

Per Walmerdahl, Per Werling

## Rökspridning i anläggningar - en lägesrapport



TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSSINSTITUT

Vapen och skydd

147 25 Tumba

FOI-R--0698--SE

December 2002

ISSN 1650-1942

**Underlagsrapport**

Per Walmerdahl, Per Werling

## Rökspridning i anläggningar - en lägesrapport

<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Vapen och skydd 147 25 Tumba	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--0698--SE	<b>Klassificering</b> Underlagsrapport
	<b>Forskningsområde</b> 5. Bekämpning	
	<b>Månad, år</b> December, 2002	<b>Projektnummer</b> E2262
	<b>Verksamhetsgren</b> 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	<b>Delområde</b> 53 Skydd och anläggningsteknik	
<b>Författare/redaktör</b> Per Walmerdahl Per Werling	<b>Projektledare</b> Per Walmerdahl	
	<b>Godkänd av</b> Michael Jacob	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> Försvarsmakten, Hkv	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b> Per Walmerdahl	
<b>Rapportens titel</b> Rökspridning i anläggningar - en lägesrapport		
<b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b> Under ett flertal år har FOI arbetat med studier av brand och rökspridning i anläggningar. Flertalet av dessa studier har varit experimentella och inriktade på att studera och belysa olika problemställningar samt i förekommande fall skyddsåtgärder mot rökspridning.  Denna rapport syftar till att sammanställa huvuddragen i de studier som genomförts och grovt vilka slutsatser, som dragits i samband med dessa. Rapporten börjar med en kortfattad beskrivning av ett antal för området relevanta grundbegrepp, varefter återstående delar i huvudsak behandlar olika studerade problemställningar. Ett exempel på det senare är brandförlopp i mer eller mindre slutna rum och hur dessa kan karakteriseras i termer av tryckökning till följd av termisk expansion mm. I övrigt ligger tyngdpunkten i rapporten på att beskriva och diskutera brand- och rökspridning i ventilationssystem, vilket utgör ett komplext område inom brandprojektering. Försättningsvis ges bl.a. en beskrivning av provningsmetoder (täthets- och rökspridningsprov) för att utvärdera skyddet mot rökspridning i befintliga anläggningar. Avslutningsvis ges förslag på fortsatta forskningsinsatser inom och i anslutning till området.		
<b>Nyckelord</b> Brand, rökspridning, ventilationssystem		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 26 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Weapons and Protection SE-147 25 Tumba	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--0698--SE	<b>Report type</b> Base data report
	<b>Research area code</b> 5. Combat	
	<b>Month year</b> December 2002	<b>Project no.</b> E2262
	<b>Customers code</b> 5. Commissioned Research	
	<b>Sub area code</b> 53 Protection and Fortification	
<b>Author/s (editor/s)</b> Per Walmerdahl Per Werling	<b>Project manager</b> Per Walmerdahl	
	<b>Approved by</b> Michael Jacob	
	<b>Sponsoring agency</b> Armed Forces, HQ	
	<b>Scientifically and technically responsible</b> Per Walmerdahl	
<b>Report title (In translation)</b> Smoke spread in buildings - a status report		
<b>Abstract (not more than 200 words)</b> <p>For a number of years, FOI has studied fire and smoke spread in buildings and military installations. The majority of these have been experimental and focused on studying and illustrating specific problems related to the area as well as preventive and protective countermeasures.</p> <p>This report aims at summarising the main features of the studies carried out and rough conclusions from these. Initially a short description of a number of relevant concepts is given after which different problem areas are addressed. One example of the latter is fire in more or less sealed compartments and how these can be characterised in terms of pressure rise due to thermal expansion etc. In the remainder of the report, focus is on fire- and smoke spread in ventilation systems, which constitutes a complex area of fire safety engineering and planning. Further a description of different test methods (air leakage test and Hot Smoke Test) for evaluating the protection against smoke spread in existing buildings and installations is given. Finally some suggestions to future research activities within and in association with the area are given.</p>		
<b>Keywords</b> Fire, smoke spread, ventilation system		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 26p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b>	

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1</b>	<b>INTRODUKTION</b> .....	<b>5</b>
1.1	BAKGRUND.....	5
1.2	MÅL OCH SYFTE .....	5
1.3	AVGRÄNSNINGAR.....	5
1.4	ERKÄNNANDEN .....	5
<b>2</b>	<b>GRUNDBEGREPP</b> .....	<b>6</b>
2.1	BRANDCELL.....	6
2.2	BRANDBELASTNING.....	7
2.3	BRANDEFFEKT .....	7
2.4	KRITISKA FÖRHÅLLANDEN .....	8
2.5	BRANDFLÖDE OCH BRANDTRYCK .....	9
2.6	BRANDGASVENTILATION.....	10
<b>3</b>	<b>BRANDSPRIDNING I VENTILATIONSSYSTEM</b> .....	<b>12</b>
3.1	ORSAKER TILL BRANDSPRIDNING I VENTILATIONSSYSTEM .....	12
3.2	SKYDD MOT BRANDSPRIDNING I VENTILATIONSSYSTEM.....	13
<b>4</b>	<b>BRANDGASSPRIDNING I VENTILATIONSSYSTEM</b> .....	<b>15</b>
4.1	ORSAKER TILL BRANDGASSPRIDNING I VENTILATIONSSYSTEM.....	15
4.1.1	<i>Frånluftsystem</i> .....	15
4.1.2	<i>Från- och tilluftsystem (FT-system)</i> .....	16
4.1.3	<i>Ingen mekanisk ventilation</i> .....	17
4.2	SKYDD MOT BRANDGASSPRIDNING I VENTILATIONSSYSTEM .....	18
4.2.1	<i>Separata ventilationssystem</i> .....	18
4.2.2	<i>Tryckavlastning och trycksättning</i> .....	18
4.2.3	<i>Spjäll</i> .....	19
4.2.4	<i>Brandgasventilation och sprinkler</i> .....	20
4.2.5	<i>Brandventiler och svällande brandskyddsfärg</i> .....	20
4.2.6	<i>Fläktar i drift samt konvertering</i> .....	20
<b>5</b>	<b>PROVNINGSMETODER</b> .....	<b>22</b>
5.1.1	<i>Täthetsprov</i> .....	22
5.1.2	<i>Rökspridningsprov</i> .....	22
<b>6</b>	<b>SKYDD MOT INVENTILERING AV BRANDGASER I ANLÄGGNING</b> .....	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER</b> .....	<b>24</b>
7.1	FORTSATTA FORSKNINGSINSATSER .....	24
<b>8</b>	<b>REFERENSER</b> .....	<b>25</b>

# 1 Introduktion

## 1.1 Bakgrund

I händelse av brand i en anläggning kommer en avgörande faktor för överlevnad och fortsatt verksamhet utgöras av möjligheten att förhindra eller minska konsekvenserna av rökspridning inom anläggningen. Det finns ett antal exempel på att brand i en anläggning eller på ett fartyg kan få avsevärda konsekvenser trots att branden inte varit speciellt omfattande. I dessa fall har rökspridningen utgjort det huvudsakliga hotet mot överlevnad.

Under ett flertal år har FOI arbetat med studier rörande brand och rökspridning i anläggningar. Olika delar av denna problematik har belysts i skilda studier inriktade på att beskriva olika områden, t.ex. rök- och brandgasspridning mellan rum och i ventilationssystem.

## 1.2 Mål och syfte

Denna studie är inriktad på att försöka summera den kunskap som fram till idag erhållits inom området rökspridning i anläggningar i allmänhet och erfarenheter från genomförda försök och studier i synnerhet. Denna kunskap kan vara lämplig som underlag för personal, som arbetar med befintliga anläggningars drift och underhåll för att skapa en grundläggande förståelse för brand och rökspridningsförlopp och olika skyddsåtgärder. Detta skapar i sin tur förutsättningar att upprätthålla ett fullgott skydd mot i första hand rök- och brandgasspridning inom anläggningar.

Studien bör ses som en sammanfattning av praktiska forskningsresultat inom detta område. Avslutningsvis ges några förslag på fortsatta forskningsinsatser inom och i anslutning till området.

## 1.3 Avgränsningar

I denna övergripande studie behandlas generella aspekter på brand och rökspridning i anläggningar samt en del av de skyddsåtgärder, som kan vidtas. Materialet omfattar ej underlag för anvisningar rörande specifika anläggningars utförande (såsom kvantitativa samband för dimensionering av t.ex. ventilationssystem). Ingen ansats görs heller att hantera allmänna brandskyddsaspekter såsom åtgärder för att minimera risken för brands uppkomst och spridning, effekten av olika släcksystem etc.

## 1.4 Erkännanden

Ett tack framförs till Mattias Delin på Briab för att ha bidragit med värdefulla synpunkter på innehållet i rapporten.

## 2 Grundbegrepp

Inledningsvis kommer ett antal grundbegrepp kortfattat definieras och förklaras. I tillägg till detta ges en kort introduktion till brand och rökspridning i anläggningar och vilka mekanismer som styr dessa. I det följande kommer termen brandgasspridning användas. Denna omfattar därför spridning av både gaser i samband med förbränningen samt sotpartiklar (rök).

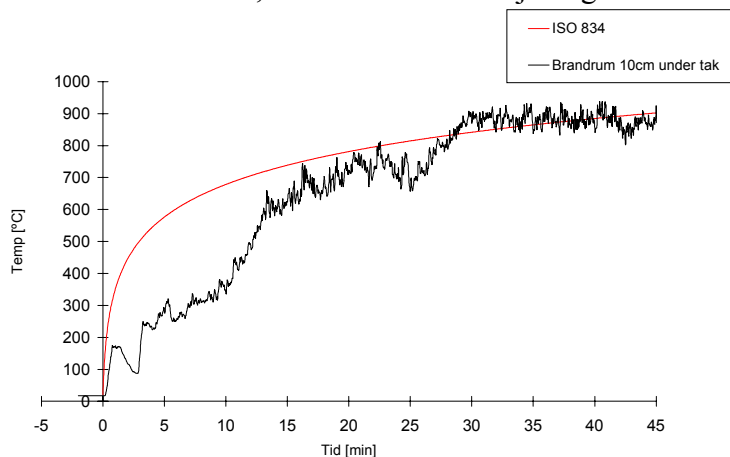
### 2.1 Brandcell

Med *brandcell* avses en avgränsad del av en byggnad, inom vilken en brand under en föreskriven minsta tid kan utvecklas utan att sprida sig till andra delar av byggnaden (Boverket, 2002). Denna bestäms i generella byggnadssammanhang med hänsyn till byggnadens ändamål och antal våningar (Brandskyddslaget *et al*, 2002) och avser att hindra spridning av brand och brandgas mellan olika brandceller. Detta i syfte att ge ett tillfredsställande person- och egendomsskydd.

Brandmotståndet hos en bärande och/eller avskiljande byggnadsdel anges med en bokstav (Backvik *et al*, 1996) åtföljd av en siffra som anger brandmotståndstiden i minuter. R står här för *bärförmåga*, E för *täthet* (integritet), dvs. skydd mot att flammor och brandgaser tränger igenom byggnadsdelen och I för *isolering*. Det senare innebär skydd mot att för höga temperaturer uppstår på den från branden vända sidan. Detta krav avser en maximal temperaturstegring på den från branden vända sidan och innebär en medeltemperaturstegring på 140°C samt maximal temperaturstegring i enstaka punkt på 180°C. Integriteten (E) bedöms uppfyllt om byggnadsdelen:

- inte släpper igenom mer än enstaka lågor med en längsta varaktighet av 10s,
- inte släpper igenom varma gaser eller rök som kan antända en bomullstuss, och
- inte kollapsar.

Beteckningarna åtföljs av ett tidskrav på mellan 15 och 360 minuter och kan även innehålla tilläggsbeteckningen M (särskild hänsyn till mekanisk påverkan) eller C (för dörrar med automatisk stängningsanordning). I tillägg till detta finns ett antal klassbeteckningar för material, beklädnader och ytskikt. Generellt utgår man vid provning (och klassificering) av byggnadsdelar från en standardbrandkurva. Denna (tid-temperaturkurva) illustreras i figur 1, där även en kurva från ett verkligt brandförlopp är inlagt. Av detta framgår att provningen av byggnadsdelar sker via en brandkurva, som i vissa fall skiljer sig från verkliga förlopp.



**Figur 1** Standardbrandkurva och verkligt brandförlopp (Walmerdahl *et al*, 2000c).

## 2.2 Brandbelastning

Med *brandbelastning* avses kvoten mellan den sammanlagda värmemängd som frigörs vid fullständig förbränning av allt brännbart material i en brandcell och brandcellens totala omslutningsyta [MJ/m<sup>2</sup>]. Denna kan beräknas enligt följande:

$$f = \frac{\sum M_n \cdot \Delta H_c}{A_{tot}} \quad (1)$$

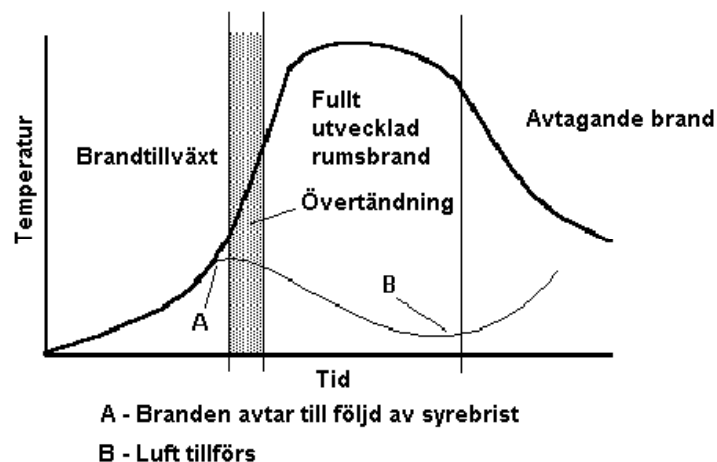
där  $M_n$  är massan av varje enskilt brännbart material i anläggningen [kg],  $\Delta H_c$  tillhörande förbränningsvärme [MJ/kg] och  $A_{tot}$  brandcellens totala inre omslutningsarea [m<sup>2</sup>].

På detta sätt kan en grov indelning av olika utrymmen göras. Värden på  $\Delta H_c$  återfinns i tabellverk (se t.ex. Brandskyddslaget *et al*, 2002).

## 2.3 Brandeffekt

Ett centralt begrepp inom brandskyddsområdet utgör den avgivna *brandeffekten*, som ofta anges i [kW]. Denna styrs grovt av vad som brinner och tillgången på syre till förbränningen. I förlängningen kommer naturligtvis också mängden brännbart material spela in vad gäller den maximala brandeffekten i ett givet utrymme och hur länge branden kan pågå.

Mer övergripande brukar begreppet *dimensionerande brand* införas. Detta begrepp innefattar i princip att utifrån kunskap om brännbart material, potentiella antändningskällor mm. kan ett dimensionerande brandförlopp i en specifik anläggning uppskattas. Detta omfattar en bedömning av *brandtillväxt*, *maximalt utvecklade brandeffekt* (fullt utvecklade rumsbrand) och *avtagande brand* (se figur 2).



Figur 2 Brandförloppets (rumsbrandens) olika faser.

I princip kan detta sammanfattas i någon form av hotbilda-bedömning för en specifik anläggning eller verksamhet. Brandtillväxten,  $\alpha$  [kW/s<sup>2</sup>], kan grovt uppskattas i enlighet med följande fyra kategorier (Karlsson *et al*, 2000) med några exempel på lokaler inom respektive kategori och riktvärden på  $\alpha$  (inom parentes):

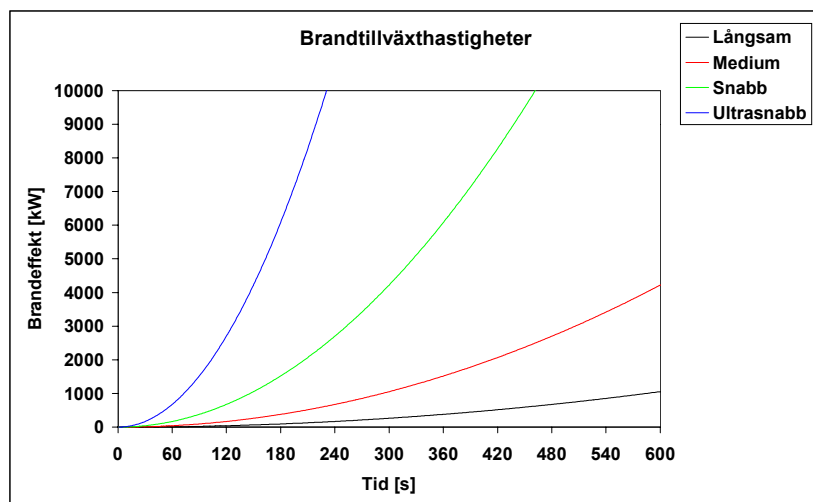
- Ultrasnabb (shopping centra, upplevelse centra;  $\alpha=0.19$ )
- Snabb (skolor, kontor, hotell;  $\alpha=0.047$ )
- Medium (bostadshus;  $\alpha=0.012$ )
- Långsam ( $\alpha=0.003$ )



Dessa fyra *brandtillväxthastigheter* är illustrerade i figur 3 och utgör ett förenklat sätt att beskriva brandeffekten,  $\dot{Q}$  [kW], under tillväxtfasen enligt följande (Karlsson *et al.*, 2000):

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \quad (2)$$

där  $t$  är tiden branden pågått (i sekunder).



*Figur 3 Olika brandtillväxthastigheter.*

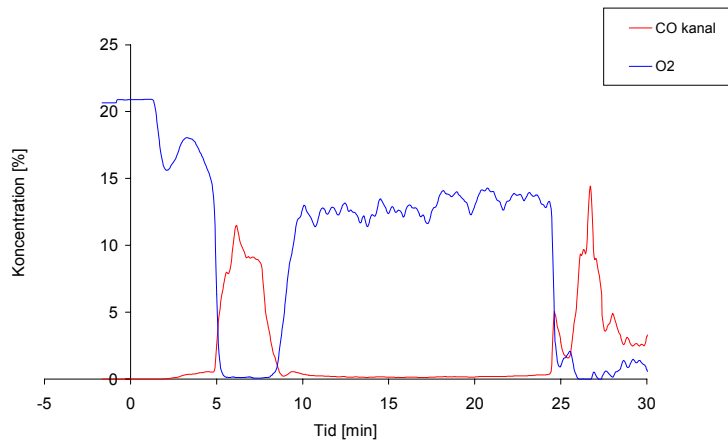
Den maximalt utvecklade brandeffekten,  $\dot{Q}$  [kW], bestäms oftast av hur välventilerad branden är, dvs. hur god tillgången på syre till förbränningen är. För rumsbranden kan denna grovt beräknas enligt (Drysdale, 1999):

$$\dot{Q} = 0.09 A_w \cdot \sqrt{H} \cdot \Delta H_c \quad (3)$$

där  $A_w$  [m<sup>2</sup>] och  $H$  [m] är arean respektive höjden på ventilationsöppningen i det aktuella utrymmet.  $A_w \sqrt{H}$  betecknas även *ventilationsfaktor*. Den avtagande fasen anges ofta som en successiv temperatursänkning då branden börjar avta. (Ett riktvärde för denna fas kan vara -10°C/minut efter det att bränslet i utrymmet tagit slut.)

## 2.4 Kritiska förhållanden

Miljön i brandrum och anslutande utrymmen har undersökts i ett flertal studier (bl.a. Onnermark *et al.*, 1983). I princip karaktäriseras det tidiga brandförloppet (förutsatt att det rör sig om en relativt långsamt tillväxande brand) av en successiv sänkning av syrehalten under det att endast små mängder CO bildas. Detta sker under förutsättning att branden inte är ventilationsbegränsad (otillräckligt med syre kommer in i rummet för att ge fullständig förbränning - jämför punkt A i figur 2). Denna situation brukar inträda då syrehalten har sjunkit till runt 12%. Då branden närmar sig övertändning (och sålunda ventilationskontroll) kommer CO-produktionen att tillta till följd av ofullständig förbränning, vilket framgår av figur 4.



**Figur 4** Syre- och koldioxidhalt under rumsbrand (Walmerdahl et al, 2000a).

För det tidiga brandförloppet går det att definiera ett antal förhållanden, som anses kritiska för att evakuera personal till andra delar av en anläggning eller ut i det fria. Dessa är (Boverket, 2002):

- *Siktbarheten* anges som att den brandgasfria höjden ej skall understiga  $1.6+0.1h$  meter, där  $h$  är rumshöjden i m. (Helst bör ej heller siktbarheten i brandgaserna understiga 5m i brandrummet och 10m i utrymningsvägarna (Brandskyddslaget et al, 2002).)
- *Värmestrålningen* evakuerande personal utsätts för bör ej kortvarigt överstiga  $10\text{kW/m}^2$ . Alternativt kan en sammanlagd strålningsenergi på  $60\text{kJ/m}^2$  utöver energin från en strålning på  $1\text{kW/m}^2$  användas som kriterier liksom en maximal strålningsintensitet av  $2.5\text{kW/m}^2$ .
- *Temperaturen* utrymnande personer utsätts för bör ej överstiga  $80^\circ\text{C}$ .

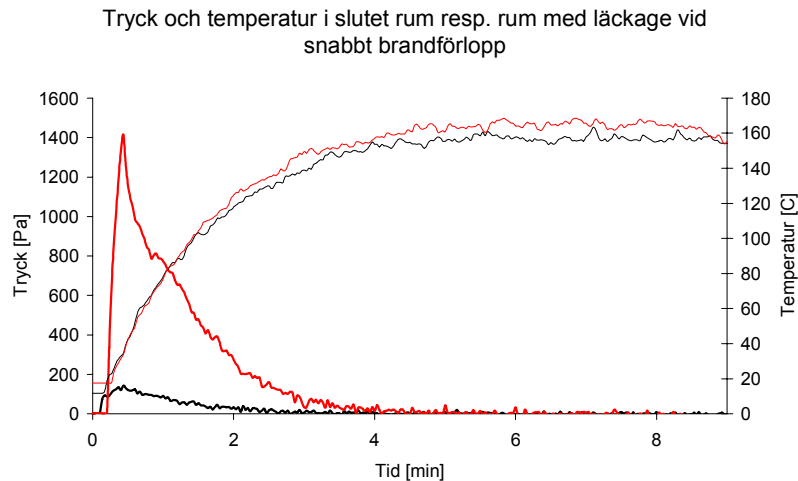
Något av ovanstående kriterier utgör det dimensionerande kravet i projekteringsfasen av en byggnad. I många fall utgår det dimensionerande kravet i praktiken från siktbarhetskriteriet, som uppfylls snabbast (hänsyn måste även tas till toxiciteten i brandgaserna). Brandgaser sprids i de flesta fall utanför själva brandrummet. Korridorer, trapphus och hisschakt rökfylls och på detta sätt hindras eller försvåras utrymning, räddningsinsatser och släckåtgärder.

## 2.5 Brandflöde och brandtryck

Då det brinner i ett utrymme kommer temperaturhöjningen hos den omgivande luften innebära att denna expanderar och en tryckhöjning sker, ett s.k. *brandtryck* uppstår i utrymmet. Detta kommer i sin tur att skapa ett *brandflöde*, vilket definierar den strömning, som lämnar brandrummet pga. expansionen och som kan sprida rök och brandgaser till angränsande utrymnen genom öppningar och ventilationssystem. Som exempel kan nämnas att om luft värms från  $20^\circ\text{C}$  till  $400^\circ\text{C}$  innebär detta att  $1\text{m}^3$  luft kommer expandera till  $2.3\text{m}^3$ . Om detta sker under 10s innebär det en volymsutvidgning på  $0.13\text{m}^3/\text{s}$ , vilket motsvarar det flöde som induceras i brandrummet. Detta kommer antingen innebära att ett flöde av brandgaser och rök sprids genom öppningar i geometrin eller in i ventilationssystemet. Är utrymmet tätt omvandlas flödet istället till en tryckhöjning. Strömningen till omgivningen sker dels via normalt förekommande sprickor och springor, dels via t.ex. uteluftsdon samt överluftsdon.

Brandtrycket som uppstår överstiger i normalfallet inte 300Pa enligt tester som gjorts (Hägglund et al, 1996a) i ett relativt slutet utrymme. Dock skulle tryckhöjningen i vissa av dessa försök kunnat bli större om inte branden under tillväxtskedet begränsats av

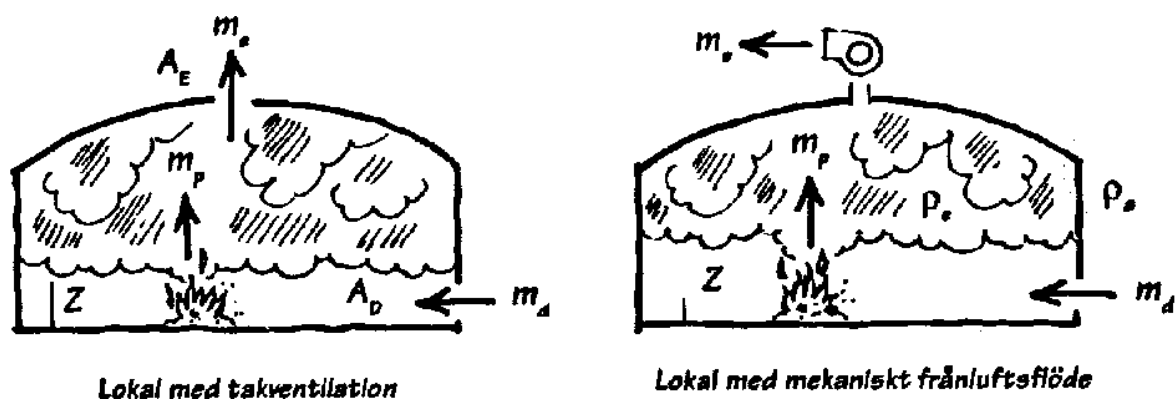
syreunderskott, vilket istället innebär att övertrycket övergår i ett undertryck i brandrummet och luft sugns in för att underhålla förbränningen. I vissa fall kan högre brandtryck uppnås, men dessa når endast i undantagsfall 1000-2000Pa och då endast vid snabba brandförlopp i väl slutna utrymmen. I figur 5 visas ett snabbt brandförlopp illustrerat i form av en poolbrand (röd kurva). Här skapas en avsevärt mycket snabbare tryckstegring än för branden i träribbstapel (svart kurva, figur 5).



Figur 5 Tryckhöjning i rum vid snabbt brandförlopp (Walmerdahl et al, 2001a).

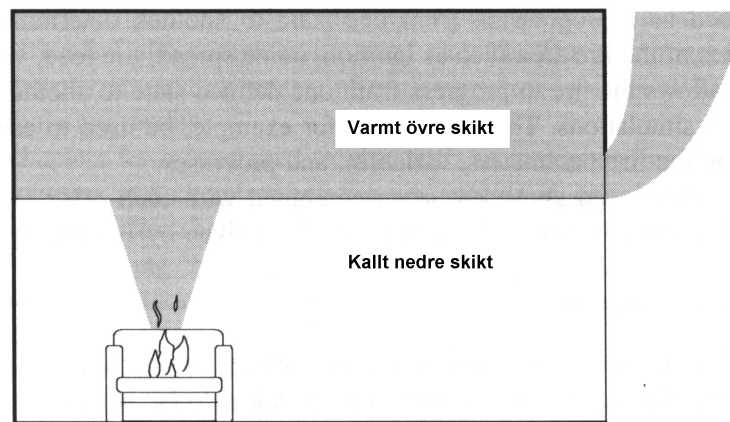
## 2.6 Brandgasventilation

Med *brandgasventilation* avses utsläpp av värme, rök och andra brandgaser till det fria i syfte att underlätta brandsläckning och utrymning samt att minska brandgasspridningen inom anläggningen. En annan viktig faktor är att minimera värmepåverkan på bärande och avskiljande konstruktioner. Brandgasventilationen kan vara antingen mekanisk eller termisk beroende på lokala förhållanden (se figur 6). (I enstaka fall kan det vara relevant att ställa nyttan av mekanisk till- eller frånluft mot att denna kan bidra till att brandens intensitet ökar till följd av ökad syretillförsel.)



Figur 6 Termisk (vänster) eller mekanisk (höger) brandgasventilation (Brandskyddslaget et al, 2002).

En del tester (bl.a. Walmerdahl *et al*, 2000b) har genomförts i syfte att studera hur termisk evakuering av rök sker i anläggningar och vilka faktorer som påverkar om och när ett brandgaslager etableras, dvs. om en stratifiering sker mellan de varma övre brandgaserna och den nedre kalla zonen, s.k. *tvåzonssituation* (se figur 7).



**Figur 7** Tvåzonssituation etablerad i brandrum.

Generellt kan sägas att studier påvisat att ett brandgaslager etableras i brandrummet och eventuellt i anslutande utrymme. Dock visar det sig att längre från brandrummet har brandgaserna successivt kylts av så mycket att ingen egentlig skiktning går att urskilja. Detta innebär att ingen brandgasfri höjd existerar och hela utrymmet sålunda är rökfyllt. Särskilt påtagligt blir detta om det rör sig om en svag brand, dvs. branden är liten i förhållande till lokalens storlek. I dessa fall kommer ingen urskiljbar rökfri höjd etableras. Även ett fall med endast ringa tilluft till branden kommer innebära att inte tillräckligt med luft kommer kunna dras in i plymen och sålunda leda till att hela brandrummet kommer rökfyllas. Även avkylning av brandgaserna mot omslutande konstruktion kan innebära att dessa slås ned mot marken med minskad sikt som följd. Ett typexempel på detta kan sägas utgöras av tunnelbränder och bränder i undermarksanläggningar (Walmerdahl *et al*, 1999).

Ett flertal studier har genom åren genomförts på FOA/FOI i syfte att studera hur brandgaser och rök sprids i anläggningar med olika konfiguration. Försöken har genomförts både i fullskala (Onnermark *et al*, 1983 och 1992; Hägglund *et al*, 1985; Niréus *et al*, 1994) och modellskala (Walmerdahl *et al*, 2000b; Hägglund *et al*, 1996b/c) och syftet har i ett flertal fall varit att skapa underlag för jämförande beräkningsstudier. Mer specifikt har även t.ex. termisk ventilation av trapphus med tak- respektive väggöppning (precis under taknivå) studerats (Onnermark *et al*, 1986; Jansson *et al*, 1985). Resultatet i denna specifika jämförande studie var att ventilationsöppningens läge hade marginell betydelse för utventilationen och brandmiljön i trapphuset.

### 3 Brandspridning i ventilationssystem

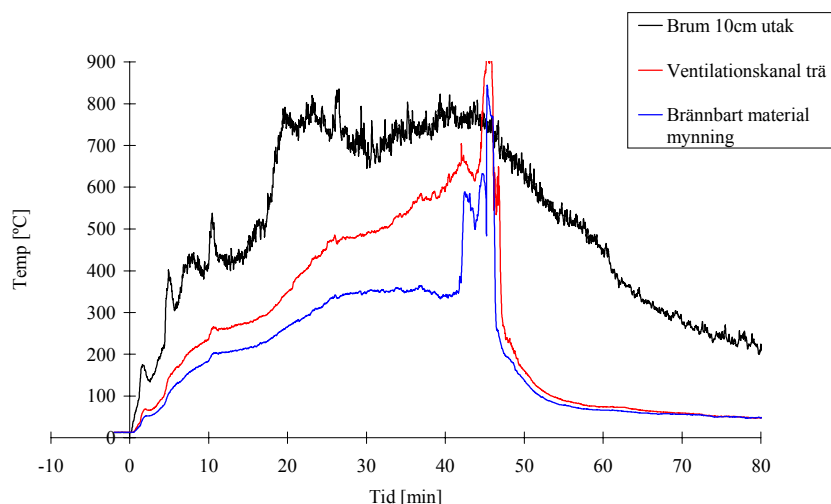
I det tidigare har en del grundbegrepp inom brandfysiken introducerats och en kortfattad beskrivning av rumsbranden givits. Detta avsnitt fokuseras på brandspridning via ventilationssystem, något som anses vara en viktig aspekt att behandla. Generellt gäller att ventilationskanaler skall förläggas och utformas så att de vid brand inte ger upphov till antändning av närbelägna byggnadsdelar och fast inredning utanför den brandcell som de är placerade i, under den tid som brandcellskravet anger (Boverket, 2002).

#### 3.1 Orsaker till brandspridning i ventilationssystem

Intuitivt utgör brandgasspridning det största hotet då ventilationssystem behandlas. Dock gäller det att även beakta risken för brandspridning via ventilationssystemet, något som i huvudsak sker till följd av någon av följande orsaker:

1. Brandspridning genom *otätheter* mellan kanal och genombruten byggnadsdel (denna punkt omfattar även det fall då t.ex. en kollapsad eller nedfallande kanal slår hål i väggen)
2. Brandspridning genom *värmeledning*
3. Brandspridning genom att *luften (inträngande brandgaser) i kanalen får så hög temperatur* att brännbara föremål i en annan brandcell antänds

Ett exempel på experimentella data rörande brandspridning i enlighet med punkt 3 ovan ges i figur 8. Här har heta brandgaser från brandrummet (betecknat Brum i figur) på bottenplanet spridit sig via ventilationskanalen till övervåningen, där de antänd en del av ventilationstrumman (trä) samt brännbart material vid ventilationstrummans öppning. Värt att notera är att inget skydd mot brand- eller brandgasspridning fanns under dessa försök.



**Figur 8** Brandspridning via ventilationskanal (Walmerdahl et al, 2000a).

Naturligtvis kan punkt 1 och 2 ovan förebyggas genom att genomföringar utförs på ett korrekt sätt och att delar av kanalen i närheten av genomföringen brandisolerats eller att brännbart material placeras på ett säkert avstånd från ventilationskanalen. Ytterligare en viktig åtgärd är att förebygga brandspridning mellan från- och tilluftskanaler. Detta kan åstadkommas t.ex. genom att kanalerna separeras ett visst avstånd.

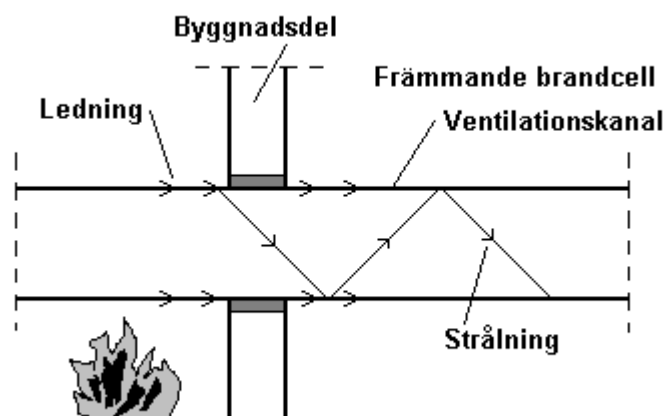
### 3.2 Skydd mot brandspridning i ventilationssystem

Ett antal olika sätt att skydda sig mot brandspridning i ventilationssystem finns. I det följande kommer ett antal olika skyddsprinciper kortfattat presenteras.

Generellt kan sägas att ventilationskanaler skall förläggas och utformas så att de vid brand inte ger upphov till antändning av närbelägna byggnadsdelar och fast inredning utanför den brandcell som de är placerade i, under den tid brandcellskravet anger. Luftbehandlingsinstallationer som går igenom brandavskiljande byggnadsdelar, skall utformas så att den brandavskiljande förmågan upprätthålls. En genomföring i brandcellsgräns får inte försämra den brandcellsskiljande byggnadsdelens brandmotstånd. De två viktigaste kraven rör begränsad temperaturstegring och täthet (se avsnitt 2.1).

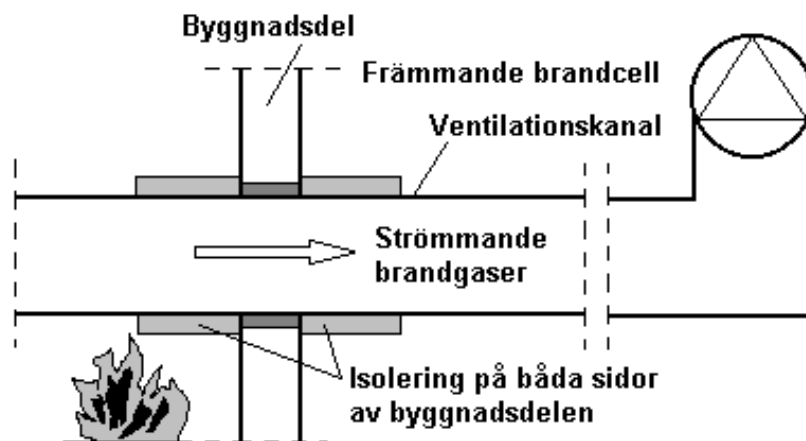
Skyddsåtgärder mot brandspridning till följd av temperaturstegring i anslutande utrymme omfattas bl.a. av:

- *Branddämpande åtgärder* såsom vattensprinkling av det aktuella utrymmet. Vid sprinkling kan dessutom oftast isoleringen av kanalen slopas, eftersom brandgastemperaturen anses understiga 300-350°C.
- *Brandceller avskilda* från varandra med spjäll brandklassade EI. Även detta anses ge ett effektivt skydd, varför isolering av kanalerna ej behöver ske, dock krävs istället ofta automatisk funktionsövervakning av spjället. *Brandspjäll* avser spjäll i ventilationskanal, som är avsett att hindra spridning av brand. Vid normaldrift är spjället helt öppet för att vid indikering av temperaturer över ca. 70°C stängas.
- *Ventilationskanaler brandisolerade* och här kan särskiljas två huvudfall:
  1. *Fläktar stoppade*, dvs. inget brandgasflöde, ger krav på isolering av kanalen på båda sidor om den brandcellsskiljande byggnadsdelen så att ytemperaturen på isoleringens utsida understiger 160°C i medeltal. Brandcellerna är därmed åtskilda med spjäll och värmeöverföring sker genom ledning och strålning (se figur 9).



Figur 9 Värmetransport genom strålning och konduktion (ledning).

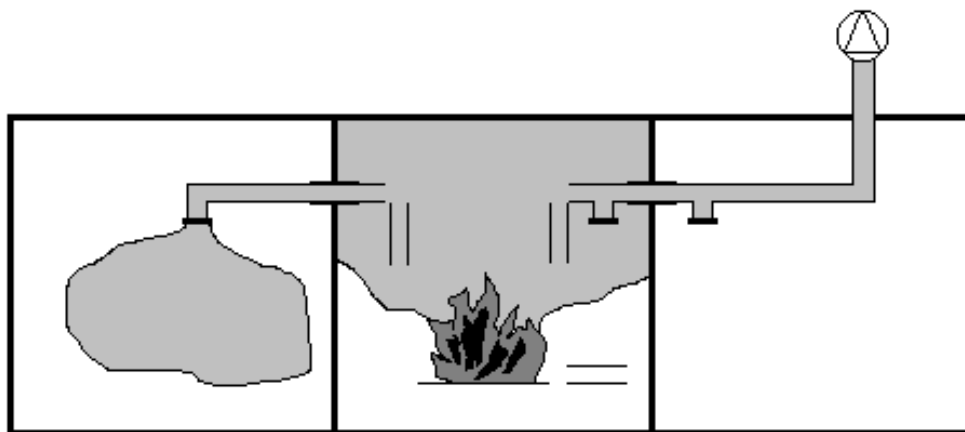
2. *Med strömmande brandgaser* skall isolering ske så att ytemperaturen på isoleringens utsida understiger 160°C, vilket kommer medföra avsevärda isolersträckor, dvs. betydligt längre än i fallet med stillastående brandgas. (krav på fläktar, reservkraft etc.). I detta fall sker värmeöverföringen nästan enbart genom konvektion, vilket illustreras i figur 10.



**Figur 10** Värmetransport i huvudsak genom konvektion (strömmande brandgaser).

- Oisolerat kanalsystem med krav på erforderligt skyddsavstånd m.h.t. kanaltemperatur (skyddsavståndet beror på den strålande ytans storlek och krav på begränsning av strålningsintensitet och kan variera från några cm till ett flertal meter)

Avseende täthetskravet gäller att tätning av genomföringar skall ske så att tätheten behålls under de brandtryck som uppstår. Ytterligare hänsyn bör tas till det faktum att en deformation av ventilationskanalen kan komma att ske vid brandpåverkan. Deformationen uppstår till följd av att kanalen längdutvidgas och tappar en del av hållfastheten vid brand. Till följd av detta måste vissa kanaler stagas i genombrottet så att deformationen hindras. Detta gäller dock företrädesvis rektangulära kanaler. I tillägg till detta finns risken att upphängningsanordningarna inte klarar påfrestningarna vid brand. Detta kan få till följd att brandgaserna (och även branden) sprids till angränsande utrymme beroende på hur och var kollapsen sker, hur genomföringen är gjord etc. (se figur 11). Även det faktum att kollaps av ventilationssystemet kan slå sönder väggen måste beaktas.



**Figur 11** Kollaps av ventilationssystem vid brand.

## 4 Brandgasspridning i ventilationssystem

Följande avsnitt behandlar några av orsakerna till att brandgaser sprids i ventilationssystem och de mekanismer som styr. Även ett antal skyddsprinciper mot brandgasspridning i ventilationssystem presenteras.

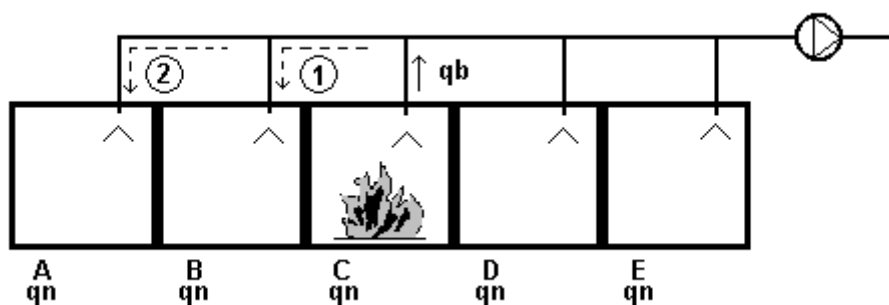
### 4.1 Orsaker till brandgasspridning i ventilationssystem

Brandgasspridning kan inträffa då ventilationssystem (ofta av kostnadsskäl) utförs gemensamma för olika brandceller. I det följande kommer problemen med brandgasspridning i olika typer av ventilationssystem kortfattat beskrivas.

#### 4.1.1 Frånluftsystem

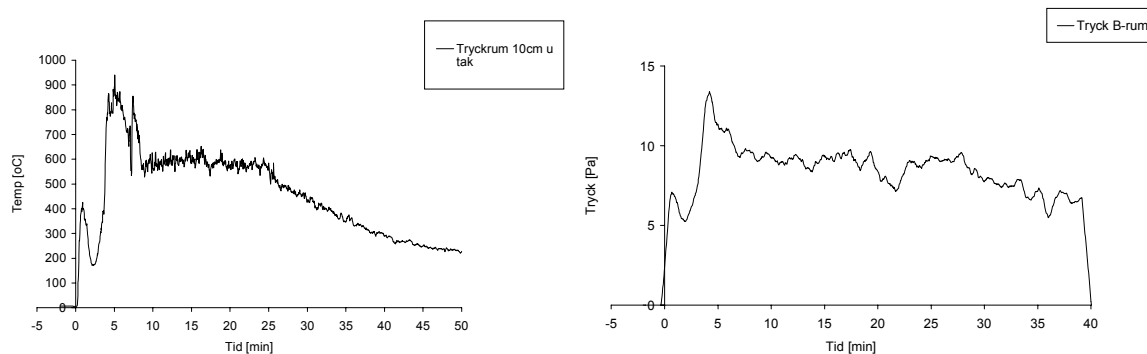
I ett frånluftsystem finns endast fläktar för frånluft och tilluften tas i huvudsak via klimatskalets otätheter samt över luftdon vid fönster etc.

I avsnitt 2.5 gavs en beskrivning av hur tryckbilderna i ett brandrum kan gestalta sig vid brand. I figur 12 representerar  $q_n$  det normala ventilationsflödet från varje brandcell. När det av branden genererade brandflödet,  $q_b$ , överstiger F-fläktens kapacitet kommer brandgaser spridas i första hand till B och A och därefter till D och E. Om den brandutsatta brandcellen är den sista nedströms på kanalen kommer brandgasspridning ske främst till den närmaste brandcellen uppströms i systemet. Störst risk för brandgasspridning är i initialskedet, då tryckhöjningen (till följd av termisk expansion) är som störst (innan rummet är tryckavlastat).



Figur 12 Brandgasspridning i ett enkelt F-system.

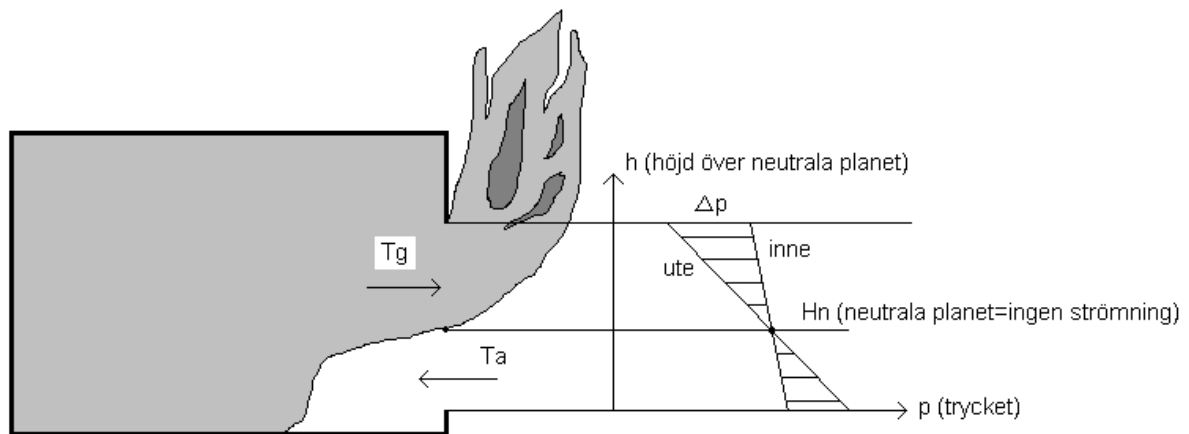
I samband med t.ex. fönsterkollaps kan branden få ”nytt liv” och gå vidare med en snabb temperaturstegring till övertändning (jämför temperaturkurva figur 13). I denna fas genereras fortfarande ett visst övertryck i brandrummets övre del, men oftast inte överstigande 10-20Pa (jämför tryckkurva figur 13).



Figur 13 Temperaturkurva (vänster) och tryckstegring (höger) i brandrum i samband med fönsterkollaps efter närmare 5 minuter (Walmerdahl et al, 2000a).



Under förutsättning att kanalsystemet är intakt upphör spridningen, men heta brandgaser sugas in i frånluftskanalsystemet och transporteras vidare av frånluftsfläkten. I princip är det i denna sista fas, som skyddet mot spridning av brand via F-systemet särskilt måste beaktas. Ett exempel på tryckfördelningen över en öppning vid övertändning visas i figur 14.



**Figur 14** Exempel på tryckfördelningen över en öppning i samband med övertänd brand.

Med likvärdiga brandceller är risken för spridning av brandgaser störst mellan brandceller längst bort från fläkten, dvs. från A till B i figur 12 (alternativt tvärtom). Ju närmare fläkten man kommer, desto högre blir det ansatta flödet och därmed det ”godtagbara” inträngande brandgasflöde, som ska jämföras med fläktens kapacitet.

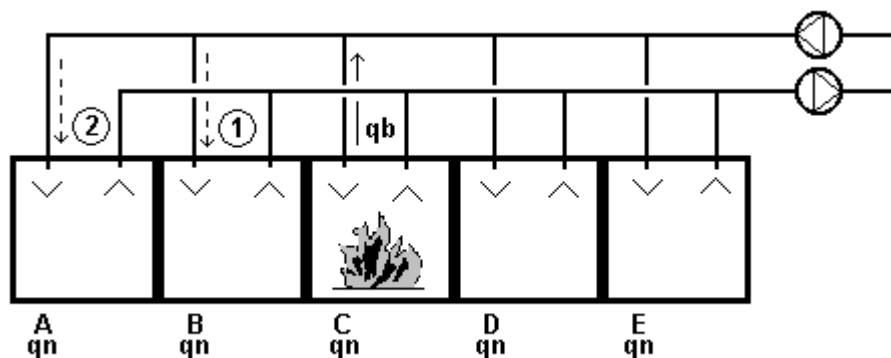
Försök med brand i rum under dessa förhållanden (Hägglund *et al*, 1998) visar att ett frånluftssystem i vissa fall effektivt håller undan rök och brandgaser från att spridas till andra rum, som betjänas av samma frånluftsfläkt. Värt att notera under försöken var att brandgasernas temperatur klingade av relativt snabbt i ventilationssystemet under brandförhållanden, som innebar att övertändning inte skedde (dvs. temperaturer understigande 600°C). En brand som maximalt uppnådde närmare 350°C innebar att endast i ventilationskanalen till brandrummet översteg temperaturen 200°C. Därefter skedde uppblandning med kall luft från övriga kanaler och temperaturen sjönk snabbt ned till maximalt 100°C i samlingskanalen. Denna temperatursänkning beror naturligtvis på hur många brandceller ventilationssystemet betjänar.

#### 4.1.2 Från- och tilluftssystem (FT-system)

I ett FT-system balanseras till- och frånluftsflödet mot varandra och ett mindre behov av otätheter och läckageareor finns.

I ett FT-system är trycket som störst precis efter tilluftsfläkten för att därefter successivt sjunka till följd av att kanalsystemet förgrenar sig ut mot de olika rummen i byggnaden. Tryckökningen skapas av fläkten och krävs för att generera ett flöde i kanalsystemet. Inget mätbart över- eller undertryck skapas i de ventilerade utrymmena, utan trycket i rummen är ofta detsamma som utomhustrycket. Detta får till följd att trycket i frånluftskanalen alltid är lägre än utomhus och större ju närmare frånluftsfläkten mätningen sker. Vid en mindre brand kommer detta att innebära att brandgaser och rök evakueras via frånluftskanalen och endast en mindre del sprids via läckageareor i konstruktionen. Är branden så stor att inte frånluftskanalen kan ta hand om alla brandgaser och rök kommer ett större övertryck alstras i brandrummet. Om detta brandtryck överskrider tryckfallet över tilluftsventilen kommer fläkten inte längre kunna blåsa in luft i rummet och luften i tilluftskanalen kommer stå stilla.

Detta benämns ibland som *gränsfallet* och motsvarande brandflöde som *kritiskt brandflöde*. Om brandtrycket (och sålunda brandflödet) ökar kommer flödet i kanalen att vända och brandgaser sålunda flöda baklänges i tilluftssystemet. Detta kommer naturligtvis spela mindre roll om ventilationssystemet endast omfattar ett rum. Dock kan generellt sägas att så snart systemet omfattar fler rum kommer *spridning av rök och brandgaser i ett FT-system ske via tilluften först*. Inledningsvis kommer denna spridning ske med T-fläktens hjälp, vilket framgår av figur 15. Trots att det normalt inte byggs upp några övertryck på mer än ett par hundra Pa, är detta dock tillräckligt mycket för att överstiga normalt tryckfall vid förgreningen från samlingskanalen (normalt mellan 20-100Pa). Då brandgaser trycks in i tilluftssystemet kommer dessa omedelbart att spridas till brandceller nedströms i systemet (se figur 15).



Figur 15 Ett enkelt FT-system vid brand.

Vid den begynnande inträngningen i tilluftssystemet ligger brandtrycket under den nivå, som ger risk för spridning via F-systemet. I normala fall med FT-system kommer denna nivå inte att uppnås, utan brandgaser sprids bara via tilluftssystemet. Spridningen fortsätter till dess brandeffekten upphör (till följd av syrebrist) eller att brandrummet avlastas vid fönsterkollaps eller annan tryckavlastning.

Även experimentella studier med till- och frånluftventilation påvisar att brandgaser och rök kan sprida sig till andra rum inom samma system och detta sker genom tilluften (Hägglund *et al*, 1998). Som väntat sprids brandgaser och rök först till det utrymme, som ligger närmast brandrummet på tilluftskanalen. Efterhand brandtrycket i brandrummet ökar kommer ytterligare utrymmen smittas. Detta gränsvall var dock inget som försöken påvisade, mest till följd av den maximalt utvecklade brandeffekten under försöken. Det visar sig att temperaturen på brandgaserna som sprids till närmaste rum på tilluftskanalen når 150-200°C då motsvarande temperatur i brandrummet uppgår till drygt 300°C. Detta kommer dock i ett verkligt fall bero på kanalens utformning, isolering mm.

#### 4.1.3 Ingen mekanisk ventilation

Fallet med ingen mekanisk ventilation innebär typiskt att brandtrycket som uppstår i brandrummet kommer att trycka rök och brandgaser ut genom otätheter och i ventilationskanaler. Ingen egentlig begränsning av spridningen sker utan detta styrs i princip av branden och rökproduktionen. Med samma förutsättningar som i systemen ovan innebär detta system typiskt att ett högre tryck etableras i rummet jämfört med ett till- och frånluftssystem eller ett frånluftssystem. Tryck upp emot 1000-1500 Pa har påvisats under försök i de fall då endast mindre tryckavlastande ventilationsöppningar fanns i konstruktionen (Walmerdahl *et al*, 2001a). Vid andra försök med tryckavlastande överluftkanal (Walmerdahl *et al*, 1999b) erhöles tryck ej överstigande 200Pa i test med snabbt tillväxande brand i träribbstapel.

## 4.2 Skydd mot brandgasspridning i ventilationssystem

I princip talas om två skyddsnivåer för utformningen av skyddet mot brandgasspridning mellan brandceller:

- *Förhindra* innebär att brandgaser inte får spridas mellan brandceller via kanalsystem. Detta kan åstadkommas med ett separat system för varje brandcell alternativt stoppade fläktar och avstängande spjäll mellan brandceller. Båda lösningarna måste dock anses olämpliga för anläggningar med många brandceller.
- *Avsevärt försvåra* innebär att brandgasspridning kan godtas men endast i begränsad omfattning vad gäller krav på toxicitet, sikt, temperatur osv.

Vilken av ovanstående principer som skall tillämpas beror på anläggningens utformning, verksamhet mm. Tillfredsställande lösningar för att åstadkomma ovanstående kan vara att:

- *Transportera bort inträngande brandgaser* så att spridning inte sker eller så att spridning åtminstone begränsas (kan göras med fläkt, självdrag eller med stoppad fläkt med förbigång för tryckavlastning).
- Ett sätt är att sänka trycket i övre delar av t.ex. kanalsystem eller trapphus (*tryckavlastning*) alternativt begränsa tryckstegringen i ett rum och förebygga inträngning i kanalsystem.
- *Trycksättning* av t.ex. trapphus kan ske för att hindra brandgasinträngning (dock bör säkerställas att övertrycket inte överstiger  $80 \pm 15 \text{ Pa}$  så att öppning av dörrar mm. för utrymning fortfarande kan ske).

Kommande avsnitt beskriver ett antal principer för att minska risken för (eller konsekvensen av) brandgasspridning i ventilationssystem.

### 4.2.1 Separata ventilationssystem

Det säkraste sättet att undvika brandgasspridning mellan olika brandceller via ventilationssystemet är att ha *separata ventilationssystem* för varje brandcell. Detta är sällan praktiskt och ekonomiskt försvarbart eftersom det kommer krävas ett stort antal fläktaggregat, fläktrum osv. Istället måste spridningen mellan brandcellerna elimineras så långt det är möjligt eller åtminstone minimeras.

### 4.2.2 Tryckavlastning och trycksättning

Ett alternativt skydd mot att brandgaser tränger ut i ventilationssystemet är att anordna tryckavlastning i det aktuella utrymmet när detta är möjligt. Denna skall öppnas automatiskt i ett tidigt skede i syfte att avlasta tryckhöjningen i brandrummet under brandtillväxten. Enklast sker detta direkt ut i det fria för att undvika rökspridning till andra närliggande utrymmen. Den ”naturligaste” formen av tryckavlastning vid rumsbrand sker om fönstren går sönder till följd av tryckhöjning eller temperaturpåverkan.

Trycksättning kan i vissa sammanhang vara en metod att skydda ett utrymme mot brandgasspridning genom att fläktar används för att åstadkomma luftströmning och/eller tryckskillnad gentemot brandgasavskiljande byggnadsdelar i syfte att styra brandgasernas rörelser. Dessa system appliceras oftast i viktiga utrymmen såsom utrymningsvägar o.d. och kan utgöras av mobila system. Nackdelen med mobila system (fläktar) är att dessa inte kan användas i ett tidigt skede av branden.

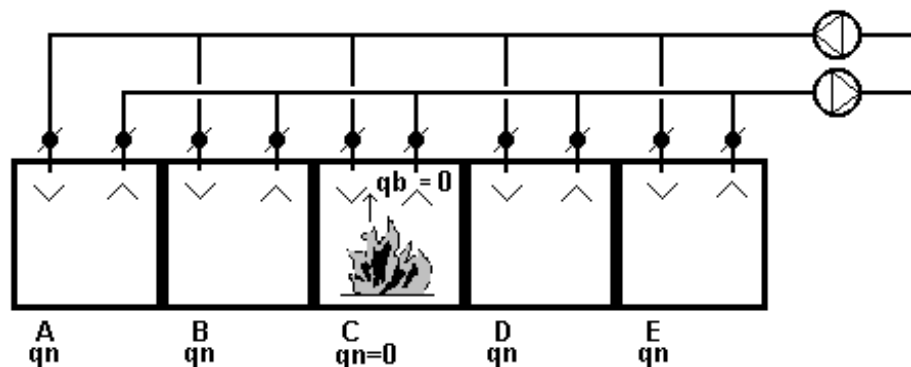
### 4.2.3 Spjäll

Spjäll är ett alternativ att hindra brandgasspridning i ventilationssystemet. Beroende på anläggningens utförande kan spjällen användas på lite olika sätt. Ett antal olika spjäll finns att tillgå i huvudsak enligt följande:

- *Brandgasspjäll* är spjäll i ventilationskanal avsett att hindra spridning av brandgas. Detta är vid normal drift helt öppet för att stängas vid indikering av brandgas.
- *Brand/brandgasspjäll* är spjäll i ventilationskanal avsett att hindra spridning av både brand och brandgas.
- *Backspjäll* (självverkande spjäll som hindrar återströmning) kan också vara en lösning, något som innebär att även tilluften kan fortsätta gå under en brand, men att ingen spridning sker ut i denna. Dock är denna typ av spjäll fortfarande inte helt tillförlitliga och har i flera fall för låg temperaturlåghet.

Även andra typer av spjäll förekommer, t.ex. sådana som skall öppna en förbindelse till det fria i händelse av brand (Backvik *et al*, 1996). Dessa används för att tryckavlasta ventilationssystemet, ensamt eller i kombination med fläkt.

Ett alternativ är att *till- och frånluftsflödet stoppas i en brandsituation*. Avstängande spjäll (brandgas eller brand/brandgasspjäll) monteras i anslutningskanal till respektive brandcell (se figur 16). Denna skyddsmetod anses generellt som en säker metod och tveksamheten inför att införa ett dylikt system ligger vanligtvis i den höga anskaffnings- samt drift- och underhållskostnaden.



Figur 16 Ett enkelt FT-system utrustat med brand/brandgasspjäll.

Vid valet av lösning måste även andra aspekter tas hänsyn till och ett exempel är att ventilationssystemet kan omfatta brandceller av mycket olika rumsvolym. Generellt rekommenderas avstängande spjäll här för respektive brandcell. I huvudsak kan driftsättet för nyss nämnda konfiguration väljas enligt någon av följande metoder:

- Vid brand i någon av brandcellerna stoppas F- och T-fläkt och spjäll intar skyddsläge.
- Alternativt kan endast spjällen till den drabbade brandcellen stängas medan övriga systemet behålls i drift. Av naturliga skäl blir kraven på styrning och kontroll större i detta fall.

Att tänka på är dock t.ex. det fall där spjäll stänger både till- och frånluftflödet till ett brandrum. Detta kan innebära en snabb tryckökning, som i sin tur driver brandgaser genom otätheter i spjäll och konstruktionen. För att undvika detta kan om möjligt en tryckavlastande röklucka installeras.

#### 4.2.4 Brandgasventilation och sprinkler

Om en brandcell utrustas med sprinkler innebär detta generellt att branden kommer att detekteras och släckas (eller åtminstone begränsas) i ett tidigt skede, dvs. innan ett alltför högt brandtryck uppstår och brandgaser börjar tryckas ut i ventilationssystemet. Dock skall man vara medveten om att sprinkler inte innebär ett 100%:igt skydd och om det inte löser ut bör andra skyddsåtgärder finnas.

I vissa fall kan det vara tillämpligt att ventileras ett utrymme med hjälp av termisk ventilation i tak. En del frågeställningar dyker upp i de fall en kombination av brandgasventilation och sprinkler är tänkt att användas. Detta rör t.ex. fallet där luckor till brandgasventilationen öppnar automatiskt efter att en viss temperatur uppnås. Sker denna aktivering för tidigt finns risk för att så mycket värme evakueras att ett inte tillräckligt antal sprinkler löser ut över brandobjektet (Ingason *et al*, 2001). Det gäller även att tillse att vatten från sprinklern inte kyler givaren till brandgasventilatorernas styrning så att en alltför lång tid går innan luckorna öppnas. En annan aspekt rör det faktum att sprinklern kommer kyla brandgaserna, vilket i sin tur innebär att den termiska stigningen minskar och brandgasventilatorernas effektivitet kan komma att minska.

#### 4.2.5 Brandventiler och svällande brandskyddsfärg

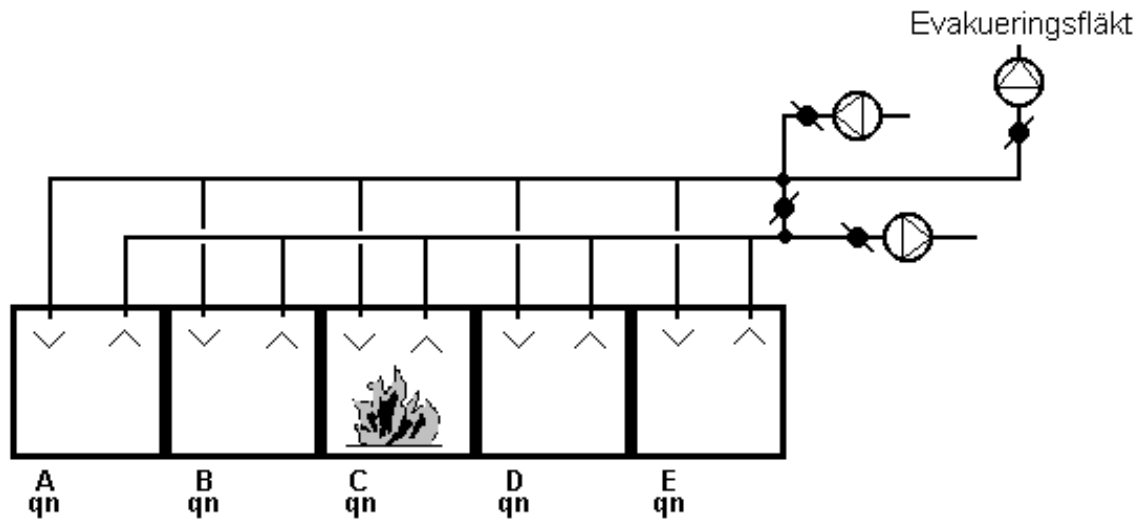
En brandventil är i princip en kontrollventil försedd med smältsäkring. När denna utlöser stänger ventilen och brandgaser hindras från att spridas in i ventilationssystemet. Generellt tillämpas denna typ av lösning endast i frånluftssystem eftersom brandgaserna måste vara varma för att utlösa ventilerna.

Som alternativ till brandventiler finns möjlighet att använda svällande brandskyddsfärg. Denna appliceras på parallella plåtar och då heta brandgaser passerar sväller kanalen igen och hindrar brandgasspridning. En nackdel är att relativt höga temperaturer behöver uppnås innan önskad effekt erhålls.

#### 4.2.6 Fläktar i drift samt konvertering

En ytterligare metod att angripa rökspridningen mellan brandceller är att tillgripa fläktar i drift. Generellt har det visat sig att en ”vanlig” fläkt kan anses klara drift i ca. en timme med en inloppstemperatur av 70°C (Jensen, 1998). Kommer denna temperatur att överstigas måste åtgärder vidtas. Finns endast ett fåtal brandceller bör avstängande spjäll väljas. Hög temperatur vid fläktinloppet nås inte vid det tidiga brandförloppet utan först då övertändningen uppnåtts och brandrummet (i regel) är tryckavlastat. Heta brandgaser sugas in av F-fläkten och blandningens temperatur kan beräknas i förhållande till massflödena. Ett krav för detta tillvägagångssätt är att frånluftfläktarna tål förhöjd temperatur och att inte brandgaser tillåts spridas in i tilluften. Risken för detta kan minimeras genom att rummet antingen tryckavlastas eller att ett spjäll stänger tilluften till brandrummet. Denna driftmodell hindrar att det uppstår undertryck i brandceller som inte är drabbade. Detta förutsätter att varje spjäll i tilluftssystemet kan styras individuellt, vilket genererar en högre installationskostnad. Viktigt är också i detta fall att inga större sprickor eller otätheter finns i konstruktionen, då detta i så fall kommer att innebära spridning mellan brandceller. Ytterligare ett alternativ kan vara att låta både till- och frånluftfläkten fortsätta gå under brandförloppet. Detta kräver dock att det maximala uppkomna brandtrycket inte överskrider *gränsfallet* enligt diskussionen och experimenten beskrivna i avsnitt 4.1.2.

Ett ytterligare alternativ inom ramen för att använda fläktar för brandgasevakivering kan vara att varva upp fläktarna i drift för att öka tryckfallet i systemet och försvåra spridningen av brandgaser in i ventilationssystemet. Möjlighet finns också att konvertera tilluften till frånluft (se figur 17). Används *konvertering* är det ett flertal parametrar, som måste beaktas. T.ex. är det viktigt att uppskatta vilket undertryck, som kommer uppstå (exempelvis svårigheter att öppna dörrar). Den enda tilluften som kan tillföras, då borttransport av luft och brandgaser borttransporteras via båda systemen, är via klimatskalets läckage. Ytterligare ett problem att ta ställning till kan vara att om konvertering av tilluften sker måste tilluften brandisolerats som för strömmande brandgas, något som normalt inte behöver göras för tilluftssystem.



*Figur 17 Ersättning av till- och frånluftsfläkt med separat evakueringsfläkt.*

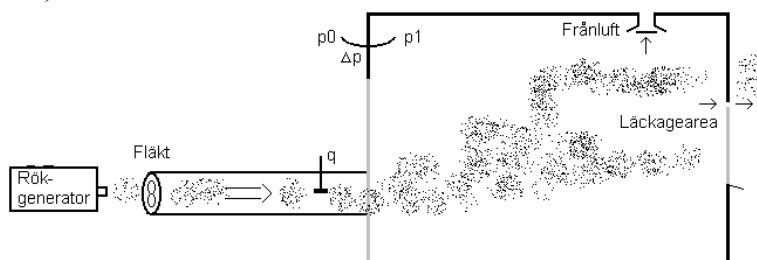
Ersättning av T/F-fläkten med separat fläkt (enligt ovan beskrivning) innebär en fördel i och med att fläktens prestanda kan väljas för att passa det aktuella driftfallet, dvs. flöde, tryckuppsättning, temperaturlåghet och fläktkaraktäristika. Genom att varvtalsreglera fläkten kan undertrycket i kanalsystemet begränsas för att inte äventyra utrymningssäkerheten. En annan fördel är att de heta brandgaserna kan ledas förbi känsliga komponenter i FT-aggregatet såsom filter, värmeåtervinnare mm.

## 5 Provningsmetoder

I flera sammanhang kan det vara av intresse att prova en anläggnings täthet eller ett visst skyddskoncept mot brandgasspridning. I dessa fall kan *täthets-* eller *rökspridningsprov* genomföras.

### 5.1.1 Täthetsprov

*Täthetsprov* eller *luftläckagemätning* kan ske i de fall det är av intresse att kontrollera en anläggnings eller byggnads täthet, dvs. hur stora läckageareor som finns. Som tidigare beskrivet är detta av vikt att veta då det gäller att uppskatta riskerna för brandgas- och rökspridning i händelse av brand. En fläkt används för att generera ett övertryck i det aktuella utrymmet och en tryckfallsmätare används för att registrera övertrycket i utrymmet (se illustration i figur 18).



**Figur 18** Princip för tryckprovning i rum.

Genom mätning av det ventilationsflöde som fläkten ger kan läckagearean beräknas ur följande samband:

$$q = C_d A_l \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (4)$$

I (4) är  $q$  luftflödet [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  $C_d$  utströmningkoefficienten (antas vanligtvis till 0.6),  $\Delta p$  uppmätt tryckskillnad [Pa] och  $\rho$  luftens densitet [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]. Kompletterat med att rök (från en rökgenerator) förs in i volymen med hjälp av fläkten, kan även en kvalitativ utvärdering av rökspridningen via otätheter och ventilationssystem göras.

### 5.1.2 Rökspridningsprov

*Rökspridningsprov* är en lämplig metod för utvärdering av anläggningars och större lokalers förmåga att hantera evakueringen av heta brandgaser och rök (Walmerdahl *et al*, 2001b och Delin *et al*, 2001a). Principen bygger på förbränning av metanol i olika stora vätskekylda kärl för att generera den varma plymen. Rökgeneratorer används för att ”tillsätta” rök i plymen och på detta sätt så långt som möjligt efterlikna en verklig brand. Genom denna metod kan oförstörande tester i befintliga anläggningar genomföras (se exempel från test i figur 19)



**Figur 19** Rökspridningsprov i upplevelsecentra (Walmerdahl *et al*, 2001b).

## 6 Skydd mot inventilering av brandgaser i anläggning

En viktig parameter vad gäller anläggningars skydd mot oönskad inventilering av rök och brandgaser är utformning och placering av luftintag för tilluften till anläggningen. En undersökning av liknande fenomen har gjorts (Jansson *et al*, 1981) med inriktningen att utröna inventilering i skyddsrum. En viktig parameter i denna studie var koncentrationen CO, en lukt- och färglös gas, som redan vid låga koncentrationer framkallar nedsatt prestationsförmåga och illamående. Dimensionerande vid dessa tester var brand i rasmassor med ett närliggande luftintag. Slutresultatet av denna studie kan sammanfattas som att om inte CO detekteras tidigt och inventileringen avbryts inom 10 minuter hinner tillräckligt höga halter av CO ventileras in i anläggningen för att redan vid kortvarig exponering kunna utgöra en hälsofara.

Ytterligare en undersökning (Altwall *et al*, 1994) har genomförts i syfte att studera inventilation av brandrök till pjasplats i KA-anläggning. Lite grova slutsatser av dessa försök är att det vid simulerad yttre brandpåverkan endast tar ett fåtal minuter (beroende på brandförloppet) innan halten CO i inomhusluften är ”avsevärt förhöjd” i ett flertal utrymmen om inga åtgärder vidtagits för att begränsa inläckaget. I tillägg till detta sker rökfyllnad av bl.a. utrymningsväg efter storleksordningen en minut. Totalt sett konstateras att en yttre brand i anslutning till luftintaget efter 10-15 minuter kan ge mycket svåra förhållanden inne i anläggningen om inga åtgärder vidtas mer än att avskilja partiklar och aerosoler i tilluften.



## 7 Sammanfattning och slutsatser

En övergripande introduktion vad gäller brand och brandgasspridning i anläggningar har sammanställts med utgångspunkt i såväl praktiska resultat från genomförda forskningsprojekt som studier av relevant litteratur. En av de viktigaste slutsatserna är att spridning av brand och brandgaser i ventilationssystem är av största vikt att förebygga. Detta för att möjliggöra fortsatt verksamhet i anläggningar i händelse av brand samt att säkerställa personsäkerheten, eftersom annars redan en liten brand kan få kännbara konsekvenser. Ett flertal åtgärder kan vidtas för att förebygga problemen och utformningen av ett specifikt system beror på ett flertal faktorer som anläggningens utformning, storlek på brandceller och andra anläggningsspecifika krav. Olika metoder finns för att prova funktionaliteten även hos befintliga anläggningar för att identifiera eventuella problem i den valda skyddskonstruktionen. Exempel på dessa är t.ex. täthets- och rökspridningsprov, vilka båda innebär olika typer av oförstörande provning för att utvärdera en anläggning.

### 7.1 Fortsatta forskningsinsatser

När det gäller FOI:s insatser inom detta område har dessa under ett flertal år fokuserats på spridning av brandgaser och rök inom anläggningar och hur utventilering av dessa kan ske. Endast ett fåtal studier har behandlat brandförloppet i sig, dvs. antändning, brandtillväxt och –spridning. Kunskap inom detta område anses viktig för att generera förståelse för förloppet i sig (t.ex. mekanismer som styr brandspridningen) och i förlängningen bruka lämpliga skyddsåtgärder. Studierna bör vara av tillämplig karaktär (jämför t.ex. Jansson *et al*, 1987) och kan med fördel utföras i lämplig modellskala (jämför t.ex. Walmerdahl, 2002).

Andra områden i behov av kompletterande forskningsinsatser är bl.a. följande:

- *Simulering av brandförlopp med CFD-modeller.* I takt med den senaste tidens alltmer sofistikerade modeller för att beskriva komplexa flödes- och förbränningsfenomen, ökar möjligheterna att förutsäga olika typer av brandförlopp. Här är det viktigt att genomföra jämförande studier mellan beräknade och experimentella data för att på detta sätt fastställa modellernas begränsningar (Hägglund *et al*, 2000a/b).
- Ytterligare kunskapsuppbyggnad vad gäller *brand i undermarksanläggningar* och andra svårtillgängliga utrymmen, som är mer eller mindre slutna. Här avses t.ex. tryck- uppbyggnad i rum under det initiala brandförloppet samt effekterna av underventilerad brand. Även när det gäller takventilerad brand, dvs. brand som endast ventileras från öppning i tak, finns en brist på experimentella data och en generell förståelse för hur dessa brandförlopp utvecklas. Detta kan appliceras både på undermarksanläggningar och fartyg. Ett exempel på en inledande studie inom detta område utgör (Jansson *et al*, 1986). Även brandgasspridning i ventilationssystem i undermarksanläggningar av mer komplex karaktär är i behov av att belysas ytterligare.
- *Brandpåverkan på glasfasader.* Endast ett fåtal studier av mer tillämplig karaktär (t.ex. Walmerdahl *et al*, 2000d och Delin *et al*, 2001b) har genomförts rörande hur glas reagerar vid brandpåverkan. Av intresse skulle därför vara att studera bl.a. hur värmestrålning absorberas i glaset vid bestrålning samt vilka kriterier, som är relevanta att använda för kollaps av exempelvis en glasfasad.

## 8 Referenser

- Altvall, L-E, Niréus, K, Onnermark, B., *Inventilation av brandrök till pjäsplats i KA-anläggning*, FOA rapport C 20980-2.4, juni 1994.
- Backvik, B., *En handbok för brandskyddsteknik för ventilationssystem*, Ventilationsbrandskydd i Stockholm AB, Stockholm 1996.
- Brandskyddslaget, Brandteknik vid LTH, *Brandskyddshandboken – En handbok för projektering av brandskydd i byggnader*, Rapport 3117, Brandteknik LTH, Lund, 2002.
- Boverket, Boverkets Byggregler, BBR 2002:19, kapitel 5, 2002.
- Delin, M., Walmerdahl, P., *Hot smoke test - ett sätt att utvärdera brandskyddet*, Bygg & teknik, 6/01, 55-59, 2001a.
- Delin, M., Walmerdahl, P., *Full scale fire tests with double skin glass facade*, 9<sup>th</sup> International Fire Science & Engineering Conference, Interflam 2001, Edinburgh, Scotland, 2001b.
- Drysdale, D., *An introduction to fire dynamics*, John Wiley & Sons, 1999.
- Hägglund, B., Jansson, R., Niréus, K., *Smoke filling experiments in a 6x6x6 meter enclosure*, FOA rapport C 20585-D6, September 1985.
- Hägglund, B., Nireus, K., Werling, P., *Pressure rise due to fire growth in a closed room – Description of three full-scale tests*, FOA-R--96-00347-2.4--SE, December 1996a.
- Hägglund, B., Nireus, K., Werling, P.: *Smoke spread in a two-plane compartment*, Defence Research Est., FOA-R--96-00348-2.4--SE, December 1996b.
- Hägglund, B., Nireus, K., Werling, P.: *Small-scale tests of smoke spread in multi-plane compartments*, Defence Research Est., FOA-R--98-00926-311--SE, December 1996c.
- Hägglund, B., Nireus, K., Werling, P., *An experimental study of the smoke spread via ventilation ducts*, FOA-R--98-00870-311--SE, October 1998.
- Hägglund, B., Walmerdahl, P., Lundquist, M., Delin, M., *Jämförande och tillämpade studier av brandgasers spridning mellan våningsplan i en flervåningsbyggnad*, SRV rapport P21-338-00, 2000a.
- Hägglund, B., Walmerdahl, P., Lundquist, M., Delin, M., *Tillämpade beräkningar av brandgasers spridning med zon- och CFD-modeller*, FOA-R--00-01409 --SE, januari 2000b.
- Ingason, H., Arvidson, M., *Samtidig användning av sprinkler och brandgasventilation – Kunskapssammanställning*, SP rapport 2001:17, Borås 2001.
- Jansson, R., Onnermark, B., Werling, P-O, *Inventilering av brandgaser i skyddsrum*, FOA rapport C20426-D6, september 1981.
- Jansson, R., Onnermark, B., Altvall, L-E, *Brandgasventilation av trapphus genom taklucka*, FOA rapport C 20575-D6, maj 1985.

Jansson, R., Onnermark, B., Halvarsson, K., *Brand i takventilerad lokal*, FOA rapport C 20606-D6, mars 1986.

Jansson, R., Onnermark, B., Altvall, L-E, *Brandspridning genom trapphus vid krigsbränder*, FOA rapport C 20643-2.6, februari 1987.

Jensen, L., *Ventilationssystemets uthållighet vid brand*, Rapport TABK 98/7046, Inst. För byggnadskonstruktionslära, Lunds Universitet, Lund 1998.

Karlsson, B, Quintiere, J.G., *Enclosure fire dynamics*, CRC Press, Florida, 2000.

Niréus, K., Werling, P-O, Hansson, S-G, Onnermark, B., *Brandventilation genom schakt – experiment*, FOA rapport A 20061-2.6, juni 1994.

Onnermark, B., Jansson, R., Altvall, L-E, Halvarsson, K., *Spridning av brandgaser och rök mellan två bostadsrum*, FOA rapport C20490-D6, april, 1983.

Onnermark, B., Jansson, R., Hansson, S-G, *Brandgasventilation av ett trapphus genom en väggöppning*, FOA rapport C 20616-D6, juni 1986.

Onnermark, B., Jansson, R., Hansson, S-G, *Brandrökspridning från liten till stor lokal – experiment*, FOA rapport C 20871-2.4, juni 1992.

Walmerdahl, P., Werling, P, *Rökspridningsförsök i undermarksanläggning*, FOA-RH--99-00462-311, oktober 1999a.

Walmerdahl, P., Werling, P., Nireus, K., *Försök med överluftkanal på Räddningsskolan i Rosersberg*, dnr 99-2728/S, 1999b.

Walmerdahl, P., Werling, P., *Brandteknisk rekonstruktion av brand i Vara*, dnr 00-3695/S, 2000a.

Walmerdahl, P., Werling, P., Nireus, K., *Smoke spread trials in a small-scale multi-plane configuration*, FOA-R--0-01447-311--SE, February 2000b.

Walmerdahl, P., Werling, P., *Försök med brandpåverkan mot fyllningsdörrar*, FOA-R—01550-990--SE, Augusti 2000c.

Walmerdahl, P., Werling, P., *Försök med brandpåverkan mot dubbelglasfasad*, FOA-R--00-01549-990--SE, Provrapport, 2000d.

Walmerdahl, P., *Konsekvensanalys av brand i Husgerådskammarens magasin i Dammtorp, Lovön*, FOI dnr. 01-1093/S, 2001a.

Walmerdahl, P., Werling, P., *A method for smoke spread testing of large premises*, FOI-R--0046--SE, November 2001b.

Walmerdahl, P., *Ignition and fire development – an experimental study in model-scale*, AVT's (Applied Vehicle Panel) Fire Safety and Survivability Seminar, 23-26 Sep. 2002.