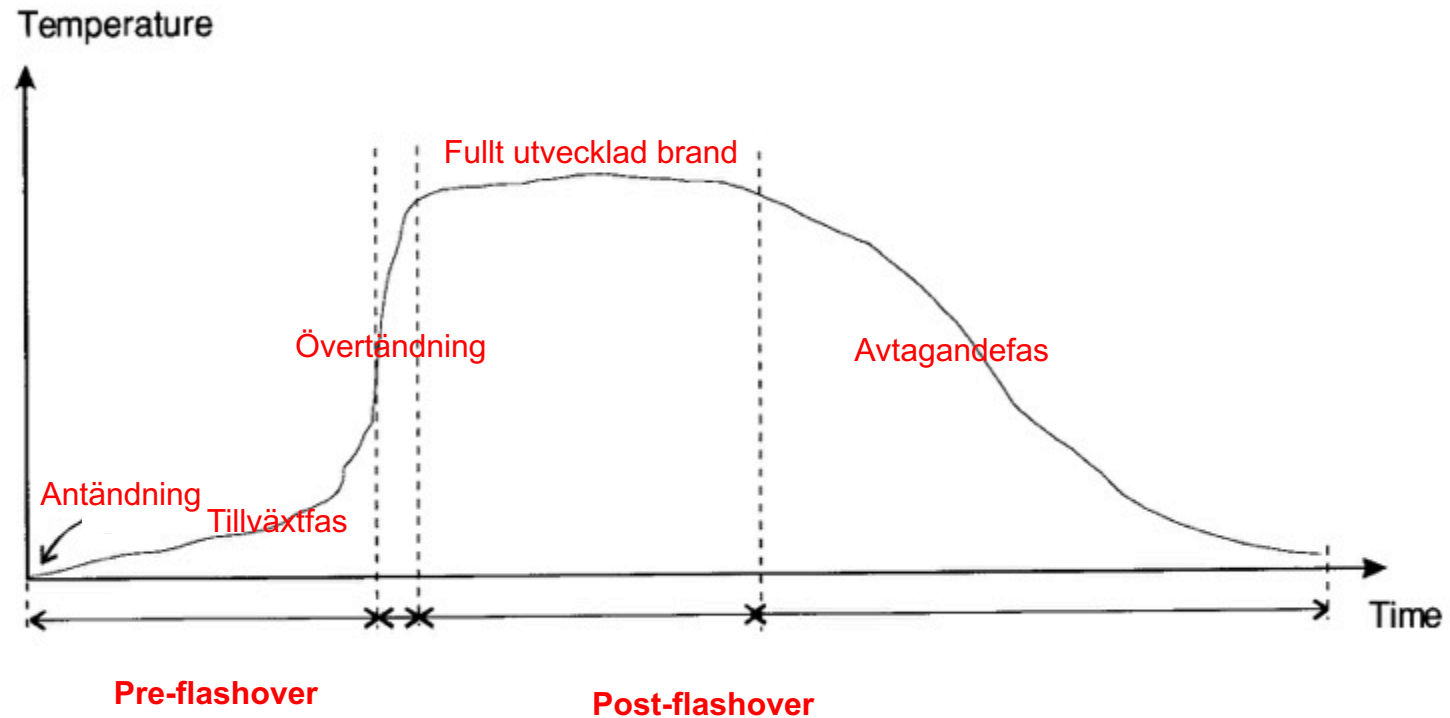


Faktorer som påverkar ett brandförlopp

- Antändning
- Bränsle
- Rummets geometri
- Öppningar
- Väggar och ytor



Typisk temperatur-tid kurva

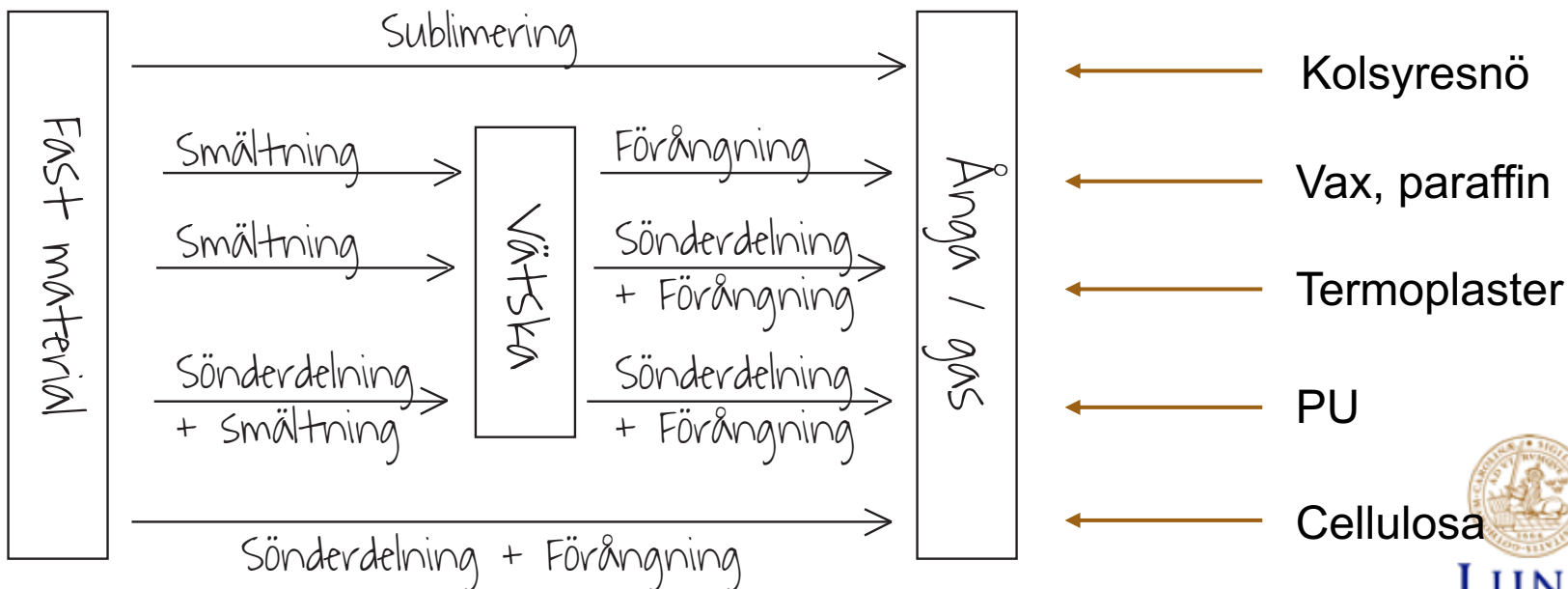


Antändning

Antändning, enkla principer

Energi att
förånga bränsle
om inte redan är i gas fas

Aktiveringsenergi
tillräcklig för att få igång
en reaktion



Antändning

Varför är det intressant att räkna på antändning?

- Bekräftelse av hypotes kring antändning
- Vilket värmeflöde skulle ha krävts för att tändningen inträffat?
- Kan detta ha tillhandahållits av någon närvarande värmekälla?
- Hur lång var antändningstiden?

OBS, ger en grov uppskattning



Typ av antändning

- Antändning med pilotlåga
 - Flamma eller gnista
 - Gasblandning inom brännbarhetsområdet
 - Flesta material 250-450° C
- Spontanantändning
 - Normalt över 500° C



Tid till antändning

Table 5.3.2.3 Time Required to Ignite Wood Specimens

Wood 32 mm × 32 mm × 102 mm (1¼ in. × 1¼ in. × 4 in.)	No Ignition in 40 Min		Exposure Before Ignition, by Pilot Flame, Minutes						
	°C	°F	180°C (356°F)	200°C (392°F)	225°C (437°F)	250°C (482°F)	300°C (572°F)	350°C (662°F)	400°C (752°F)
	Long leaf pine	157	315	14.3	11.8	8.7	6.0	2.3	1.4
Red oak	157	315	20.0	13.3	8.1	4.7	1.6	1.2	0.5
Tamarack	167	334	29.9	14.5	9.0	6.0	2.3	0.8	0.5
Western larch	157	315	30.8	25.0	17.0	9.5	3.5	1.5	0.5
Noble fir	187	369	—	—	15.8	9.3	2.3	1.2	0.3
Eastern hemlock	180	356	—	13.3	7.2	4.0	2.2	1.2	0.3
Redwood	157	315	28.5	18.5	10.4	6.0	1.9	0.8	0.3
Sitka spruce	157	315	40.0	19.6	8.3	5.3	2.1	1.0	0.3
Basswood	167	334	—	14.5	9.6	6.0	1.6	1.2	0.3

Source: NFPA Fire Protection Handbook, 19th ed., Section 3, p. 37.

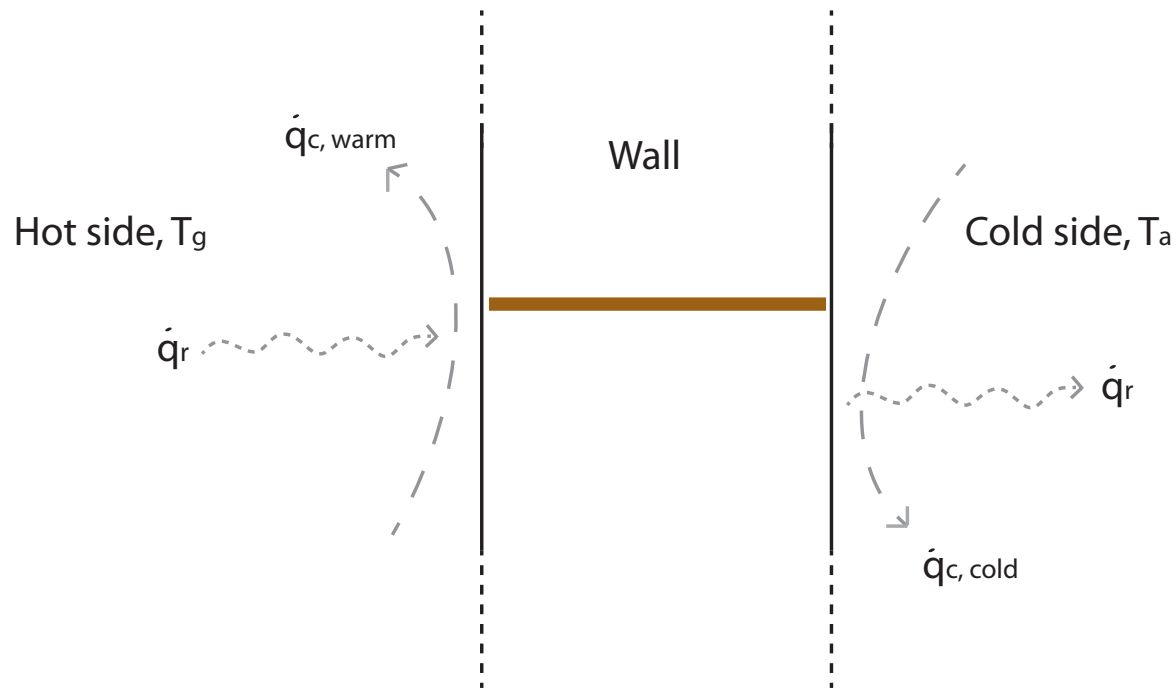


Table 7.5 Piloted ignition and flame spread properties from ASTM 1321 [18]

Material	T_{ig} (°C)	$k\rho c$ ((kW/m ² K) ² s)	Φ ((kW) ² /m ³)	$T_{s,min}$ (°C)	$\Phi/(k\rho c)$ (m\K ² /s)
PMMA polycast, 1.59 mm	278	0.73	5.45	120	8
Polyurethane (535M)	280	—	—	105	82
Hardboard, 6.35 mm	298	1.87	4.51	170	2
Carpet (acrylic)	300	0.42	9.92	165	24
Fiberboard, low density (S119M)	330	—	—	90	42
Fiber insulation board	355	0.46	2.25	210	5
Hardboard, 3.175 mm	365	0.88	10.97	40	12
Hardboard (S159M)	372	—	—	80	18
PMMA Type G, 1.27 cm	378	1.02	14.43	90	14
Asphalt shingle	378	0.70	5.38	140	8
Douglas fir particle board, 1.27 cm	382	0.94	12.75	210	14
Wood panel (S178M)	385	—	—	155	43
Plywood, plain, 1.27 cm	390	0.54	12.91	120	24
Chipboard (S118M)	390	—	—	189	11
Plywood, plain, 0.635 cm	390	0.46	7.49	170	16
Foam, flexible, 2.54 cm	390	0.32	11.70	120	37
Glass/polyester, 2.24 mm	390	0.32	9.97	80	31
Mineral wool, textile paper (S160M)	400	—	—	105	34
Hardboard (gloss paint), 3.4 mm	400	1.22	3.58	320	3
Hardboard (nitrocellulose paint)	400	0.79	9.81	180	12
Glass/polyester, 1.14 mm	400	0.72	4.21	365	6
Particle board, 1.27 cm stock	412	0.93	4.27	275	5
Gypsum board, wall paper (S142M)	412	0.57	0.79	240	1
Carpet (nylon/wool blend)	412	0.68	11.12	265	16
Carpet #2 (wool, untreated)	435	0.25	7.32	335	30
Foam, rigid, 2.54 cm	435	0.03	4.09	215	141
Polyisocyanurate, 5.08 cm	445	0.02	4.94	275	201
Fiberglass shingle	445	0.50	9.08	415	18
Carpet #2 (wool, treated)	455	0.24	0.98	365	4
Carpet #1 (wool, stock)	465	0.11	1.83	450	17
Aircraft panel epoxy fiberite	505	0.24	—	505	—
Gypsum board, FR, 1.27 cm	510	0.40	9.25	300	23
Polycarbonate, 1.52 mm	528	1.16	14.74	455	13
Gypsum board, common, 1.27 mm	565	0.45	14.44	425	32
Plywood, FR, 1.27 cm	620	0.76	—	620	—
Polystyrene, 5.08 cm	630	0.38	—	630	—

Termisk tunt material (lumpad massa)

- Tjockleken är **mindre** än det termiska penetrationsdjupet (dvs. Ingen temperatur gradient)



Antändningstid: Termisk tunn

- Värmebalans för lumpad massa ger

$$t_{ig} = \frac{\rho c d}{\dot{q}_{tot}''} (T_{ig} - T_i)$$

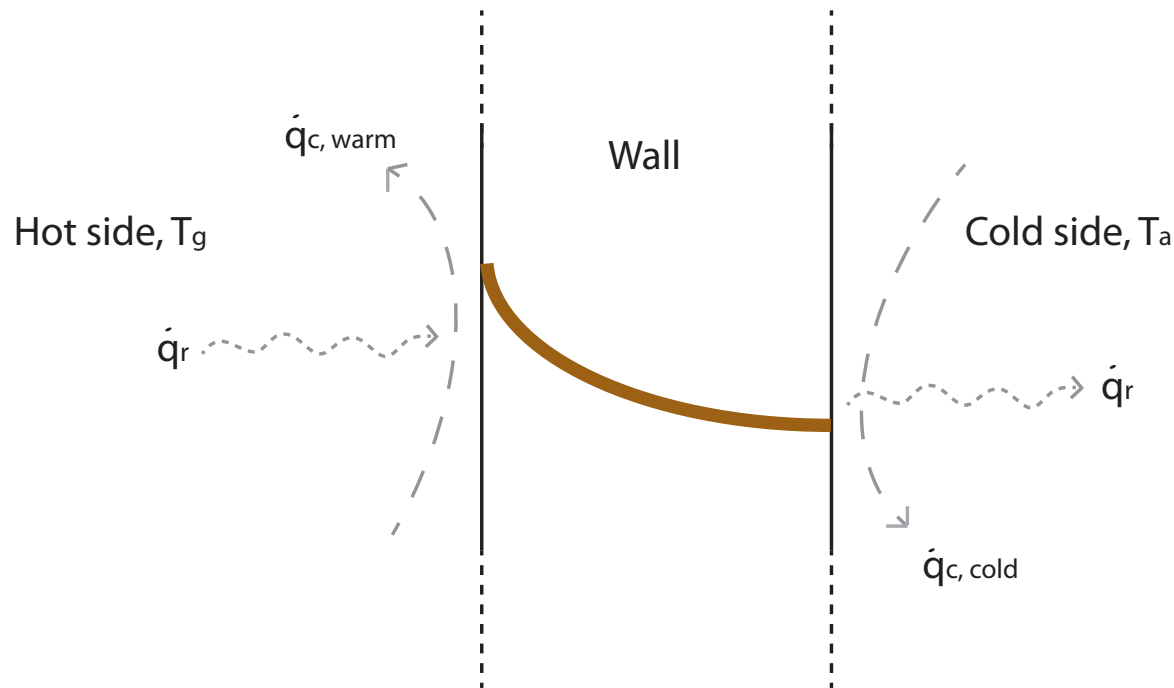
- t_{ig} – tid till antändning (s)
- ρ – densitet (kg/m³)
- d – tjocklek (m)
- c – specifik värmekapacitet (J/kgK)
- \dot{q}_{tot}'' – värmepåverkan (kW/m²)
- T_{ig} – antändningstemperatur (K)
- T_i – initiala temperatur (K)

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



Halvoändligt material

- Tjockleken är **större** än det termiska penetrationsdjupet (dvs. en temperatur gradient finns)



Antändningstid: Halvoändligt

- Värmebalans för halvoändliga förhållande ger

$$t_{ig} = \frac{\pi \cdot k \rho c}{4 \left(\dot{q}_{tot}'' \right)^2} \left(T_{ig} - T_i \right)^2$$

- t_{ig} – tid till antändning (s)
- k – värmeledningsförmåga (W/mK)
- ρ – densitet (kg/m³)
- c_p – specifik värmekapacitet (J/kgK)
- \dot{q}_{tot}'' – värmepåverkan (kW/m²)
- T_{ig} – antändningstemperatur (K)
- T_i – initiala temperatur (K)

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

Uppskattning av värmeeffekt

- Värmepåverkan beror på både infallande strålning och mottagande yta

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

$$\dot{q}_{tot,eff}'' = \varepsilon \dot{q}_{inc}'' - \eta \dot{q}_{inc,cr}''$$

$$\dot{q}_{inc,cr}'' = \sigma T_{ig}^4 + h_c / \varepsilon \cdot \left(T_{ig} - T_g \right)$$

- η – empirisk konstant (0.3 för termisk tunn, 0.8 för halvoändligt)
- ε – emissivitet
- T_{ig} – antändningstemperatur (K)
- T_g – Temperatur i omgivande luft (K)



Exempel: Antändningstid

Vid en brand räddningstjänsten att vattenbejuta en närliggande träfasad för att undvika brandspridning. Den totala värmepåverkan \dot{q}_{tot}'' bedöms ha varit 10 kW/m². Fanns det risk för antändning?

Termiskt tunn eller halvoändlig?

Materialegenskaper?

$$t_{ig} = \frac{\pi \cdot k \rho c}{4 \left(\dot{q}_{tot}'' \right)^2} \left(T_{ig} - T_i \right)^2$$

$$k \rho c - 0.5 \text{ kW}^2\text{s/m}^4\text{K}^2$$
$$T_{ig} - 350^\circ\text{C}$$



Table 7.5 Piloted ignition and flame spread properties from ASTM 1321 [18]

Material	T_{ig} (°C)	$k\rho c$ ((kW/m ² K) ² s)	Φ ((kW) ² /m ³)	$T_{s,min}$ (°C)	$\Phi/(k\rho c)$ (m\K ² /s)
PMMA polycast, 1.59 mm	278	0.73	5.45	120	8
Polyurethane (535M)	280	—	—	105	82
Hardboard, 6.35 mm	298	1.87	4.51	170	2
Carpet (acrylic)	300	0.42	9.92	165	24
Fiberboard, low density (S119M)	330	—	—	90	42
Fiber insulation board	355	0.46	2.25	210	5
Hardboard, 3.175 mm	365	0.88	10.97	40	12
Hardboard (S159M)	372	—	—	80	18
PMMA Type G, 1.27 cm	378	1.02	14.43	90	14
Asphalt shingle	378	0.70	5.38	140	8
Douglas fir particle board, 1.27 cm	382	0.94	12.75	210	14
Wood panel (S178M)	385	—	—	155	43
Plywood, plain, 1.27 cm	390	0.54	12.91	120	24
Chipboard (S118M)	390	—	—	189	11
Plywood, plain, 0.635 cm	390	0.46	7.49	170	16
Foam, flexible, 2.54 cm	390	0.32	11.70	120	37
Glass/polyester, 2.24 mm	390	0.32	9.97	80	31
Mineral wool, textile paper (S160M)	400	—	—	105	34
Hardboard (gloss paint), 3.4 mm	400	1.22	3.58	320	3
Hardboard (nitrocellulose paint)	400	0.79	9.81	180	12
Glass/polyester, 1.14 mm	400	0.72	4.21	365	6
Particle board, 1.27 cm stock	412	0.93	4.27	275	5
Gypsum board, wall paper (S142M)	412	0.57	0.79	240	1
Carpet (nylon/wool blend)	412	0.68	11.12	265	16
Carpet #2 (wool, untreated)	435	0.25	7.32	335	30
Foam, rigid, 2.54 cm	435	0.03	4.09	215	141
Polyisocyanurate, 5.08 cm	445	0.02	4.94	275	201
Fiberglass shingle	445	0.50	9.08	415	18
Carpet #2 (wool, treated)	455	0.24	0.98	365	4
Carpet #1 (wool, stock)	465	0.11	1.83	450	17
Aircraft panel epoxy fiberite	505	0.24	—	505	—
Gypsum board, FR, 1.27 cm	510	0.40	9.25	300	23
Polycarbonate, 1.52 mm	528	1.16	14.74	455	13
Gypsum board, common, 1.27 mm	565	0.45	14.44	425	32
Plywood, FR, 1.27 cm	620	0.76	—	620	—
Polystyrene, 5.08 cm	630	0.38	—	630	—

Exer

Vid en
närlogg
totala
det ris

Termis

t_{ig} =

n
nns

er?

4K²

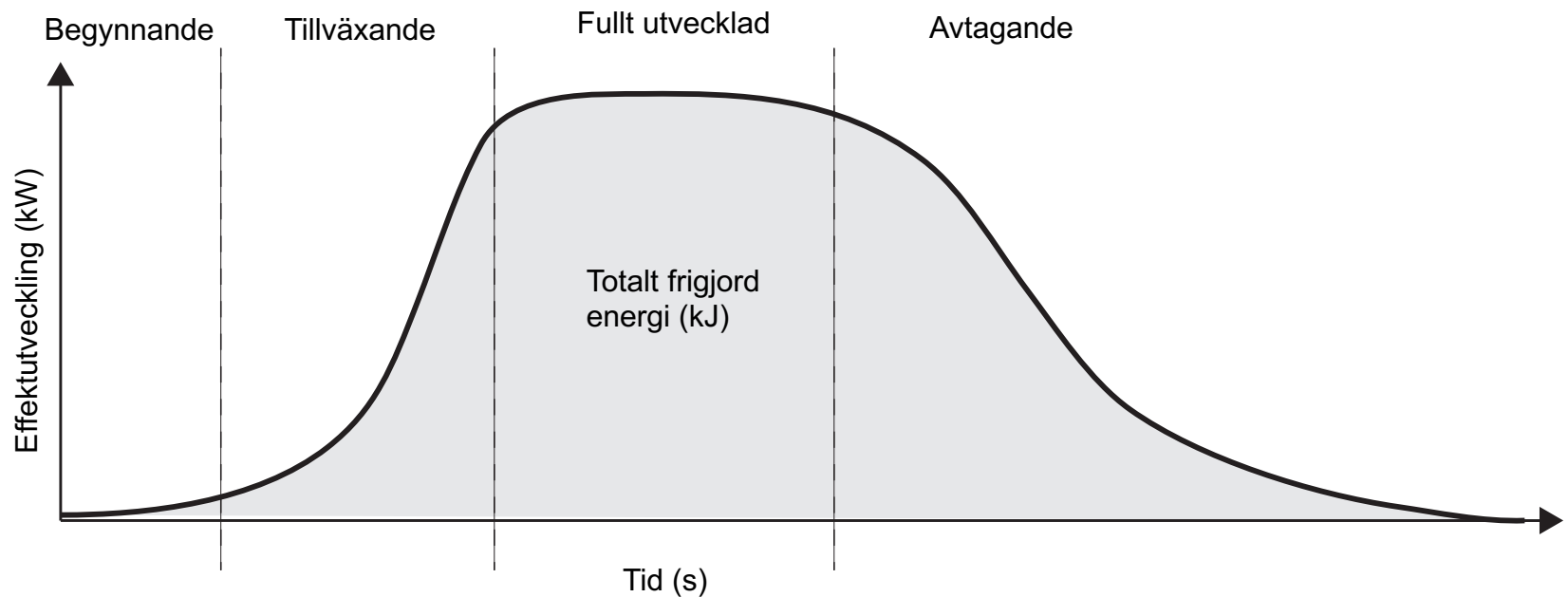


LUND
UNIVERSITY

Om inte övertändning inträffat / vad hände innan övertändning ?

Tillväxtfas

Med vilken storhet beskriver vi bränder?



- Viktig indata till fortsatt beräkningar / bedömningar
 - Handberäkningar / datormodeller



Effektutveckling för pölbränder

$$\dot{Q} = A_f \cdot \dot{m}'' \cdot \chi \cdot \Delta H_c$$

- Beror av tiden för de flesta material
 - Både area och massavbrinning ändras med tiden
- Förbränningseffektivitet

$$\chi = \frac{\Delta H_{effective}}{\Delta H_{complete}} = \frac{\Delta H_{eff}}{\Delta H_c}$$



Effektutveckling för andra bränder

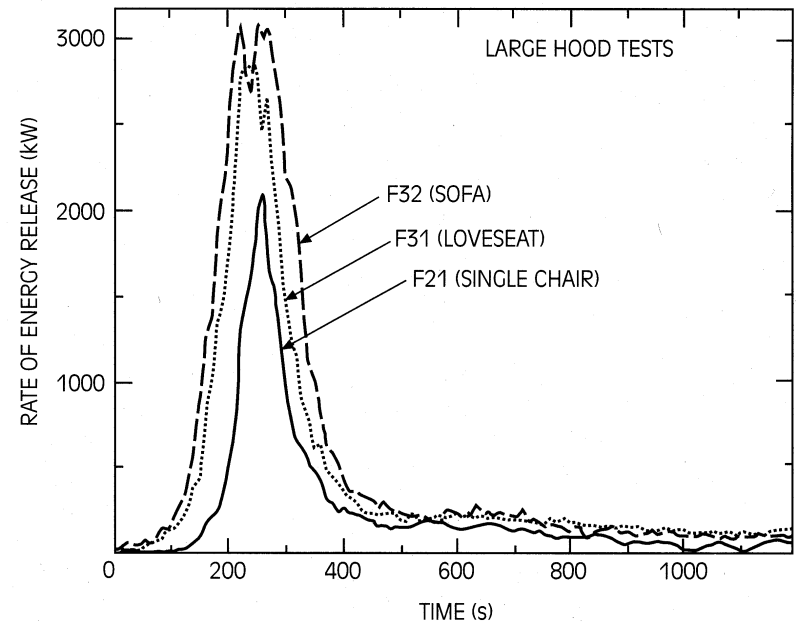
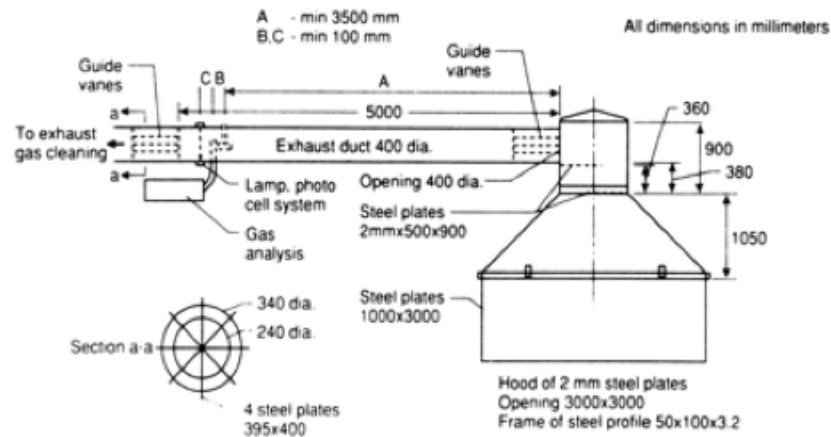
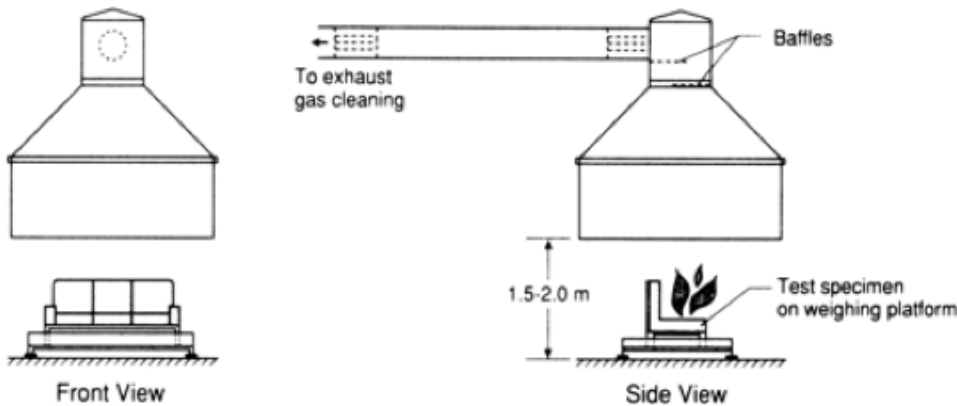


Table 5.4.2.1 Representative Peak Heat Release Rates (Unconfined Burning)

Fuel	(kg)	(lb)	Peak HRR (kW)
Wastebasket, small	0.7–6.1	1.5–3	4–18
Trash bags, 11 gal with mixed plastic and paper trash	1.1–3.4	2½–7½	140–350
Cotton mattress	11.8–13.2	26–29	40–970
TV sets	31.3–32.7	69–72	120–290
Plastic trash bags/paper trash	1.2–14.1	2.6–31	120–350
PVC waiting room chair, metal frame	15.4	34	270
Cotton easy chair	17.7–31.8	39–70	290–370
Gasoline/kerosene in 0.61 m ² (2 ft ²) pool	19	—	400
Christmas trees, dry	6.4–7.3	14–16	500–650
Polyurethane mattress	3.2–14.1	7–31	810–2630
Polyurethane easy chair	12.2–27.7	27–61	1350–1990
Polyurethane sofa	51.3	113	3120

Sources: Values are from the following publications:

Babrauskas and Krasny, *Fire Behavior of Upholstered Furniture*.

Lee, *Heat Release Rate Characteristics of Some Combustible Fuel Sources in Nuclear Power Plants*.

NFPA 72, *National Fire Alarm Code*®, 1999 ed., Annex B.

Effektutveckling för andra bränder

$$\dot{Q} = A_f \cdot HRRPUA$$

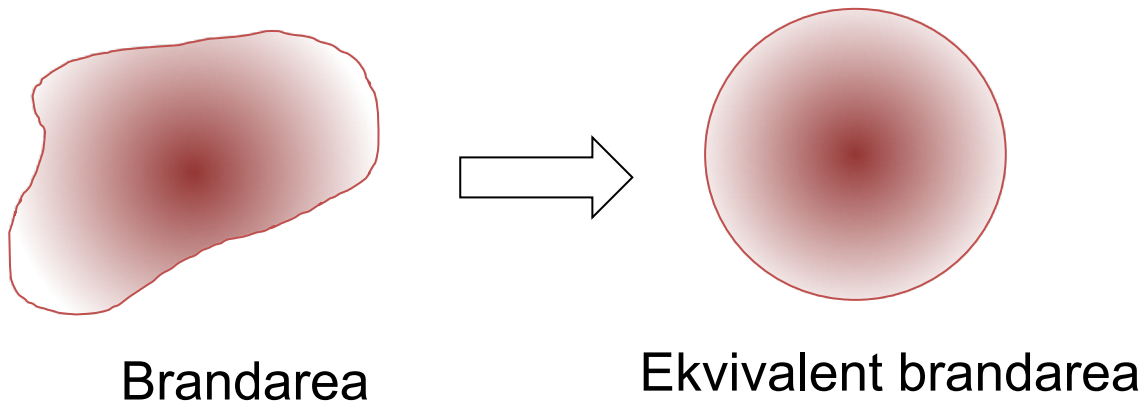
TABLE 3.6
Energy Release Rate Data

Description	kW/m ² of floor area
Fire retarded treated mattress (including normal bedding)	17
Lightweight type C upholstered furniture ^b	170 ^a
Moderate-weight type C upholstered furniture ^b	400 ^a
Mail bags (full) stored 5 ft high	400
Cotton/polyester innerspring mattress (including bedding)	565 ^a
Lightweight type B upholstered furniture ^b	680 ^a
Medium-weight type C upholstered furniture ^b	680 ^a
Methyl alcohol pool fire	740
Heavyweight type C upholstered furniture ^b	795 ^a
Polyurethane innerspring mattress (including bedding)	910 ^a



Brandarea

- Svårt att uppskatta på inredning (3D objekt)
- Lättare på ytor (golv, väggar)
- Men hur får man fram diameter och area för oregelbundna brandarea?
 - Till exempel från ett vätskespill

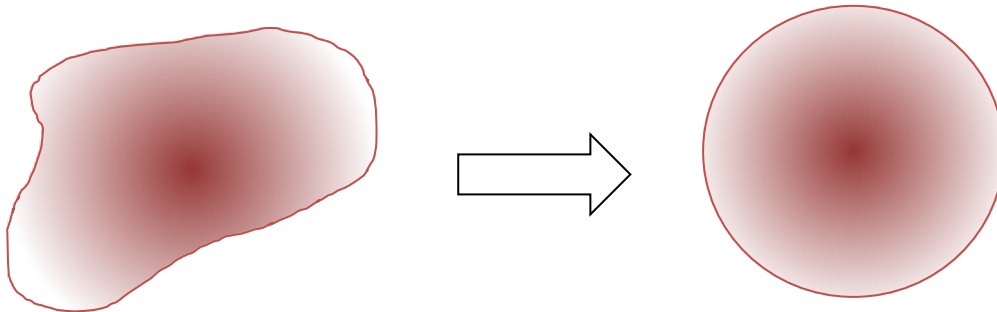


Ekvivalent branddiameter

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{A_f}{\pi}}$$

D = ekvivalent diameter (m)

A_f = bränslepaketets area (m²)



Pölbrand

- Vilken vätska användes?
 - Prover – svar från NFC
- Hur mycket brännbar vätska användes?

$$\delta = \frac{V_f}{A_f}$$

$V_f = \text{volym (m}^3\text{)}$
 $A_f = \text{area (m}^2\text{)}$
 $\delta = \text{djup (m)}$



Pölutbredning

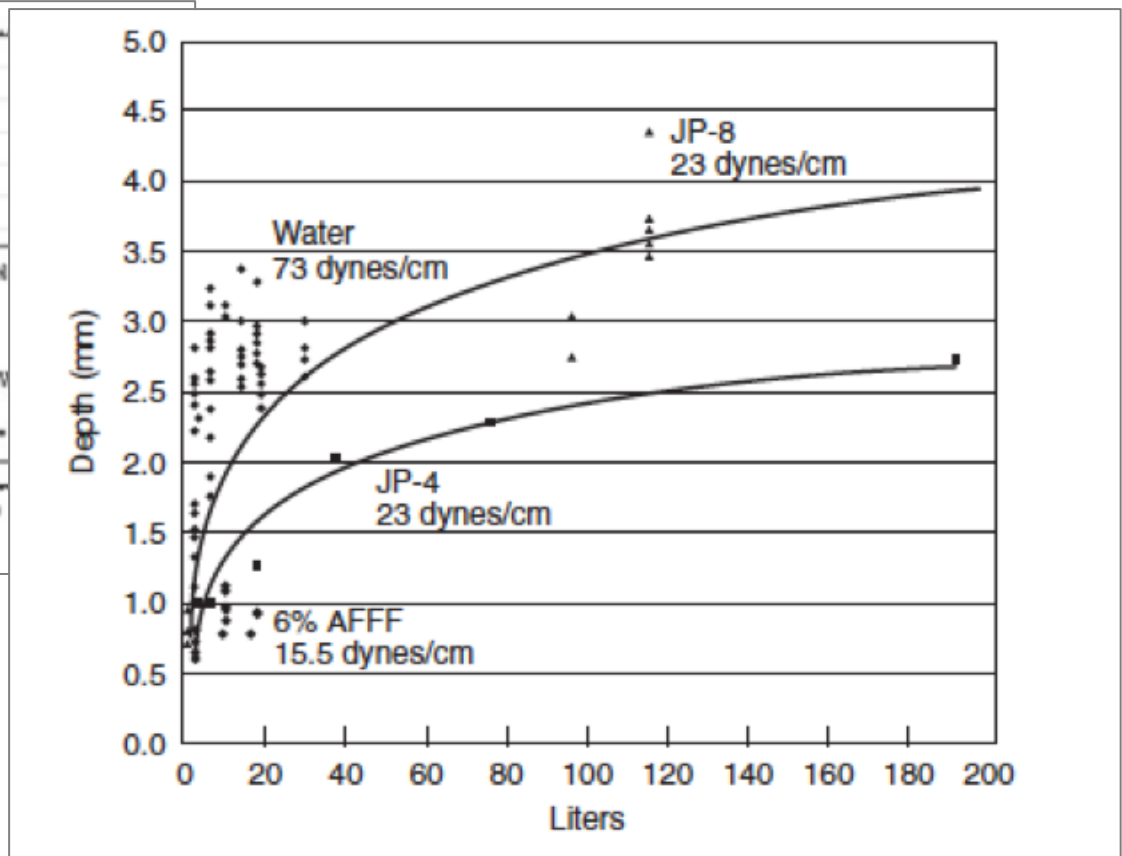
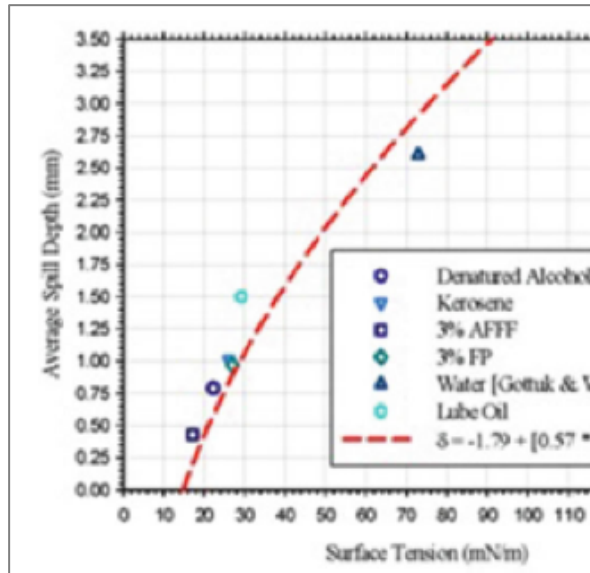
- Flöden kan vara kontinuerliga eller ej (statiska)
- Om invallning finns
 - Djupet styrs av invallningen och avdunstning
- Ingen invallning
 - Djupet styrs av underlaget, ytspänning, avdunstningen och storleken på utsläppet

$$\delta = \frac{V_f}{A_f}$$

$V_f = \text{volym (m}^3\text{)}$
 $A_f = \text{area (m}^2\text{)}$
 $\delta = \text{djup (m)}$



Pölutbredning



Pölyt

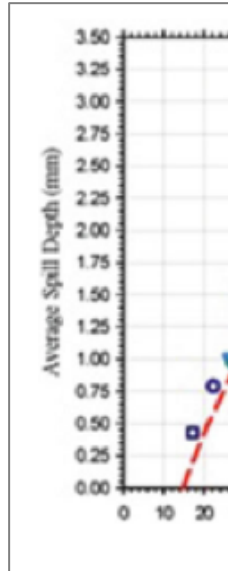
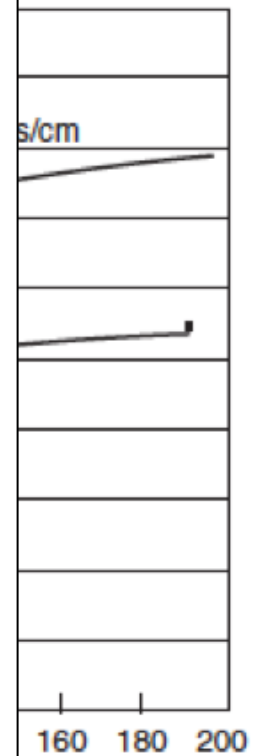


Table 65.1 Summary of fixed-quantity, unconfined liquid spill data

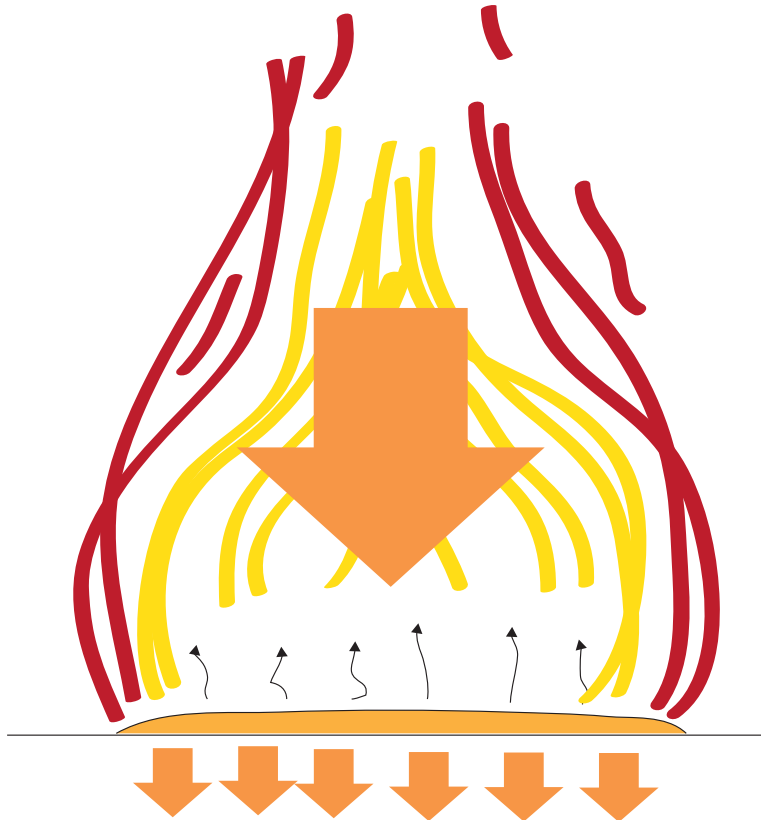
Reference	Fuel	Quantity of fuel	Spill depth	Spill area	Surface	
Chamben [2]	JP-4	4-189 L (1-50 gal)	1.1-2.9 mm	3-65 m ²	Concrete runway	
Gottuk et al. [3]	Water	3.8-30 L (1-8 gal)	1.1-3.4 mm	1-11 m ²	Smooth, unfinished concrete and tile floor	
Gottuk et al. [3]	6 % AFFF	3.8-19 L (1-5 gal)	0.6-1.1 mm		Smooth, unfinished concrete	
Gottuk et al. [4]	JP-8	2-3 L (0.5-0.8 gal)	0.7-1.1 mm	2.1-3.1 m ²	Smooth concrete with polyurethane coating	
Purcotti et al. [5]	Gasoline	0.25-1 L (0.07-0.26 gal)	0.5-0.7 mm	0.4-1.8 m ²	Wood parquet and vinyl tile	
Modak [6]	#2 fuel oil	0.005-0.030 L	0.22 mm	0.0075-0.04 m ²	Both epoxy-coated concrete and steel (spill depths were the same for both surfaces and were independent of the volume of liquid spilled.)	
	Lubricating oil		0.34 mm			
	Motor oil		0.75 mm			
	Hydraulic oil		0.84 mm			
Benfer [7]	3 % AFFF	0.2-450 mL	0.17-0.65 mm	0.01-1 m ²	Smooth, unfinished concrete	
	6 % AFFF		0.22-0.67 mm			
	Water		0.95-2.9 mm			
	Gasoline		0.22-0.64 mm			
	Denatured alcohol		0.12-0.77 mm			
Mealy et al. [8]	All	0.25-20 L (0.07-5.2 gal)	0.72 + 0.34 ^a	0.2-30 m ²	Smooth, unfinished concrete/ smooth concrete with polyurethane coating/brushed concrete/plywood/oriented strand board/vinyl tile	
	3 % AFFF		0.43 + 0.15 ^a			
	3 % FP Foam		0.97 + 0.53 ^a			
	Lubricating Oil		1.54 + 0.55 ^a			
	Gasoline		0.71 + 0.15 ^a			
	Kerosene		1.01 + 0.10 ^a			
	Denatured Alcohol		0.79 + 0.17 ^a			
	All ^b		0.66 + 0.18 ^a			
			0.53 + 0.08 ^a			Coated concrete
			0.53 + 0.20 ^a			Smooth concrete (sample 1)
			0.76 + 0.26 ^a			Smooth concrete (sample 2)
			0.63 + 0.26 ^a			Brushed concrete
			1.02 + 0.41 ^a			Vinyl flooring
	1.04 + 0.51 ^a	Plywood				
		Oriented strand Board				

^aValues presented are average spill depths measured during multiple tests with one standard deviation

^bAll fuels noted for Mealy et al. reference, excluding lube oil



Massförlust i grund pöl



Exempel:

1 liter bensin på trägolv

$\dot{m}'' = 0.044 \text{ kg/m}^2\text{s}$ enligt tabell

Experiment gav:

$\dot{m}'' = 0.011 \text{ kg/m}^2\text{s}$

$$\dot{Q} = A_f \cdot \dot{m}'' \cdot \chi \cdot \Delta H_c$$

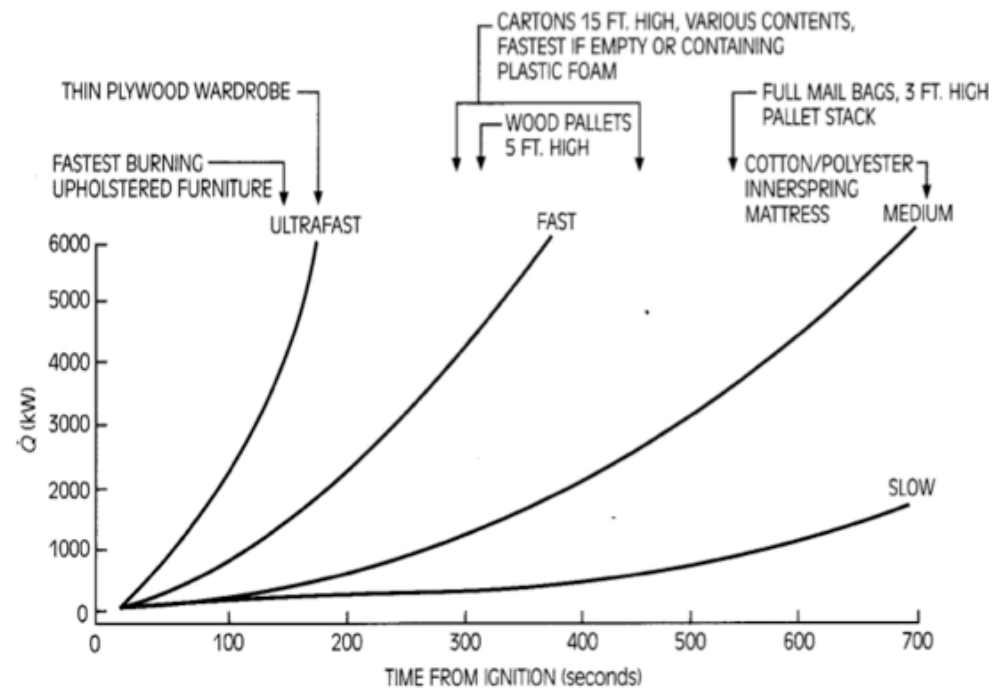
Ger sannolikt överskattning



Tillväxande brand (ej pölbrand)

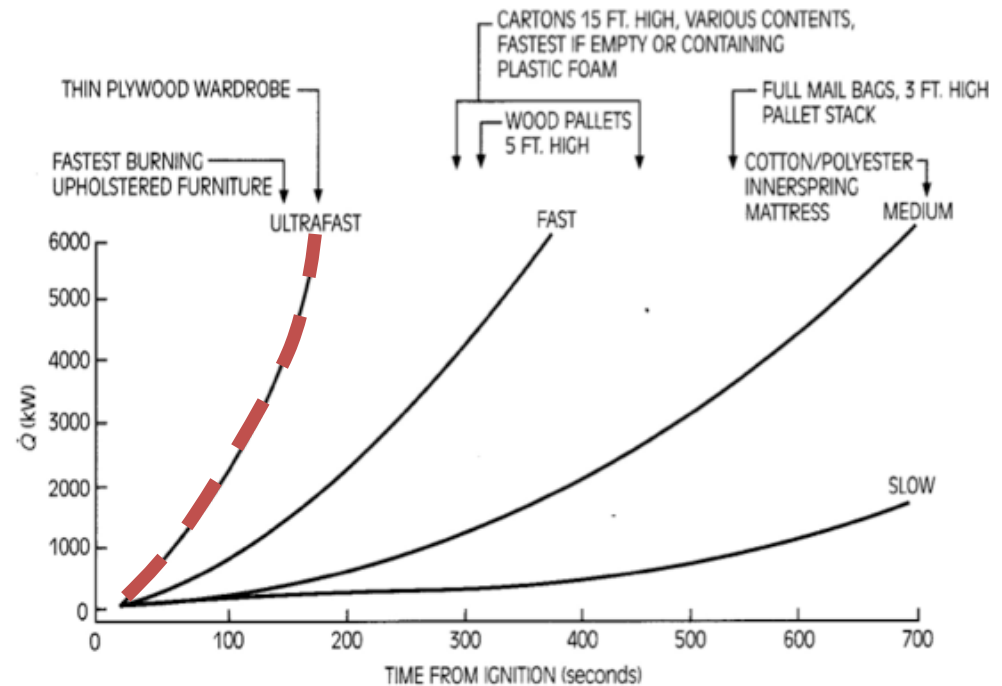
- Maximal brandeffekt uppnås inte direkt...
 - Hur kan man modellera brandtillväxten?

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$$



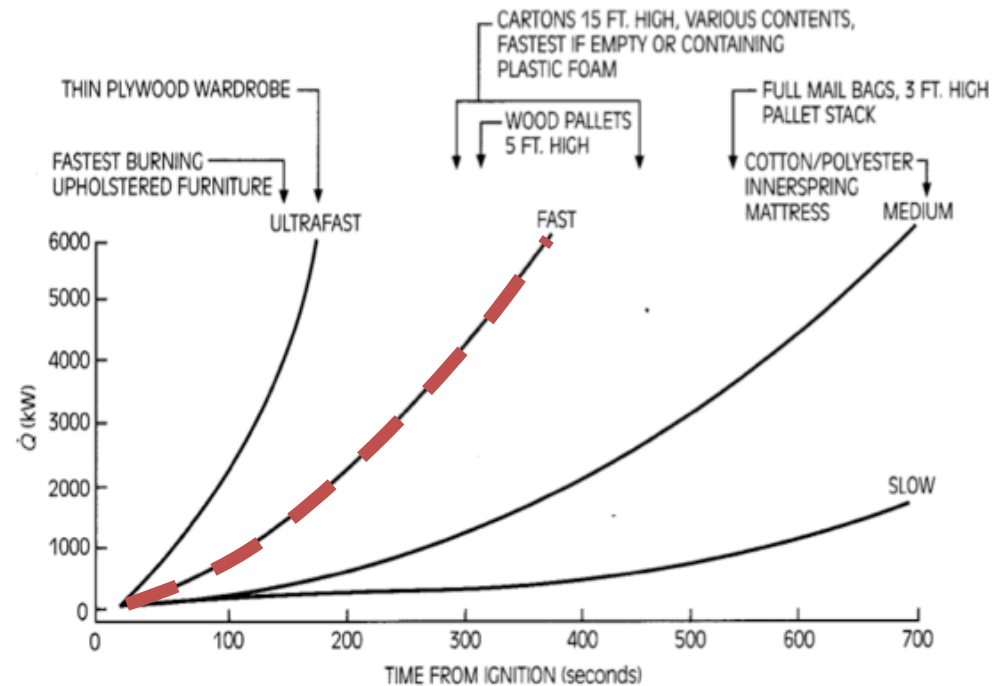
Tillväxande brand: Ultra fast (0.19 kW/s^2)

- Packing materials in rubbish pile
- Non-fire retarded foam plastics
- Upholstered furniture
- Stacked furniture



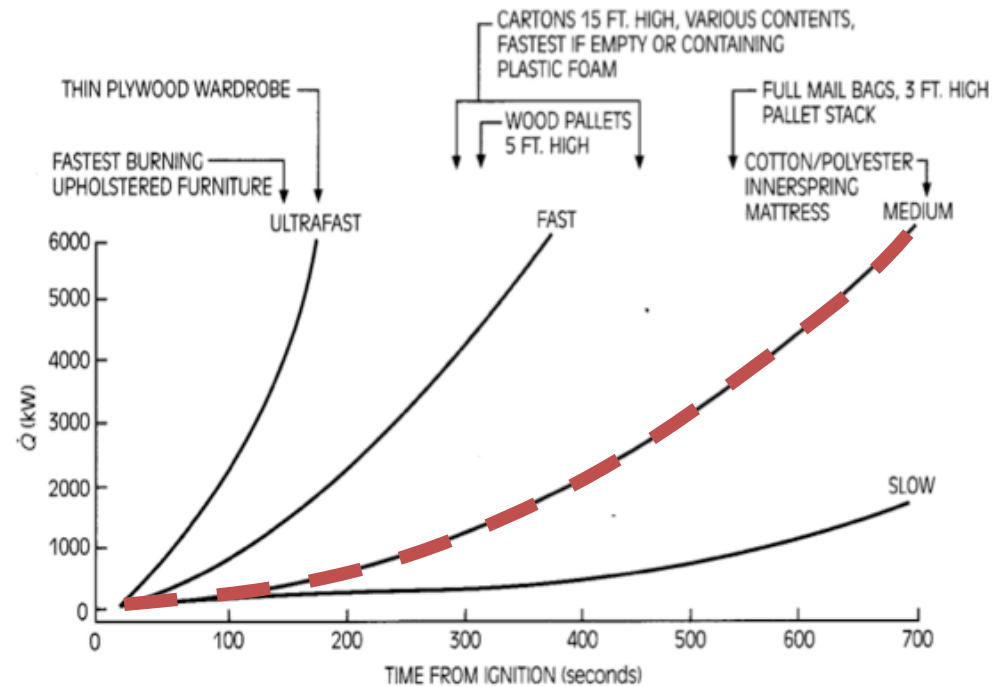
Tillväxande brand: Fast (0.047 kW/s^2)

- Bedding
- Hotels
- Schools, offices



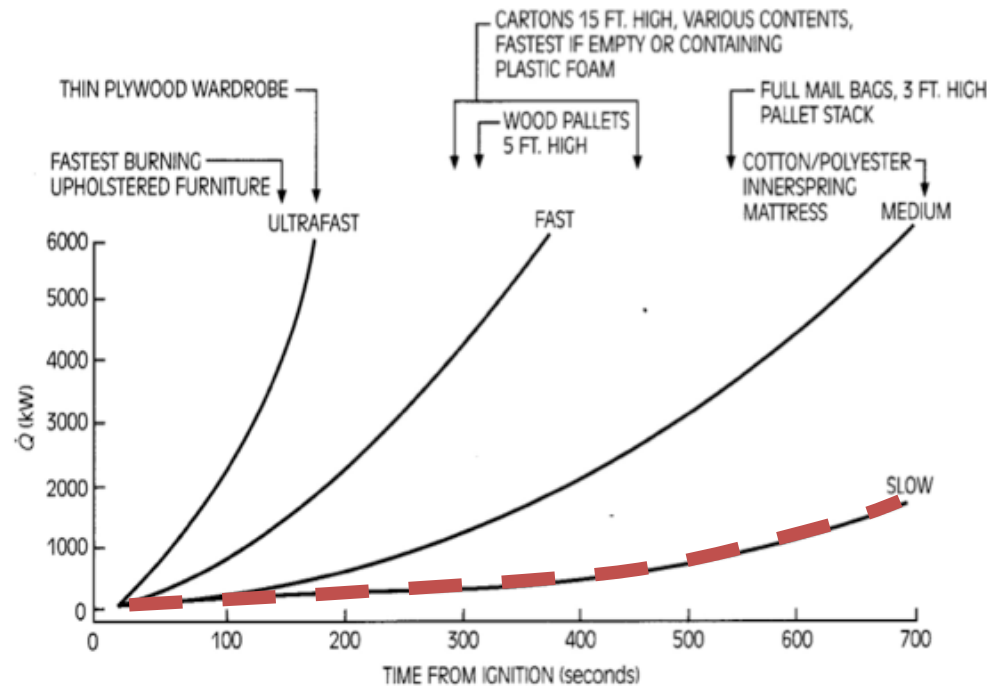
Tillväxande brand: Medium (0.012 kW/s^2)

- Shop counters
- Office furniture
- Fires in dwellings

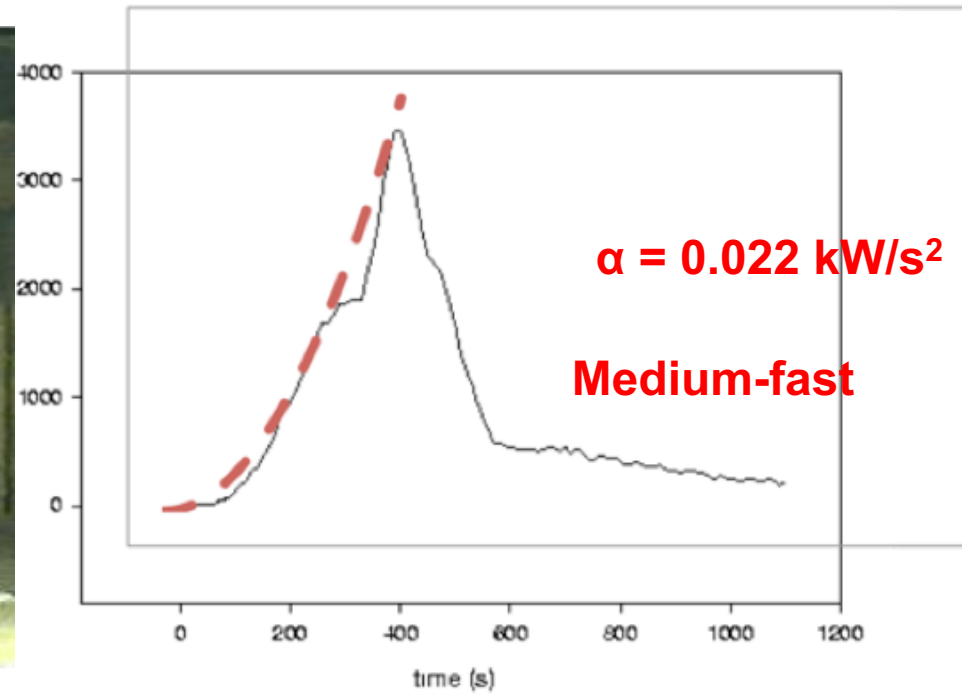


Tillväxande brand: Slow (0.003 kW/s^2)

- Floor coverings
- Fire retardant mattress



Exempel: Sofa



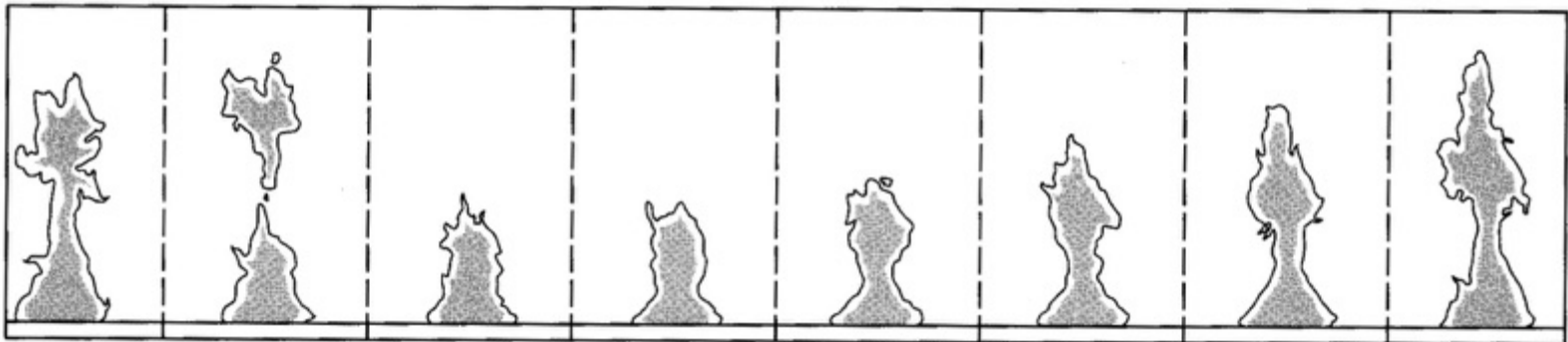
Source: <http://fire.nist.gov/fire/fires/>



LUND
UNIVERSITY

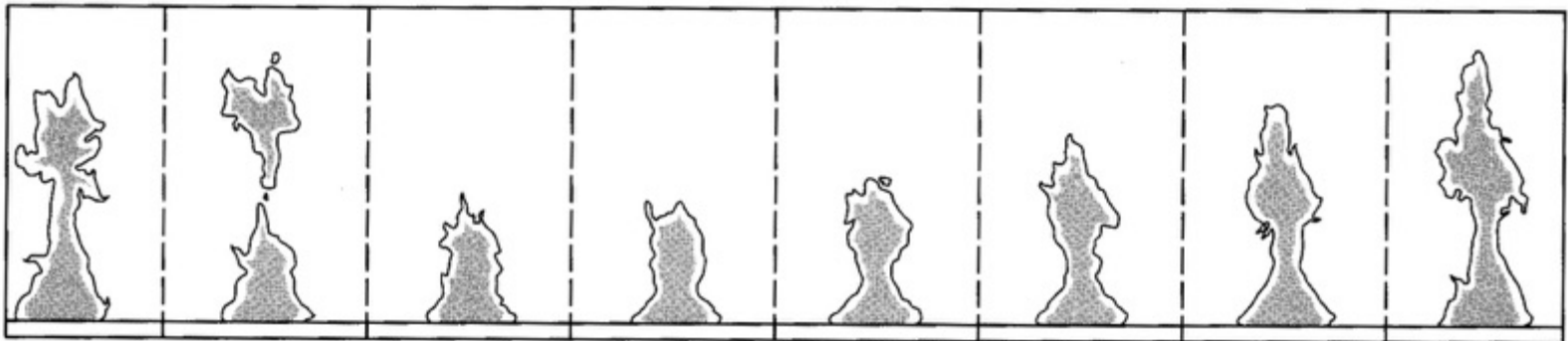
Medelflamhöjd

- Medelflamhöjd
 - Där flamman befinner sig över 50% av tiden
 - Där temperaturen sjunkit till 500°C
- Flammor är turbulenta och slumpmässiga
 - Samband framtaget med empirisk data



Medelflamhöjd

- Vad kan vi använda medelflamhöjd till?
 - Beskriva förloppet
 - Bekräfta bedömd effektutveckling
 - Uppskatta risk för spridning
 - ...

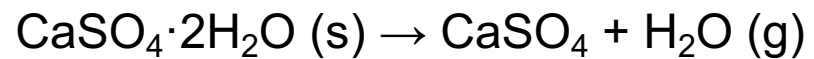


Medelflamhöjd

- Renbränning (vid den tillväxande branden)
 - Brandeffekt, obrännbara ytor blir "Rena"
 - Kol brännbart, 700° C
 - » Där vi har "presistant flame", > 800° C
- Andra brandeffekter kopplat till temperatur



Spjälkning



Förkalkning



Medelflamhöjd

- Flamhöjden styrs av
 - Förbränningshastigheten
 - Brandens geometri, diameter
 - Grov uppskattning av flamhöjd kan göras:
 - » $D < 1 \text{ m}$ – Flamhöjd = $2D$
 - » $D > 1 \text{ m}$ – Flamhöjd = D
 - » D mycket stort (100 m) – Flamhöjd mindre än D (10-20 m)

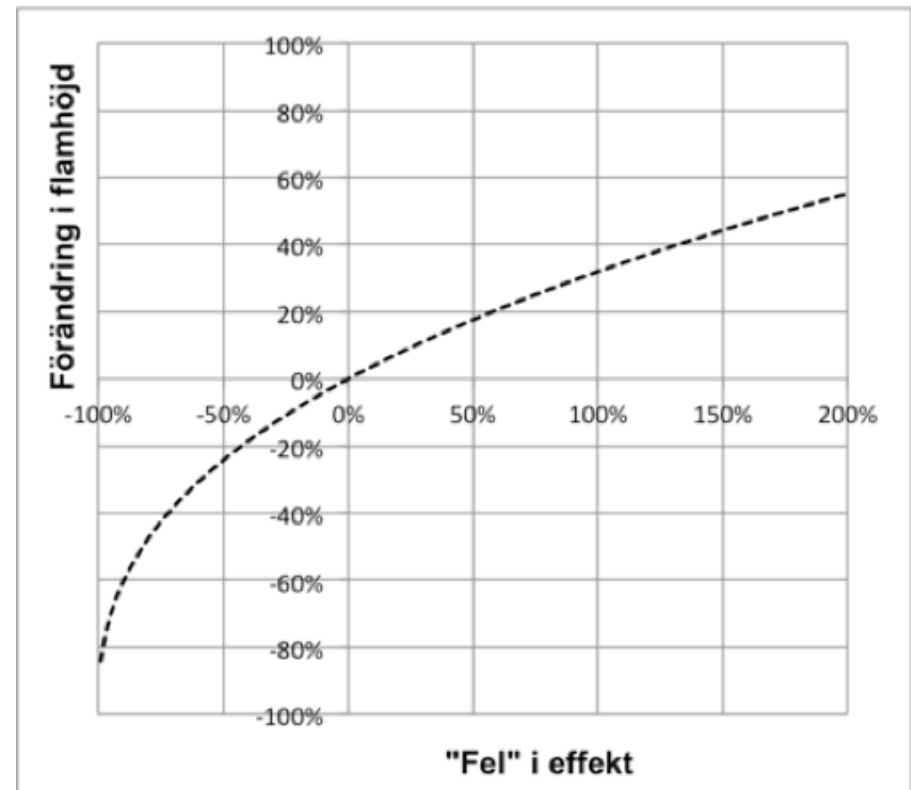


Medelflamhöjd

- Heskestads flammhöjdskorrelation

$$L = 0.23\dot{Q}^{\frac{2}{5}} - 1.02D$$

- Oberoende av bränsle!
- Hyfsad uppskattning av Q
 - God uppskattning av L



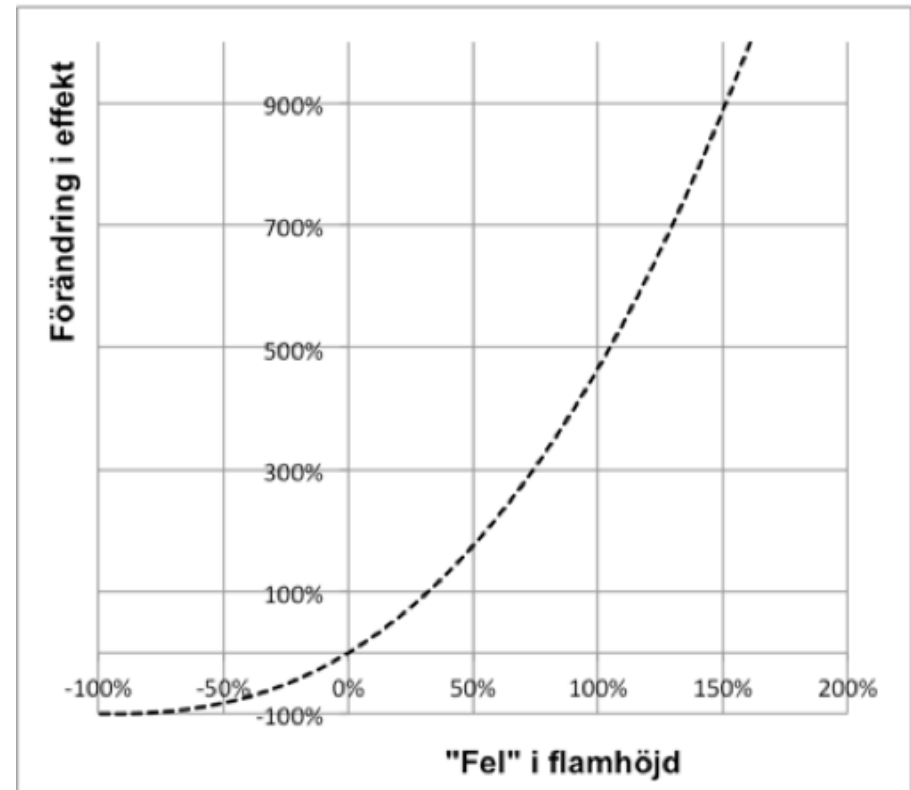
Medelflamhöjd



- Heskestads flamhöjdskorrelation

$$Q = \left(\frac{L + 1.02D}{0.23} \right)^{5/2}$$

- Hyfsad uppskattning av L
 - **Risk för stort fel i Q**



Resultat av laboration

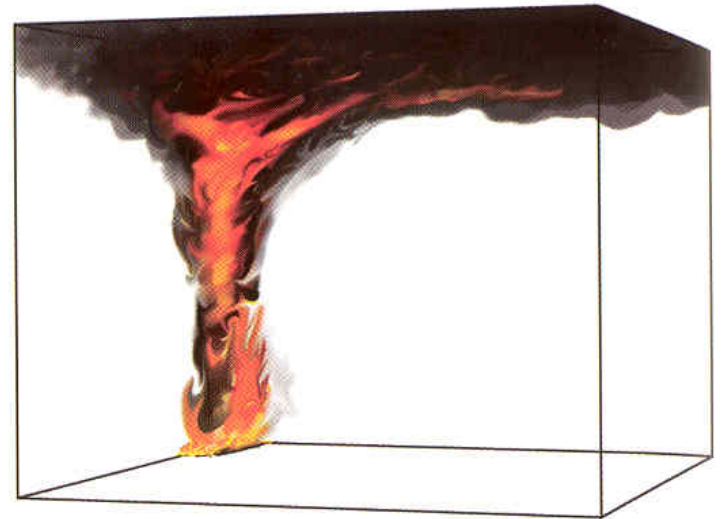
4 av 7 grupper har lämnat in

- Flamhöjd varierade mellan 0.58 och 0.68 m (medel 0.63 m)
- Räknade ut effekten från det
 - Varierade mellan 14.3 och 21 kW (medel 17.7 kW)
- 95% konfidensintervall
 - Flamhöjd 12% av medelvärdet
 - Brandeffekt 28% av medelvärdet

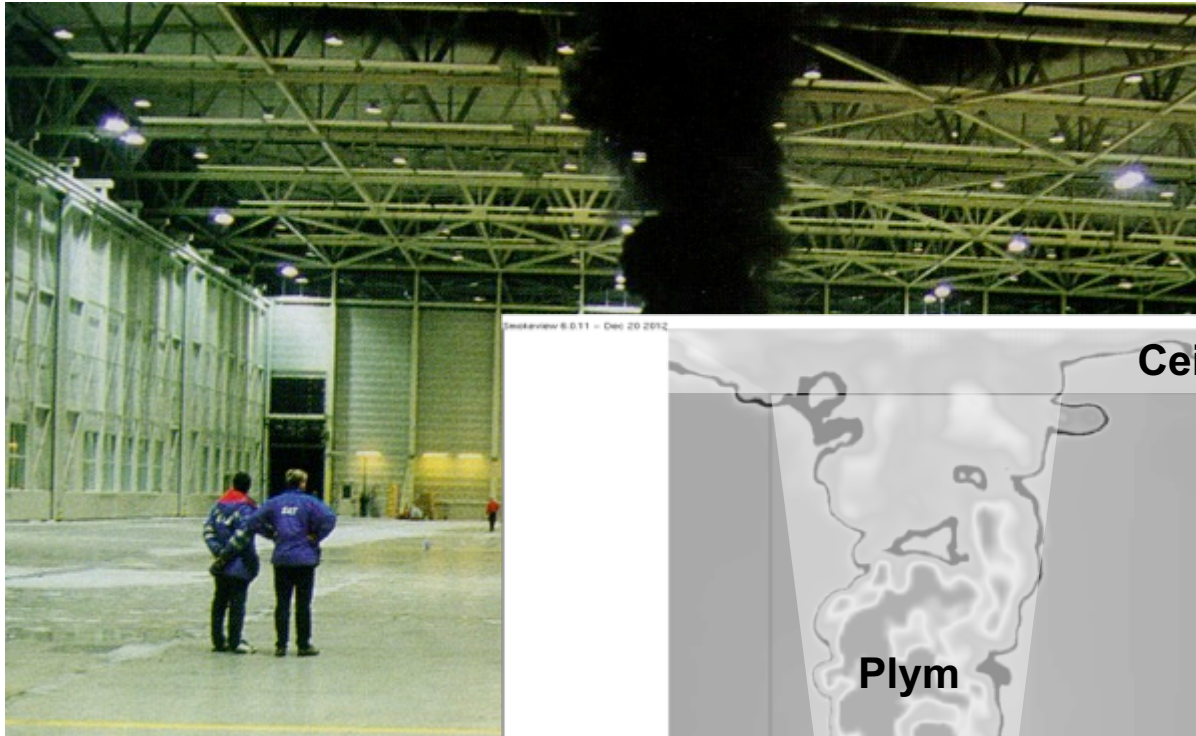


Flammor intill en vägg eller i ett hörn

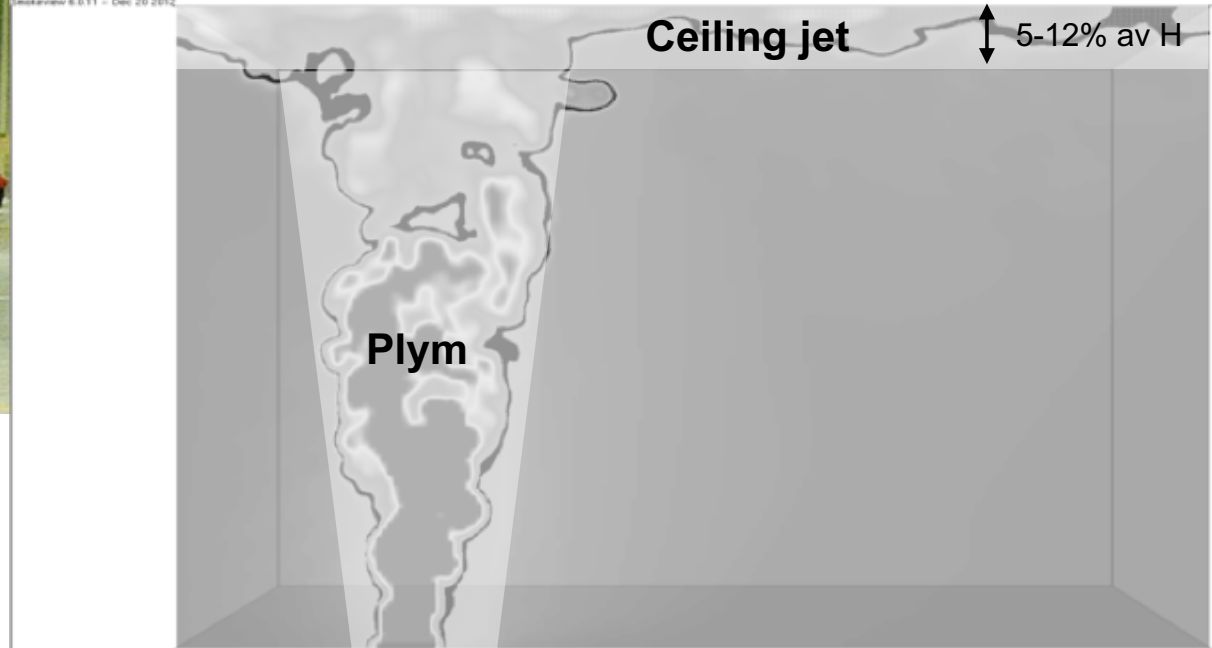
- Flammorna blir längre för att tillräckligt med syre ska kunna diffundera in i flammen och blandas med bränslet
- Något högre temperaturer



Plymer och ceiling jet (takstråle)



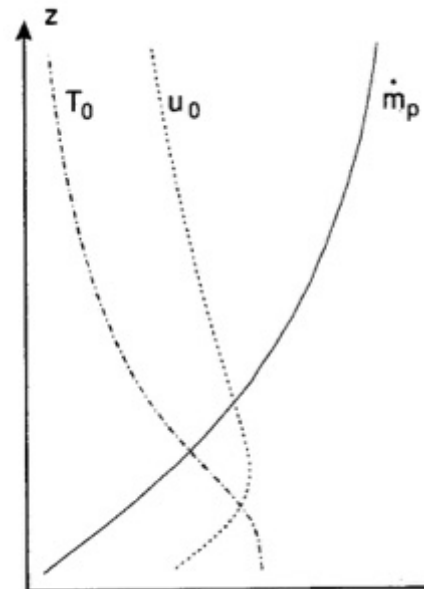
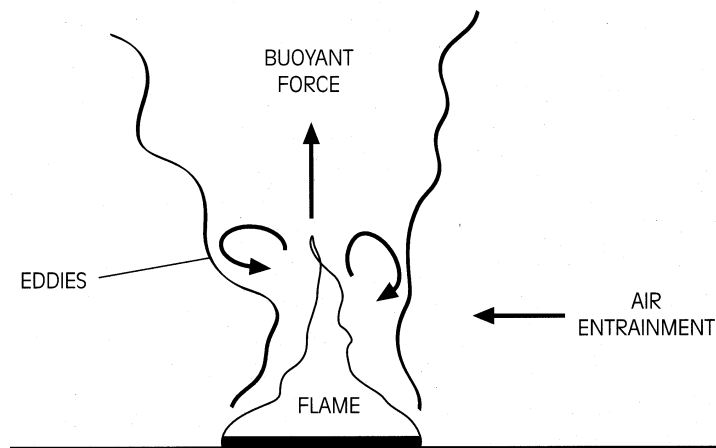
Smokeview 6.0.11 - Dec 20 2012



Frame 39
Time 35.0

Inblandning (entrainment)

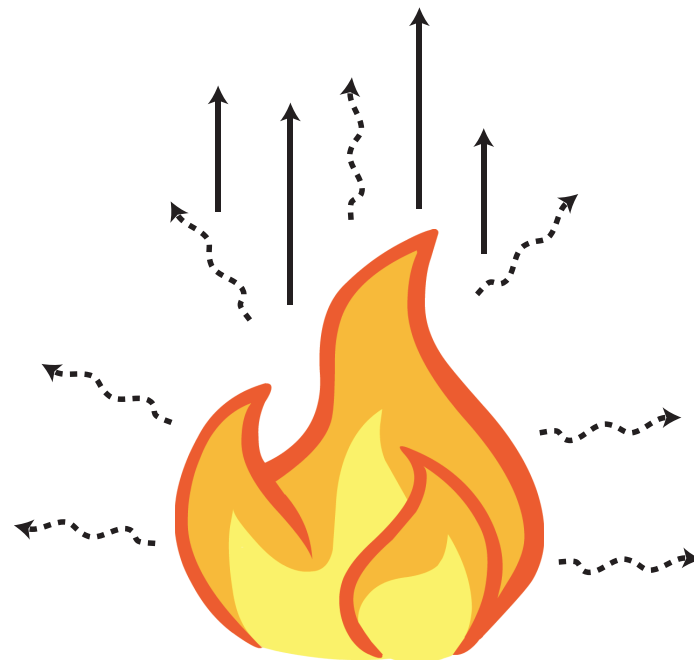
- Omgivningens kalla luft "blandas in" eller "sugs" i det uppåtriktade flödet
- Plymens temperatur, hastighet minskar och diameter ökar med ökad höjd över bränslet.



Vart tar energin vägen?

Den andel av den total frigjorda energi som transporteras som strålning från en flamma.

- Varierar mellan bränslen
 - Normalt 30-40%
 - Alkoholer < 15%



$$\text{Effekt } \dot{Q} = \dot{Q}_c + \dot{Q}_r$$

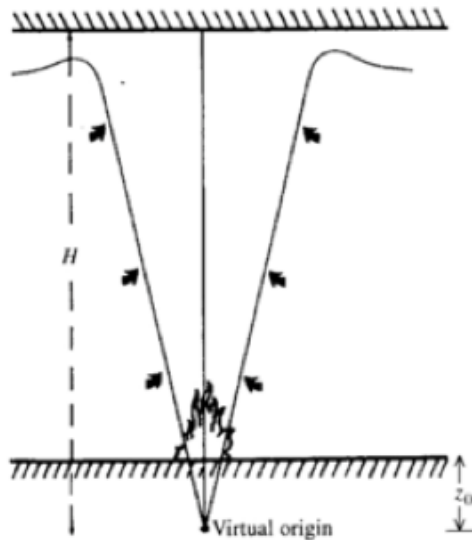


Plymmodeller

- Flera möjliga modeller

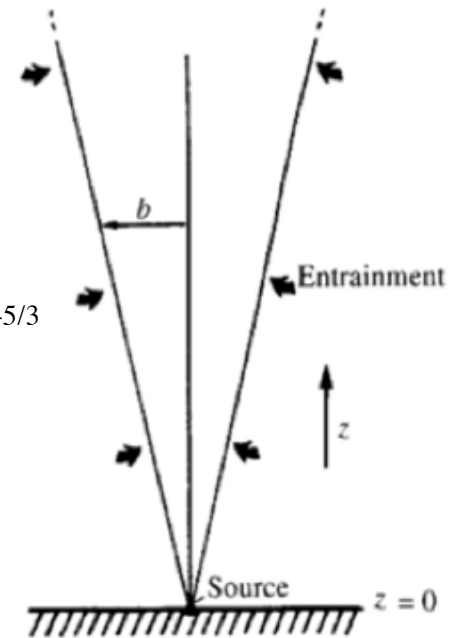
$$\Delta T_0 = 25 \cdot \left(\frac{\dot{Q}_c^{2/5}}{(z - z_0)} \right)^{5/3}$$

$$b = 0.12 (T_0 / T_\infty)^{1/2} (z - z_0) \quad \text{Heskestad } L < z$$



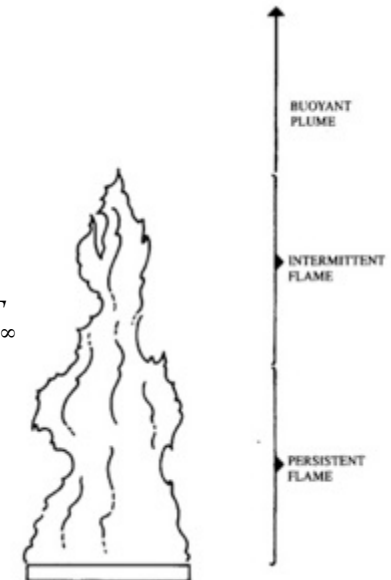
$$\Delta T = 5.0 \left(\frac{T_\infty}{g c_p^2 \rho_\infty^2} \right)^{1/3} \dot{Q}^{2/3} (z)^{-5/3}$$

Ideala plymen $b = \frac{6}{5} \alpha \cdot z$



$$\Delta T_o = \left(\frac{\kappa}{0.9 \cdot \sqrt{2g}} \right)^2 \left(\frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} \right)^{2\eta-1} \cdot T_\infty$$

McCaffrey



Plymmodeller

- Hur väljer man "rätt" plymmodell
 - Boussinesq antagandet,
 - » Svaga plymer (weak plume)
 - » Inte rimligt då $z < L$
 - » Rimligt i en bostad?

$\dot{Q}^* > 0.035$ I så fall inte rimligt att använda en svag plymmodell

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{gD} \cdot D^2}$$



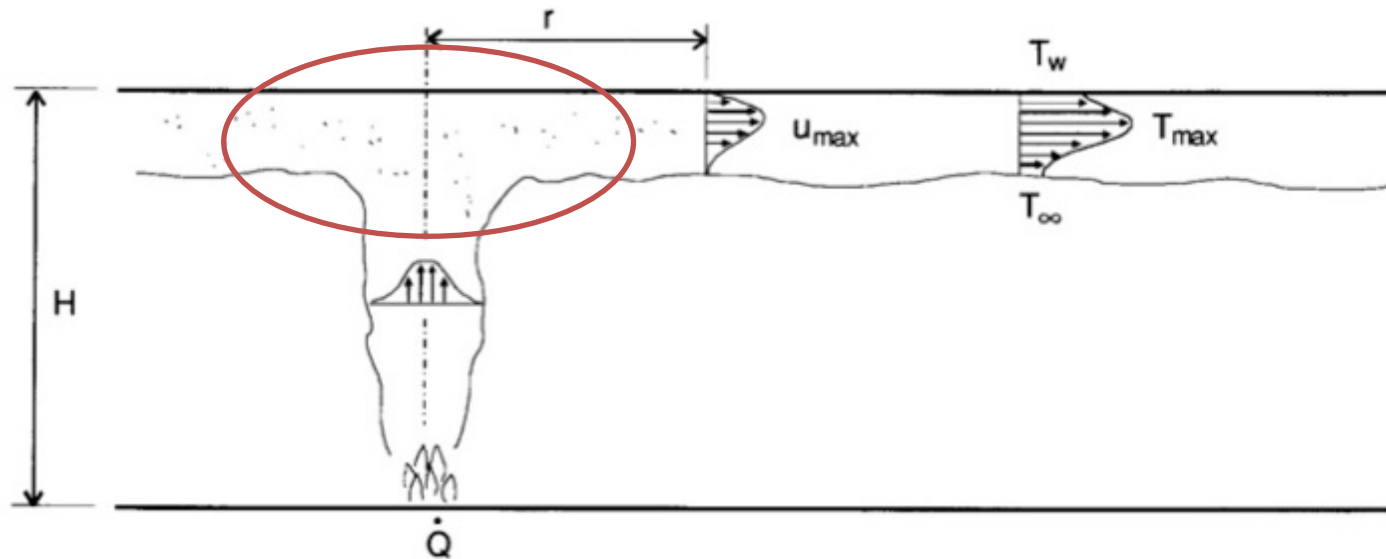
Alper's korrelationer

$$r/H < 0.18$$

$$T_{\max} - T_{\infty} = \frac{16.9 \cdot \dot{Q}^{2/3}}{H^{5/3}}$$

$$r/H < 0.15$$

$$u_{\max} = 0.96 \cdot \left(\frac{\dot{Q}}{H} \right)^{1/3}$$



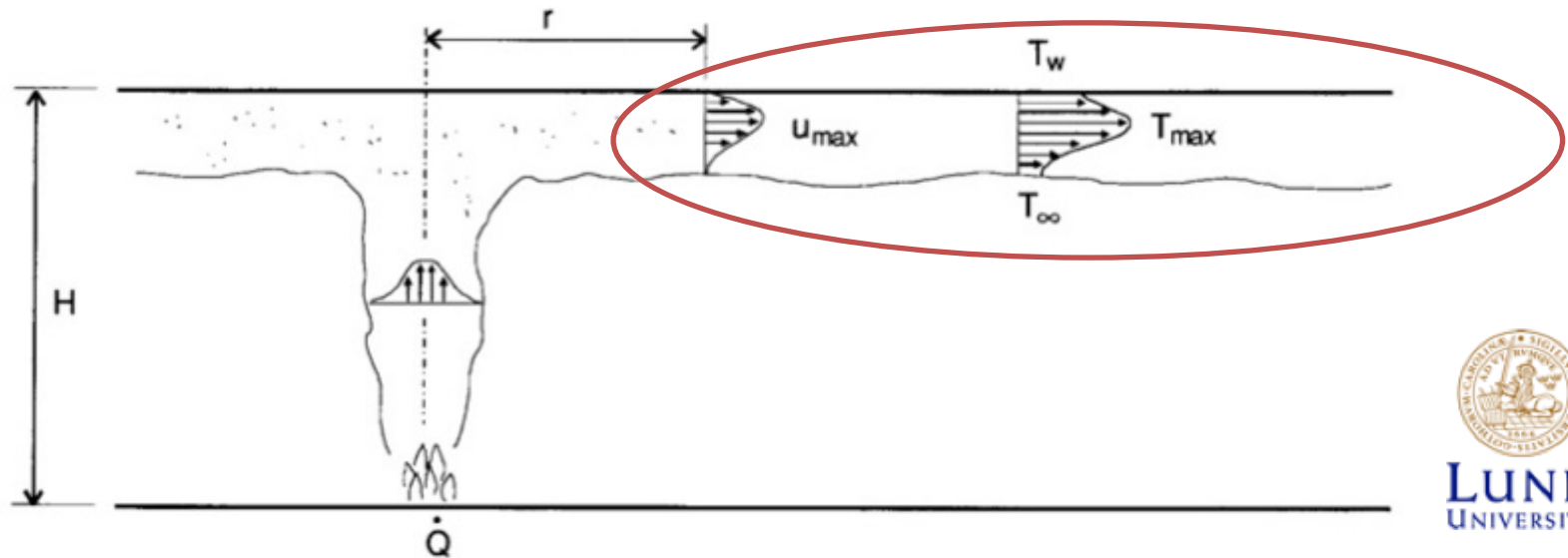
Alper's correlations

$$r/H > 0.18$$

$$T_{\max} - T_{\infty} = \frac{5.38 \cdot (\dot{Q}/r)^{2/3}}{H}$$

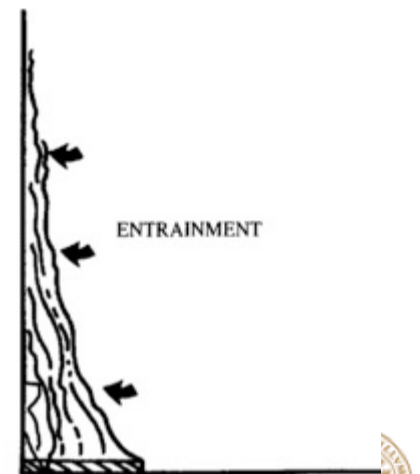
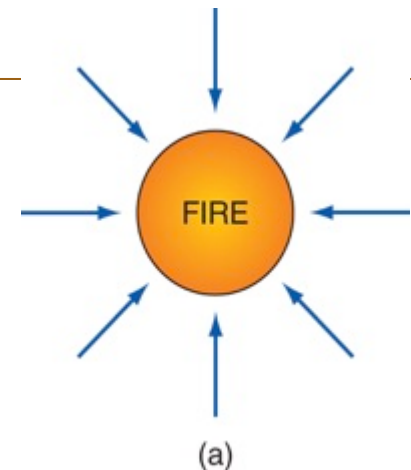
$$r/H > 0.15$$

$$u_{\max} = \frac{0.195 \cdot \dot{Q}^{1/3} \cdot H^{1/2}}{r^{5/6}}$$



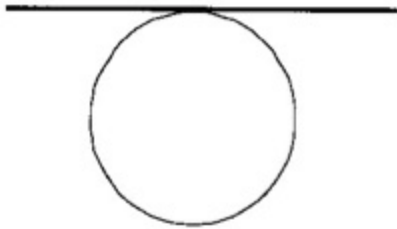
Påverkan på inblandning

- Mitten av rummet
 - Inblandningen är ungefär lika stora runt omkretsen så att plymen förblir symmetrisk och upprätt.
- Vid en vägg
 - Luft kan inte strömma in lika från alla sidor, luften från den "fria" sidan tvingar plymen mot väggen.
 - Mindre med luft som kyler plymen



Interaktion med plymen (imaginär källa)

- När plymen ligger mot en vägg förändras plymens egenskaper (t.ex. massflöde) enligt nedan.
- Flamman blir också längre
 - Denna metod kan dock överskatta flamhöjden.



$$\dot{m}_p = f(\dot{Q})$$



$$\dot{m}_p = \frac{1}{2}f(2 \cdot \dot{Q})$$



$$\dot{m}_p = \frac{1}{4}f(4 \cdot \dot{Q})$$

Plymer och ceiling jet (takstråle)

- Vad kan vi använda plymer och ceiling jet till?
 - Beskriva förloppet
 - Bekräfta bedömd effektutveckling
 - Aktivering av sprinkler och värmedetektorer
 - ...



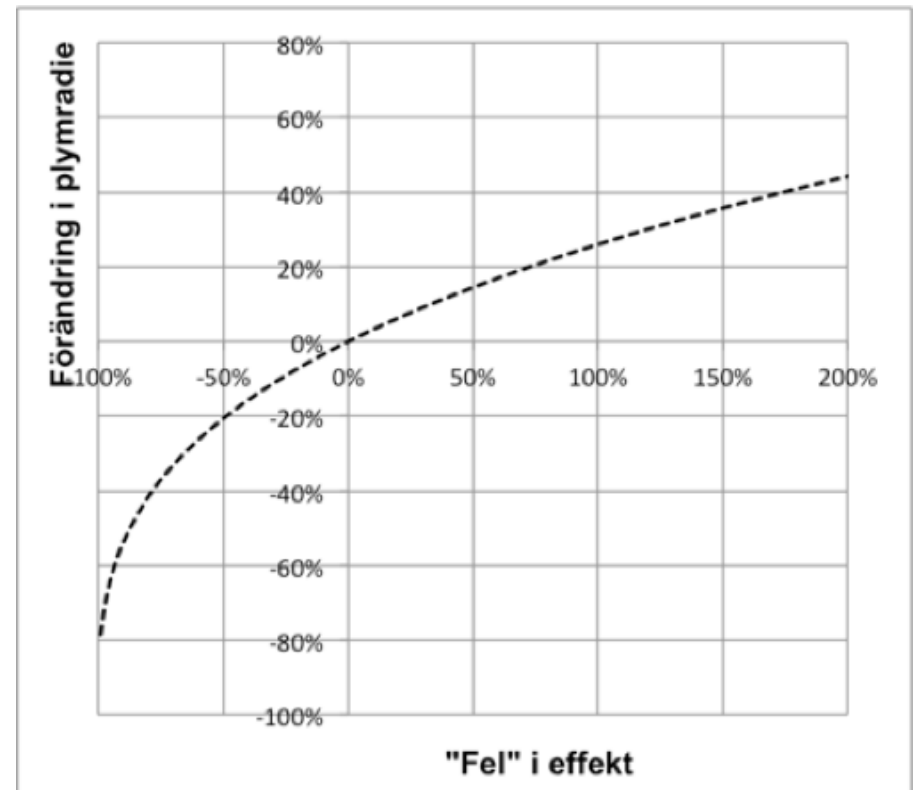
Plymutbredning

- V/U-mönster, takcirkel?

$$b = 0.12 (T_0 / T_\infty)^{1/2} (z - z_0)$$

$$b = \frac{6}{5} \alpha \cdot z$$

- Hyfsad uppskattning av Q
 - God uppskattning av b



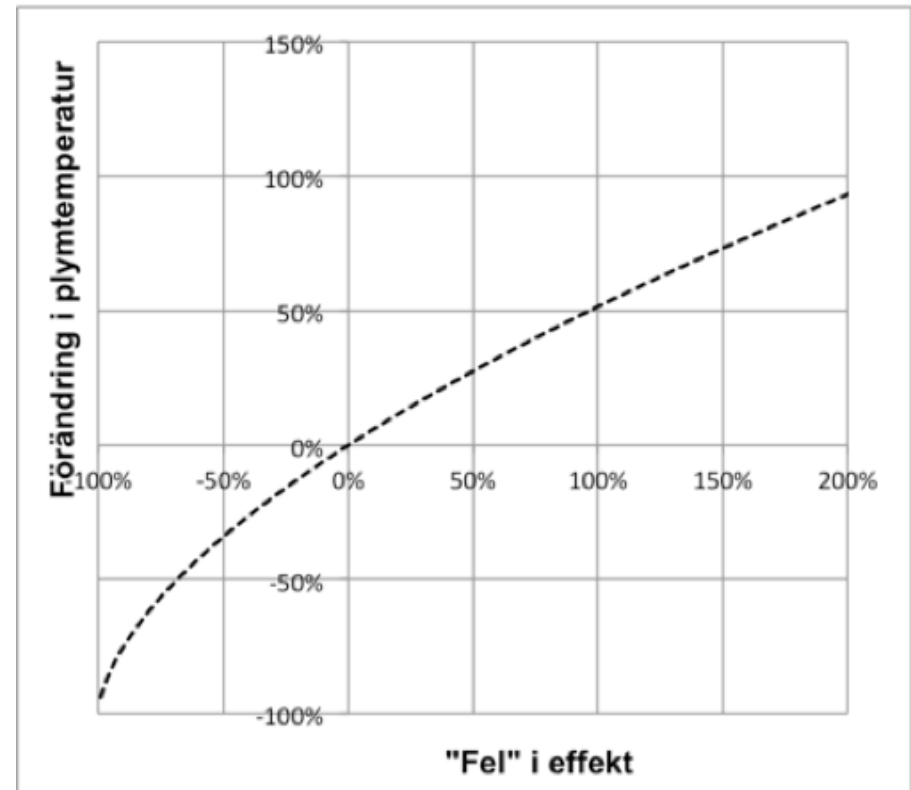
Plymtemperatur

- Smältskador?

$$\Delta T_0 = 25 \cdot \left(\frac{\dot{Q}_c^{2/5}}{(z - z_0)} \right)^{5/3}$$

Plast (termo)	90-160°C
Parafin	54°C
Glas	593-1427°C
Aluminium	660°C
Tenn	232°C
Järn	1540°C

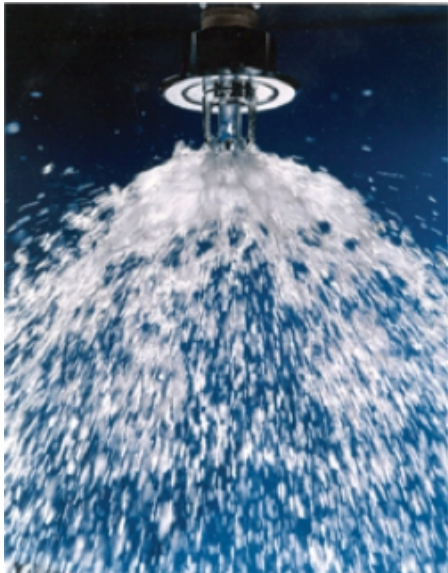
- Hyfsad uppskattning av Q
 - God uppskattning av ΔT



Aktivering av sprinkler

Varför vill man studera aktivering av sprinkler?

- När aktiverade sprinkler?
- Varför aktiverade inte sprinkler?
- Om sprinkler funnits, hur hade det påverkat situationen?



Vilka parametrar styr sprinkleraktivering?



Aktivering av sprinkler

$$t_{akt} = \frac{RTI}{\sqrt{u}} \log_e \left(\frac{T_g - T_\infty}{T_g - T_{akt}} \right)$$

RTI = Respons Time Index ($m^{1/2}s^{1/2}$)

u = gashastighet (m/s)

T_g = gastemperatur (K)

T_∞ = gastemperatur (K)

T_{akt} = aktiveringstemperatur (K)

Typ	RTI
Quick	30
Medium	100
Normal	200-500

Färg	Akt. Temp (°C)
Orange	57
Röd	68
Gul	79
Grön	93
Blå	141



Begränsningar med ceiling jet korrelationer

- Jämna tak, utan hinder
 - Ingen ansamling av brandgaser
- Kort transporttid
 - Snabbare högre temperaturer
 - Måste korrigera för transporttid vid höga tak

