



# Formelsamling för brandberäkningar

Sammanställt av Tommy Törling

# Brandeffekt - Brandbelastning

## Sammanställning

### Avgiven brandeffekt

För att kunna beräkna avgiven brandeffekt  $q$ , behöver man känna till följande:  
(OBS! Brandeffekten ges som  $q_{\max}$ )

$$q = \chi * m'' * \Delta H_c * A_f \quad (\text{W})$$

Förbränningskoefficient,  $\chi$

Mellan 0,6 - 0,8 normalt 0,7

Förbränningshastighet,  $m''$

Hämtas ur tabell 1.4 och 3.6

När det gäller vätskebränder måste hänsyn tas till storleken på spillet p.g.a. avkylning från kanter. Om  $D < 2$  m skall kompensation göras enligt följande:

$$M'' = m'' * (1 - e^{-k\beta D})$$

Om ytan är rektangulär kan diametern räknas om genom formeln  $D = \sqrt{((4 * A)/p)}$

Där  $k\beta$  och  $m''$  hämtas ur tabell 3.6 och  $D$  är diametern. ( $e = 2,72$ )

Förbränningsvärme,  $\Delta H_c$

Hämtas ur tabell 1.2 och 3.6  
Kan också fås genom att beräkna.

$$\Delta H_c = L_v * \text{värde i tabell 1.3}$$

$L_v$  får från tabell 1.1

Bränsleyta,  $A_f$

Brandeffekten kan också uppskattas om man känner till brandtillväxten.

$$q = \alpha * t^2 \text{ (kW)}$$

Brandtillväxtfaktor,  $\alpha$

Hämtas ur tabeller

Mycket snabb brandtillväxt	0,1875 kW/s <sup>2</sup>
Snabb brandtillväxt	0,0469 kW/s <sup>2</sup>
Medelsnabb brandtillväxt	0,0117 kW/s <sup>2</sup>
Långsam brandtillväxt	0,0029 kW/s <sup>2</sup>

Kan också fås från s.42 i boken Teori och praktik, där hänsyn tas till ytskikt i lokalen.

Tid, t

(OBS ! i sekunder)

Från redan proveldade produkter kan värden tas direkt ur tabell.  
Tabeller som kan användas är 3.3 och 3.4

Observera att värden från tabell är per ytenhet och måste räknas om enligt:

$$q = q'' * A_f \text{ (W)}$$

När det gäller bränder i pallar går det att beräkna effekten med hänsyn till staplingshöjden.

$$q'' = 0,97 * (1 + 2,14 * h) \text{ (MW/m}^2\text{)}$$

där h är staplingshöjden i meter.

## Brandbelastning

Brandbelastningen talar om för oss den maximala värmemängden som kan utvecklas i ett rum där allt brännbart deltar.

$$f = \Sigma(m * \Delta H_c) / A_{\text{tot}} \text{ (MJ/m}^2\text{)}$$

Massan, m

Kg

Förbränningsvärme

Se tidigare uppgifter

Totala inre omslutningsarea,  $A_{\text{tot}}$

Det är ytan på rummets alla tak, väggar och golvytor

l = längd

b = bredd

h = höjd

$$A_{\text{tot}} = (2 * l * b) + (2 * l * h) + (2 * b * h) \text{ (m}^2\text{)}$$

Tillgången på syre kommer givetvis att påverka branden och förhållandet mellan öppningarnas storlek och den inre omslutningsarean kallas för öppningsfaktor, öf, och kan beräknas enligt:

$$\text{öf} = A * h^{1/2} / A_{\text{tot}} \text{ (m}^{1/2}\text{)}$$

Sammanlagda öppningsarea, A

Addera alla öppningsareor

Viktad medelhöjd, h

Ett slags medelvärde på öppningarnas höjd och beräknas enligt:

$$h = 1/A * (A_1 * h_1) + (A_2 * h_2) \dots$$

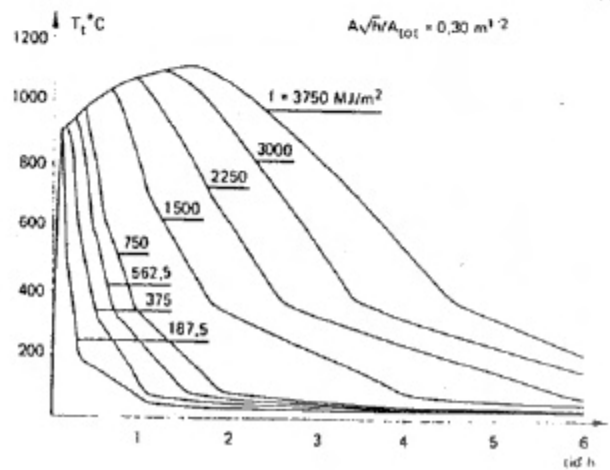
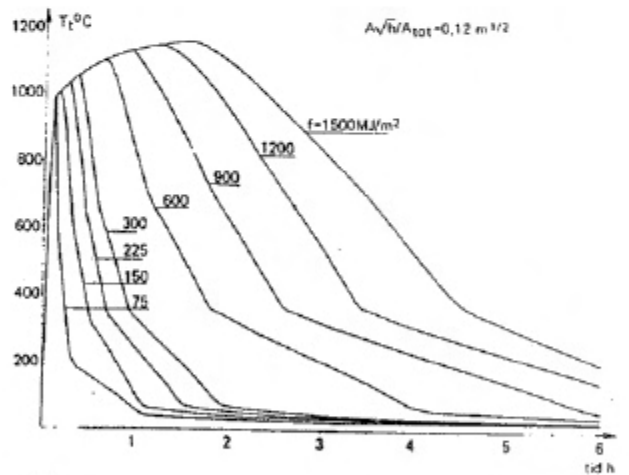
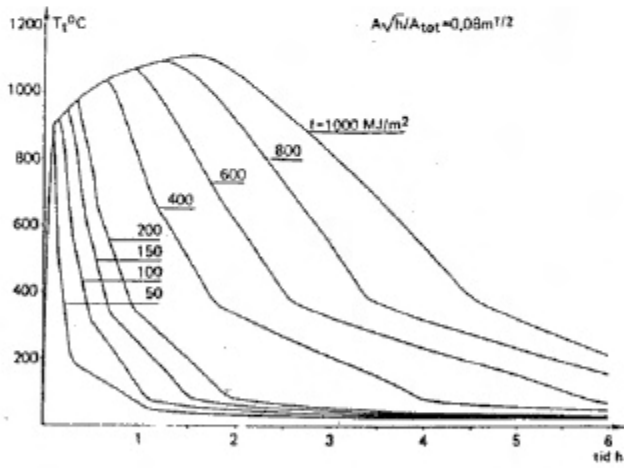
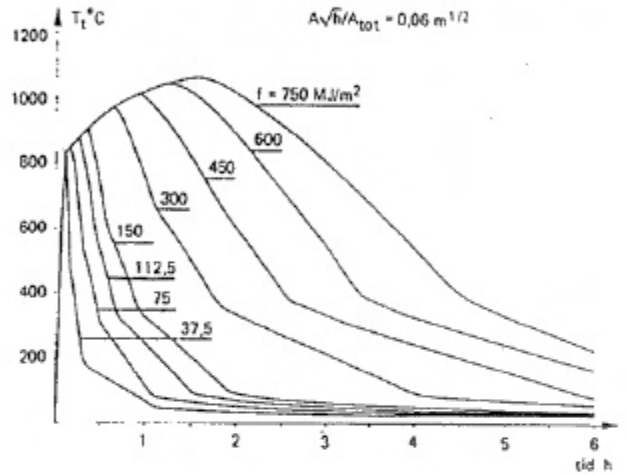
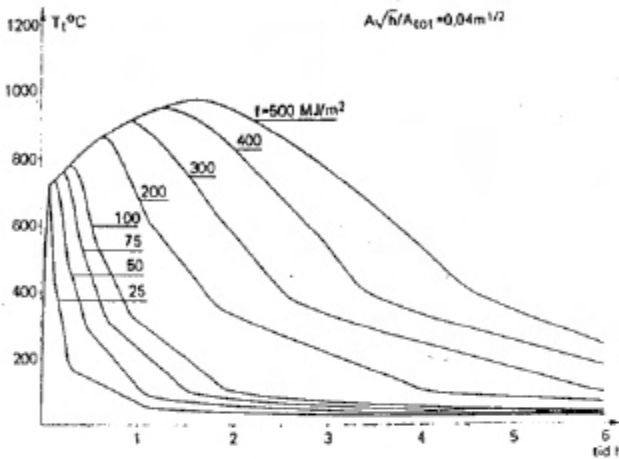
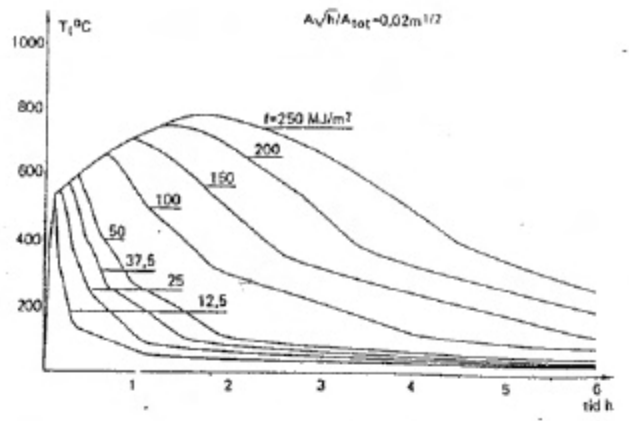
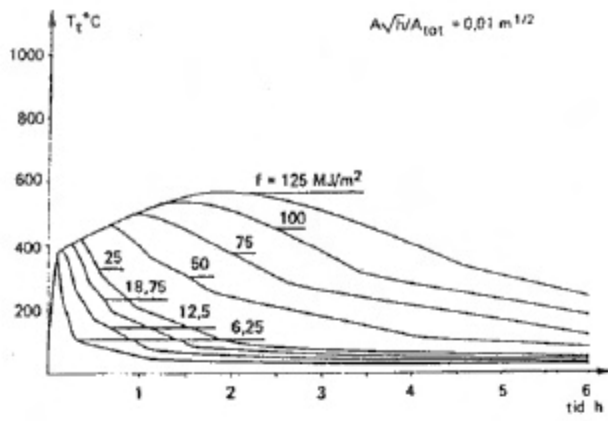
$A_1$  = Areal på ytan 1

$h_1$  = höjden på öppning 1

Om man känner till både öppningsfaktor och brandbelastning kan man få fram temperaturen i rummet genom att titta i temperatur - tidskurvor (bilaga)

Beroende på brandcellstyp får man kompensera brandbelastning och öppningsfaktor enligt tabell 3.2

Om inget annat har angivits är uppgifter om tabeller, formler osv tagna från Julia Ondrus, Brandförlopp



## Frågor

1. Beräkna värmeeffekten som kan utvecklas ur ett rektangulärt kar med måtten 2,0 \* 1,5 m, fyllt med transformatorolja.
2. Beräkna värmeeffekten som kan utvecklas i en madrass gjord av flexibel polyuretan med måtten 2,1 \* 0,9 m, om den brinner över hela ytan.
3. En brand har uppstått i cylindriska halmbalar stående tätt intill varandra. Efter en timmes tid brinner ca 50 m<sup>2</sup> av balarnas yta mot det fria med en hastighet av 0,04 kg/m<sup>2</sup> s. Beräkna vilken värmeeffekt som utvecklas vid det tillfället.
4. Ett rum har måtten 4,5 \* 3 \* 2,4 m är inrett enligt följande:

Två sängar	(trä)	90 kg
	(bomullstyg)	25 kg
	(mjukt polyuretan)	15 kg
Sänggavlar	(trä)	32 kg
Skrivbord	(trä)	18 kg
Stol	(trä)	6 kg
	(bomullstyg)	1 kg
	(mjukt polyuretan)	0,5 kg
Bokhylla	(trä)	20 kg
Papper		6 kg
Matta	(ylle)	22 kg
Dörr	(trä)	15 kg
Gardiner	(polyester)	2 kg

Beräkna den totala brandbelastningen för rummet.

5. Rummet ovan har två fönster med måtten 1,5 \* 1,2 m (h \* b) samt en dörr med måtten 2,1 \* 0,9 m.

Beräkna öppningsfaktorn samt vilken maximal temperatur blir i rummet om rummet är en sk A-brandcell.

# Brandspridning - Värmetransport

## Sammanställning

### Värmeledning

Värmeledning är den form av värmetransport som dominerar i företrädesvis fasta material och flödet är alltid från det varma till det kalla.

Under vissa förutsättningar kan beräkningar göras på värmeledning. Då måste två villkor vara uppfyllda:

1.  $T_g$  (Brandtemperaturen)
2. Väggen har en viss minitjocklek enligt kontroll.

Definitioner	
L = Tjocklek på materialet	Tabell 2.2
$\alpha$ = Termisk diffusivitet	
t = Tiden	
T = Sökt temperatur	Tabell 2.3
$T_0$ = Omgivande temperatur	
F(x) = Funktionsvärdet för x	
x = Enligt formel *****	
d = Djup in i materialet	Tabell 2.3

\*\*\*\*\*

$$x = d / (2 * (\alpha * t))^{1/2}$$

Kontroll:

$$L > 2 * (\alpha * t)^{1/2}$$



Efter att kontroll gjorts, kan man beräkna följande:

- A. *Temperaturen* på ett visst djup
- B. Hur *djupt* in i materialet en viss temperatur nått efter en viss tid
- C. *Tid* tills temperaturen når ett visst värde vid ett visst djup

A.

$$T = T_o + (T_y - T_o) * F(x)$$

1. Räkna ut  $F(x)$
2. Läs ut  $F(x)$  ur tabell 2.3
3. Sätt in i formel ovan

B.

$$d = x * 2 * (\alpha * t)^{1/2}$$

1. Räkna ut  $F(x) = (T - T_o) / (T_y - T_o)$
2. Läs ut  $x$  ur tabell 2.3
3. Räkna ut  $t$  enligt formel i rutan

C.

$$t = d^2 / 4 * \alpha * x^{1/2}$$

1. Räkna ut  $F(x)$  enligt B.
2. Läs ut  $x$  ur tabell 2.3
3. Räkna ut  $t$  enligt formel i rutan

## Tid till antändning

Vid uppskattning av antändlighet och tid till antändning kan man använda sig av en förenklad metod, där man ej tar hänsyn till övergångsmotståndet mellan väggen och luften samt förutsätter ett konstant värmefflöde

OBS! Gäller bara vid en kort begränsad tid

För att beräkna temperaturen på ytan gäller då:

$$T_s - T_i = (2 * q'' / \pi^{1/2}) * (t^{1/2} / (k\rho c)^{1/2}) \quad (^\circ\text{C})$$

Där:

$T_s$  = Temperatur på ytan

$T_i$  = Initiell temperatur

$k\rho c$  = Materialets värmeupptagningsförmåga (W/m<sup>3</sup>°C) tabell 2.2

$t$  = tiden

$q''$  = Tillförd värmeeffekt (W/m<sup>2</sup>)

Man kan även beräkna tiden till antändning enligt:

$$t_a = \pi * (T_{sa} - T_i)^2 * (k\rho c) / 4 * q''^2 \quad (\text{s})$$

Där:

$T_{sa}$  = Andtändningstemperaturen

# Strålning

## Definitioner

$E$	= Utstrålad effekt	
$\epsilon$	= Emissionstalet	Se A. s.49
$\sigma$	= Konstant	$5,67 * 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{K}^4\text{)}$
$T$	= Temperatur	OBS! Kelvin
$q_r$	= Utstrålad effekt	
$y$	= Strålningsandel	30% = 0,3
$q_r''$	= Infallande strålningseffekt	
$R$	= Avståndet	Se bild 1.
$\Phi$	= Synfaktor	Se bild2.
$A_{\text{flam}}$	= Area på flammen	

- A. Emissionstalet beror på ytan på det utstrålade materialet. Några exempel finns på s. 49 i brandförlopps-boken.

För flammor är det mängden sot och tjockleken som avgör emissionstalet. Det brukar ligga mellan 0,3-1,0. Ju större brand ju högre värde på  $\epsilon$ . Större bränder  $\approx > 2$  m i diameter  $\gggg > 0,9-1,0$   
Se vidare s. 77-78 i TP

Bild 1

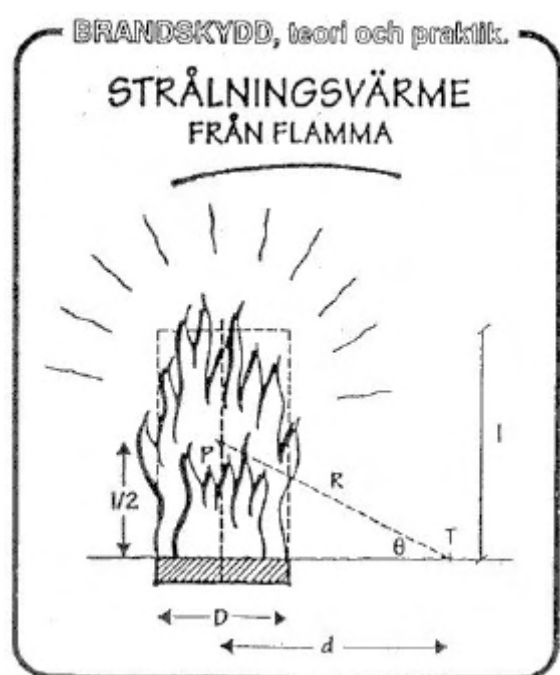


Bild 2



### Beräkningsgång vid strålning

#### 1. Uppskatta brandens effekt.

a.  $E = \varepsilon * \sigma * T^4$  (W/m<sup>2</sup>)

b.  $q = \chi * m'' * \Delta H_c * A_f$  (W)

c.  $q_r = y * q$

d.  $E = (0,5 * q_r) / A_{\text{flam}}$  (W/m<sup>2</sup>)

#### 2. Uppskatta flammans längd.

$L = 0,23 * q^{2/5} - 1,02 * D$  (m)

#### 3. Uppskatta infallande strålning.

a.  $q'' = q_r * \sin \theta / 4 * \pi * R^2$  (W/m<sup>2</sup>)

om avst > 10-15  
R > 2D

(används mest vid brand i enstaka  
föremål och vätskebränder)

b.  $q'' = \phi * E$  (W/m<sup>2</sup>)

om avst < 10 m



## Effekt av strålning

---

Strålning kW/m <sup>2</sup>	Observerad effekt
0,67	Solsken under sommaren
1,0	Maximum för hudexponering
6,4	Smärta efter 8 s
10,4	Smärta efter 3 s
12,5	Pyrols av trä och antändning med liten flamma
16,0	Blåsor på hud efter 5 s
29,0	Trä antänds utan närvaro av flamma
52,0	Träfiberskiva antänds efter 5 s utan närvaro av flamma

---

## Flamspridning

Flamspridning är egentligen en serie nya antändningar och beror därför på takets och väggens värmeupptagningsförmåga ( $k\delta c$ ).

- Högt värde på  $k\delta c$  innebär långsammare flamspridning
- Lägre värde på  $\delta$  innebär snabbare flamspridningshastighet
- Varm yta medför snabbare flamspridningshastighet

Vidare beror flamspridningshastigheten på:

- Ytans orientering
- Väggtjocklek
- Rumsgeometri (var i rummet branden startar)

För att kunna uppskatta strålning och brandspridningsrisk från flammor ut från fönsteröppningar måste man känna till längden på flamman

Detta kan göras enligt:

$$z = 1,2 (R - 4H^{3/2})^{2/3} \quad (\text{m})$$

Där:

$z$  = Flamhöjd från överkant från fönstret (Obs! Lägg till  $2/3$  av  $H$  för att få hela längden)

$R$  = Förbränningshastighet (kg/min)

$H$  = Fönsteröppningens höjd

Är det ett annat material än trä som brinner måste  $R$  justeras enligt:

$$R = R_b * \Delta H_c / 19 \quad (\text{kg/min})$$

Där:

$R_b$  = Förbränningshastighet för annat bränsle än trä

$\Delta H_c$  = Förbränningsvärme för annat bränsle (MJ/Kg)

För att kunna uppskatta strålningsenergin från flammen ut från fönster enligt:  $E = \varepsilon * \sigma * T^4$   
kan man uppskatta  $\varepsilon$  enligt:

$$\varepsilon = (1 - e^{-a*d})$$

Där:

$a = 0,3$  (absorbtionskoefficient för flammor)

$d = 2 * h / 3$  (flammans tjocklek med hänsyn till fönsterhöjd,  $h$ ) (m)



# Brandplymer

## Sammanställning

### Definitioner

$Z_0$	= Avstånd till tänkt brandkälla	(m)
$Z_1$	= Flamhöjd	(m)
$m_p$	= Massflöde i plymen	(kg/s)
$Q = q$	= utvecklade värmeeffekt	(kW)
$Q_c = q_c$	= Konvektiv del av värmeeffekten, $0,65 * Q$	(kW)
$H$	= Avstånd golv till tak	(m)
$Z_s = y = H - d$	= Avstånd golv till rökgaslager	(m)
$D$	= Brandens diameter	(m)
$P$	= Brandkällans omkrets	(m)
$Q^*$	= Dimenslös (fiktiv) värmeeffekt	
$\delta_a$	= Luftens densitet, normalt 1,2	(kg/m <sup>3</sup> )
$c_p$	= Specifik värme för luft, normalt 1,0	(kJ/kg K)
$T_a$	= Temperaturen i omgivande luft	(K)

### Kontroll

Man måste till och börja med undersöka om branden är att anse som "svag" eller "stark".

$$Q^* = Q / [ \delta_a * c_p * T_a * (g * H)^{1/2} * H^2 ]$$

Branden anses som *svag* om:

$$Q^* < 0,05 \text{ eller om } (H-d) / 2 > D$$

$$Z_1 < H - d$$

Branden anses som *stark* om:

$$Q^* > 0,05 \text{ eller om } (H-d) / 2 < D$$

$$Z_1 > H - d$$

## Massflöde

Beräkningsgång:

Svag brand	Stark brand
<p>1. Beräkna bränslekällans läge enligt:</p> $Z_0 = 0,083 * Q^{2/5} - 1,02 * D \quad (\text{m})$ $Z_1 = Z_0 + 0,166 * Q_c^{2/5} \quad (\text{m})$ <p>2. Beroende på var i plymen man beräkna massflödet.</p> <p>Om <math>Z \geq Z_1</math> gäller att:</p> $m_p = 0,071 * Q_c^{1/3} * (Z - Z_0)^{5/3} + (1,85 * 10^{-3} * Q_c)$ <p>Om <math>Z &lt; Z_1</math> gäller att:</p> $m_p = (0,0054 * Q_c) * Z / Z_1$	<p>1. Beräkna massflödet enligt:</p> $m_p = 0,2 * P * y^{3/2}$

Enhet: kg/s

## Temp i brandplym

Det går att beräkna 2 sorters temperaturer i brandplymen.

Dessa kan användas för att uppskatta bl.a. stigningskraft i rökgaser, kontroll av sprinkler och automatlarmdetektorer mm.

1. Medeltemperaturen på en viss nivå

2. Max temperaturen i mitten på pplymen på viss nivå

1.  $T = T_0 + Q_c / (m_p * c_p)$  (°C)

2.  $T_{\max} = T_a + [ 9,1 * (T_a / (g * c_p^2 * \delta_a^2))^{1/3} * Q_c^{2/3} * (Z - Z_0)^{-5/3} ]$  (°C)

## Rökproduktion

Man kan uppskatta röktätheten (den fria sikten), med hjälp av kännedom om vilket material som brinner, rumsvolymen samt hur mycket som har brunnit.

Då kan man få ut något som kallas optisk täthet,  $D_L$ , enligt:

$$D_L = (D_0 * W) / V$$

Där:

$D_0$  = Provresultat av rökproduktionen för ett visst material (m<sup>2</sup>/g)  
(fås från tabeller ex. Tab 1.8)

W = Viktförlust under förbränning (g)

V = Rumsvolymen (m<sup>3</sup>)

Den fria sikten kan sedan uppskattas i ett diagram (Bild 1.19)

## Brandventilation

Vid dimensionering av brandventilation gäller det att se till att massflödet ut från lokalen är större eller lika med massflödet från branden enligt:

$$m_v = m_p$$

Där:

$m_v$  = massflödet ut från lokalen, genom brandventilationen (kg/s)

$m_p$  = massflödet från plyn (kg/s)

Massflödet genom brandventilationen fås som:

$$m_v = 2,68 * A_v * d^{1/2}$$

Där

$d$  = tjocklek rökgaslager

$A_v$  = Erforderlig ventilationsyta, med hänsyn till friktionsförluster (m<sup>2</sup>)

Den verkliga ventilationsytan fås som:

$$A = A_v / 0,6$$

Kontroll:

För att förhindra att luft sugas med tillsammans med rökgaserna kan man kontrollera öppningens storlek i förhållande till rökgaslagrets tjocklek enligt:

$$A < 2 * d^2$$

Är ytan för stor ersätt med flera öppningar.

Tilluft: Minst lika stor som  $A_v$ , vid Temp över 250°C 1,5 ggr  $A_v$

## Rökfyllnad

I lokaler som har ett visst läckage antingen vid golv eller tak, kan man beräkna tiden till rökfyllnad på två olika sätt beroende på om branden är att betrakta som svag eller stark.

Beräkningsgång rökfyllnadstid:

### Kontroll

Kontrollera svag eller stark brand enligt:

$$Q^* = Q / (\delta_a * c_p * T_a * (g * H)^{1/2} * H^2)$$

#### 1. Stark brand

$$t = [ (20 * A) / (P * g^{1/2}) * [ (1 / y^{1/2}) - (1 / H^{1/2}) ] ] \text{ (s)}$$

Där:

A = Lokalens golvyta i m<sup>2</sup>

#### 2. Svag brand

1. Beräkna värdet på  $(Q^*)^{1/3}$
2. Beräkna förhållandet  $(Z_s / H)$ , vilket benämnes som y.
3. Läs ut värdet på  $(Q^*)^{1/3} * \tau$  i bild 4.3 beroende på vilket läckage som förekommer.
4. Lös ut  $\tau \Rightarrow \tau = \text{avläst värde i bild 4.3} / (Q^*)^{1/3}$
5. Beräkna tiden enligt:  $t = \tau / (g / H)^{1/2} * (H^2 / S) \text{ (s)}$

Där:

S = Lokalens golvyta i m<sup>2</sup>

## Tryck i brandrum

I ett nästan slutet rum kan övertrycket uppskattas i rummet, detta kan vara bra att veta t.ex. då man skall kolla om en självstängare håller för ett visst tryck.

1. Beräkna massflödet ut från brandrummet genom:

$$m_e = Q / (c_p * T_e) \quad (\text{kg/s})$$

Där:

$T_e$  = temperatur på utströmmade luft i Kelvin

2. Känner man till massflödet ut från rummet kan man sedan beräkna

Tryckökning i rummet enligt:

$$\Delta p = [ m_e / A_e ]^2 * [ 1 / (2 * \rho_e) ] \quad (\text{Pa})$$

Där:

$A_e$  = läckageyta i  $\text{m}^2$

Tryckenheter

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 10^{-6} \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$$

Tryckskillnad kan beräknas i vertikala schakt samt vid öppningar i rum med fullt utvecklade bränder enligt:

$$\Delta p = 3460 * [ (1 / T_a) - (1 / T_g) ] * h \quad (\text{Pa})$$

Där:

$T_a$  = Temperatur utanför brandrummet i Kelvin

$T_g$  = Temperatur i brandrummet i Kelvin

$h$  = höjden från neutrallagret till öppningens överkant i m  
(vid fullt utvecklad brand är neutrallagret placerat på en 1/3 av öppningshöjden nerifrån räknat)

Neutrallagrets placering vid vertikala schakt får enligt s.122 i JO  
Placeringen kan också beräknas enligt:

$$H_2 / H_1 = [A_1 / A_2]^2 = T_a / T_g$$

Där:

$A_1$  = Inloppsarea på öppning

$A_2$  = Utloppsarea

$H_1$  = Höjden på  $A_1$

$H_2$  = Höjden på  $A_2$

Massflödet genom öppningarna i schaktet kan beräknas och beror på tryckskillnaderna över schaktet enligt:

$$m_d = C_d * A_d * (2 * \rho_g * \Delta p)^{1/2} \quad (\text{Kg/s})$$

Där

$m_d$  = Massflödet in i schaktet

$C_d$  = Flödeskoefficient (0,6-0,7)

$A_d$  = Öppningsarea i  $\text{m}^2$

$\rho_g$  = Brandgasens densitet,  $\rho_g = 353 / T_a$



## Övertändning

Övertändning definieras som när temperaturen i rökgaslagret har uppnått en temperatur p mellan 500-600 °C eller att den infallande strålningen mot golvet från rökgaslagret är ca 20 kW/m<sup>2</sup>.

För att kunna avgöra om övertändningen inträffar överhuvudtaget kan man bedöma den sk kritiska värmeeffekten som krävs beroende på rummet och dess tilluft enligt:

$$Q = 7,8 * A_{\text{tot}} + 378 * (A_0 * H_0^{1/2}) \quad (\text{kW})$$

Förutsätter Öt vid 600°C

Eller

$$Q = 610 * (h_k * A_{\text{tot}} * A_0 * H_0^{1/2})^{1/2} \quad (\text{kW})$$

Förutsätter Öt vid 500°C

$h_k$  = Effektivt värmeövergångstal (temperatur och tidsberoende)

$$h_k = (k \rho c / t)^{1/2}$$

Man kan även uppskatta den sk kritiska temperaturen om man känner till effekten enligt:

$$T_g = 6,85 * [ Q^2 / (A_0 * H_0^{1/2} * h_k * A_{\text{tot}}) ]^{1/3} + T_0 \quad (^\circ\text{C})$$

Man kan också beräkna tiden till övertändning enligt följande 2 steg:

1.

$$h_k = Q^2 / [ ((T_g - T_a) / 6,85)^3 * (A_0 * H_0^{1/2}) * A_{\text{tot}} ] \quad (\text{kW/m}^2)$$

2.

**OBS!** kpc skall vara i kW<sup>2</sup>s / m<sup>4</sup>K<sup>2</sup> dvs 10<sup>6</sup> mindre än i tabell 2.2

$$t = [ (k \rho c) / h_k^2 ] \quad (\text{s})$$

## Utrymning

Det finns två olika sätt att dimensionera utrymningsvägar.

1. Schablonmetoden
2. Beräkningsmetoden

1. Schablonmetoden gäller främst i enklare lokaler där det inte finns så många personer. Begränsningar gäller också vid sk tekniska byten
2. Beräkningsmetoden används i lokaler för ett större antal personer.

Nedan redovisas beräkningsgången för metod 2.

En utrymningssituation delas upp i tre delar:

1. Tid till varseblivning,  $t_v$
2. Tid till reaktion och beslut,  $t_r$
3. Tid till evakuering,  $t_e$

Dessa tre läggs ihop och ställs mot den sk kritiska tiden  $t_{krit}$  enligt:

$$t_{krit} > t_v + t_r + t_e \quad (s)$$

Den kritiska tiden fås då brandgasskiktet ligger på höjden  $(1,6 + 0,1 * h)$  där  $h$  är rumshöjden.

Tiden för varseblivning och reaktion och beslut kan grovt uppskattas genom tabell 9.2 i TP

Tid för evakuering kan delas upp i:

- A. Tid för förflyttning till utgång,  $t_G$
- B. Tid för passage genom utgång,  $t_D$

A.

$$t_G = L / V \quad (s)$$

Där:

L = Gångavståndet

V = Gånghastigheten som fås från tabell 9.3 i TP

B.

$$t_D = N / (B * f) \quad (s)$$

Där:

N = Personantalet

B = Utgångsöppningens bredd

f = personflödet, (Produkten (B \* f) kan fås ur diagram i Figur 9.40 i TP)

$$t_e = t_D + t_G \quad (s)$$