



# LUND UNIVERSITY

## Kompendium i aktiva system - detektion

Nilsson, Daniel; Holmstedt, Göran

2008

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Nilsson, D., & Holmstedt, G. (2008). *Kompendium i aktiva system - detektion*. (LUTVDG/TVBB--7030--SE; Vol. 7030). Lunds universitet, Lunds tekniska högskola. Brandteknik och riskhantering.

*Total number of authors:*

2

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00

# Kompendium i Aktiva system - Detektion

*Daniel Nilsson  
Göran Holmstedt*

---

Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety  
Lund University, Sweden

Brandteknik och riskhantering  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet

Report 7030, Lund 2008



# **Kompendium i Aktiva system - Detektion**

**Daniel Nilsson  
Göran Holmstedt**

**Lund 2008**



Kompendium i Aktiva system – Detektion

Compendium of Fire detection and suppression – Detection

Daniel Nilsson  
Göran Holmstedt

**Report 7030**  
**ISSN: 1402-3504**  
**ISRN: LUTVDG/TVBB--7030--SE**

Number of pages: 81  
Illustrations: Daniel Nilsson, Cerberus (Clipart)

**Keywords**

Active fire protection systems, fire signatures, fire detectors, fire alarm systems, detector activation time.

**Sökord**

Aktiva system, brandsignaturer, branddetektorer, brandlarmsystem, detektoraktivering.

**Abstract**

The following document is used in the course Fire detection and suppression, which is given by the Department of Fire Safety Engineering at Lund University. In the first part of this document a short review of typical fire signatures, namely radiation, fire effluent gases, aerosol particles, temperature and sound is presented. Subsequent chapters include information about fire detectors, fire alarm systems, rules and regulations, design of fire alarm systems, activation of heat detectors and activation of smoke detectors.

© Copyright: Brandteknik och riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2008.

---

Brandteknik och riskhantering  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

brand@brand.lth.se  
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60  
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering and  
Systems Safety  
Lund University  
P.O. Box 118  
SE-221 00 Lund, Sweden

brand@brand.lth.se  
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60  
Fax: +46 46 222 46 12

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b><u>BRANDEN</u></b>	<b>1</b>
1.1	FLAMBRAND	1
1.2	GLÖDBRAND	2
1.3	BRANDSIGNATURER	4
<b>2</b>	<b><u>DETEKTORER</u></b>	<b>11</b>
2.1	FLAMDETEKTORER	12
2.2	GASDETEKTORER	16
2.3	RÖKDETEKTORER	17
2.4	VÄRMEDETEKTORER	23
2.5	SPECIELLA DETEKTORER	25
<b>3</b>	<b><u>BRANDLARMSYSTEMET</u></b>	<b>27</b>
3.1	KONVENTIONELLT OCH ADRESSERBART	29
3.2	ANALOGA SYSTEM	30
3.3	FRAMTIDENS BRANDLARMSYSTEM	30
3.4	LARMLAGRING	31
3.5	SAMPLANDE SYSTEM	32
<b>4</b>	<b><u>REGELVERK OCH STANDARD</u></b>	<b>35</b>
4.1	SBF 110:6	35
4.2	NFPA 72 – THE NATIONAL FIRE ALARM CODE	35
4.3	SS-EN 54-7	36
4.4	SS-EN 54-5	36
<b>5</b>	<b><u>DIMENSIONERING AV BRANDLARMSYSTEM</u></b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b><u>AKTIVERINGSTID – VÄRMEDETEKTORER</u></b>	<b>41</b>
6.1	DETEKTORMODELLER	41
6.2	BRANDMODELLER	45
6.3	DETEKTIONSMODELLER	49
<b>7</b>	<b><u>AKTIVERINGSTID – RÖKDETEKTORER</u></b>	<b>53</b>
7.1	GENOMGÅNG AV UTTRYCK OCH BEGREPP	54
7.2	DETEKTORMODELLER	67
7.3	BRANDMODELLER	71
7.4	DETEKTIONSMODELLER	73



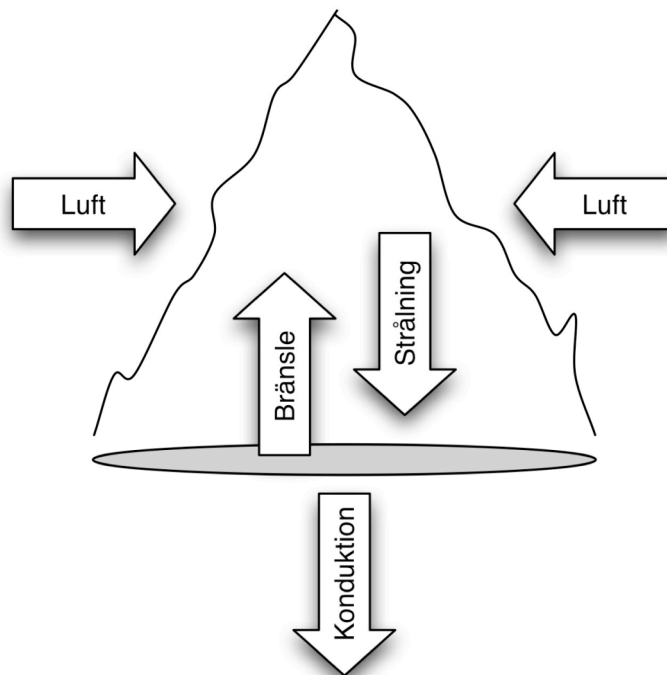
# 1 Branden

För att minska de skador som en brand orsakar krävs att branden upptäcks i ett tidigt skede. Detta kan åstadkommas genom att låta en detektor reagera på någon av de signaturer som alstras av branden. Typen av brand påverkar vilka signaturer som är lämpliga att detektera. För att bättre förstå hur detektorer fungerar krävs kunskap om bränder och typiska brandsignaturer. Nedan ges en översiktlig beskrivning av flambränder och glödbränder, vilket följs av en beskrivning av brandsignaturer.

## 1.1 Flambrand

Gemensamt för alla flambränder är att förbränningen av bränslet sker i gasfas. Reaktionsprodukterna utgörs ofta av koldioxid, vatten, kolmonoxid, oförbrända kolväten och sot. Man skiljer mellan diffusionsflammar och förblandade flammar.

Eftersom förbränningen sker i gasfas för en flambrand måste fasta och vätskeformiga bränslen först omformas till gasformiga föreningar. Detta kan ske genom sönderdelning eller fasomvandling då värme tillförs från omgivningen eller via den värmeåterkoppling som förekommer mellan den brinnande ytan och flammorna (se figur 1.1).



Figur 1.1 En diffusionsflamma

Det gasformiga bränslet rör sig upp i flammorna samtidigt som luft tränger in från sidorna (se figur 1.1). Där bränslet och luften möts bildas en smal förblandad zon, förbränningszonen, där koncentrationen av syre och bränsle ligger inom brännbarhetsgränserna. I förbränningszonen reagerar reaktanter, syre och bränsle, via en lång kedja av delreaktioner till produkter samtidigt som värme frigörs. Vid de olika delreaktionerna skapas och förbrukas så kallade fria radikaler, t ex OH, CH och C<sub>2</sub>, som är nödvändiga för alla förbränningsreaktioner. På grund av att vissa radikaler bildas i ett exciterat tillstånd i reaktionszonen kan de, när de återgår till termodynamisk jämvikt med lägre energi sända ut strålning med vissa diskreta

våglängder, vanligen i UV-området. Vid förbränningen av bränslet bildas en del produkter, t ex  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  och  $\text{CO}$ , som är polära. Då dessa molekyler värms upp i flammen avger de termisk strålning med vissa våglängder på grund av deras polära uppbyggnad. En annan produkt som bildas vid förbränningen är etyn,  $\text{C}_2\text{H}_2$ , som bildar aromatiska kolvätekedjor genom reaktioner i flammen. Kolvätekedjorna, som är ungefär 10 till 100 nm, klumpar i sin tur ihop sig till spiralformade sotpartiklar, agglomerat, vars mängd är störst vid cirka 2/3 av flammhöjden varefter de ingående kolvätekedjorna oxideras. Den sotmängd som lämnar flammen är därför mindre än den som finns i det inre av flammen. När partiklarna inne i flammen upphettas strålar de som små svartkroppar och det är denna strålning som ger diffusionsflammar deras karakteristiska gula sken.

Vid förbränningen frigörs värme som höjer temperaturen på produkterna. Temperaturskillnaden mellan produkterna och omgivningen ger upphov till en termisk stigitkraft som medför att produkterna transporteras uppåt. Produkterna drar med sig en del luft och det bildas en plym med brandgaser, d v s luft och förbränningsprodukter. Transporthastigheten i plymen uppgår maximalt till någon m/s och transporten upphör då temperaturskillnaden inte längre är så stor att den kan driva gaserna. Normalt krävs en skillnad mellan omgivningens och brandgasernas temperatur på minst  $10\text{ }^\circ\text{C}$  för att brandgaserna ska stiga uppåt. För bränder i utrymmen med högt till tak, t ex atrier, kan brandgaserna ibland kylas så mycket att de förlorar sin termiska stigitkraft innan de når taket, vilket kan vålla problem vid detektering med takmonterade detektorer. Då brandgaserna i plymen når ett plant tak sprider de ut sig radiellt längs taket. Hinder i taknivå, t ex balkar och tak som lutar, kan hindra utbredningen.

Beskrivningen av en flambrand ovan gäller främst för en brand med diffusionsflammar i organiska material. I de fall då flammorna är förblandade, d v s då bränsle och luft, eller syre, är blandat innan antändning, blir förbränningen effektivare och det bildas mindre andel ofullständigt förbrända produkter, t ex sotpartiklar.

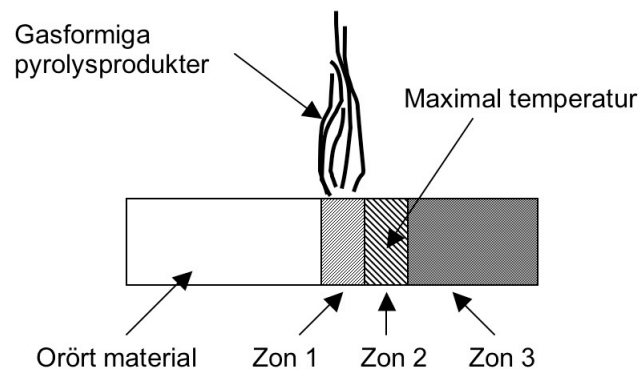
Vilka produkter som bildas beror mycket på bränslet och ventilationsförhållandena. Bränslen som inte innehåller grundämnet kol, t ex väte, ammoniak och svavel kan inte bilda  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  och  $\text{C}_2\text{H}_2$ , och för en underventilerad brand (dålig syretillgång) gäller exempelvis att mer  $\text{CO}$  bildas än för en välventilerad brand (god syretillgång).

## 1.2 Glödbrand

En förutsättning för att en glödbrand ska inträffa är ett poröst bränsle som bildar fasta kolhaltiga föreningar då det pyrolyseras och som inte krymper bort då det värms upp (Drysdale, 1999). Exempel på material som kan brinna med glödbrand är dels material av vegetabiliskt ursprung, t ex papper, sågspån, tyger, läder och spånskivor, samt vissa expanderade plaster, t ex expanderade polyuretaner. För en glödbrand sker förbränningen av bränslet som ytreaktioner i fast fas, vilket medför att bränslet brinner utan flammor. En glödbrand kan dock övergå till en flambrand vid förbättrade ventilationsförhållanden och på motsvarande sätt kan en flambrand övergå till en glödbrand om branden blir underventilerad. Ofta krävs vissa typer av tändkällor för att starta en glödbrand. För polyuretanskum gäller att en tändkälla i form av en öppen låga främst initierar flambrand medan ett glödande föremål, t ex en glödande cigarett, främst initierar glödbrand.

Moussa, Toong och Garris (1977) har utfört experiment med glödbrännder i vertikala cylindriska celluloseelement och visat att förbränningsvågen vid en glödbrand kan delas in i tre zoner enligt (se figur 1.2)

- Zon 1 Pyrolyszon där bränslet värms upp och pyrolyseras.
- Zon 2 Kolskikt där förbränningen äger rum och där temperaturen når sitt maximum. Den utvecklade värmen leds via värmeledning till zon 1 och zon 3.
- Zon 3 Avsvalningszon som består av eventuella restprodukter från förbränningen och där temperaturen minskar.



Figur 1.2 Glödbrand i en cellulosestav med de olika zonerna inritade.

Framför zon 1 finns orört material som är opåverkat av glödbranden. I zonen sker en uppvärmning och när tillräckligt höga temperaturer uppnås sker en pyrolysis av bränslet, vilket för de flesta organiska material kräver en temperatur på 250 till 300°C. Pyrolysen resulterar i fasta kolhaltiga föreningar och gasformiga pyrolyserprodukter, vilka till största delen består av tjära och vätskor med hög kokpunkt. De gasformiga pyrolyserprodukterna lämnar zon 2 och blandas med luft varvid de kyls och kondenserar till små droppar. Massmedeldiametern för dropparna är i storleksordningen 1 µm, vilket innebär att de bildar synlig rök.

Zon 2, kolskiktet, består av de fasta kolhaltiga föreningar som bildas vid pyrolysen. Dessa föreningar innehåller så lite som 10 % av bränslets ursprungliga energiinnehåll, vilket innebär att de avgivna gasformiga pyrolyserprodukterna kan innehålla upp till 90 %. Pyrolyserprodukterna är därför brännbara och kan ge upphov till farliga brandgasexplosioner om de ansamlas i något utrymme och därefter antänds.

I zon 2 sker en förbränning eller oxidation av de fasta kolhaltiga föreningarna till bland annat CO, CO<sub>2</sub> och H<sub>2</sub>O, som avges i gasfas från zonen, och till fasta restprodukter eller aska som kan bestå av t ex metallsalter. Vid förbränningen uppnås den högsta temperaturen som är i storleksordningen 600 till 750°C. Denna temperatur ger upphov till svartkroppstrålning inom det synliga området, vilket medför att zon 2 glöder.

Zon 3 består av de fasta restprodukterna som bildas vid förbränningen. Beroende på bränslet och bränslets packningsgrad kan zonen vara olika stor. För en cigarett kan ett tydligt askskikt urskiljas medan zon 3 i det närmaste är obefintlig för en brand i trä.

På grund av den förhållandevis låga temperaturen vid en glödbrand är den termiska stigkraften för de gasformiga pyrolyserprodukterna och förbränningsprodukterna ofta

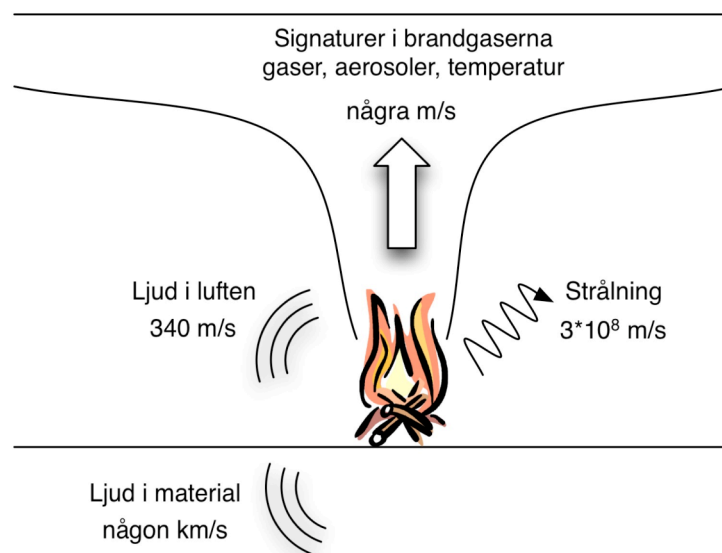
liten. Detta innebär att det inte bildas en brandplym som i fallet med flambrand, vilket kan medföra att brandgaserna inte når upp till detektorer som är placerade i taket.

### 1.3 Brandsignaturer

Vid en brand reagerar reaktander, bränsle och syre, och bildar produkter samtidigt som värme frigörs. Förbränningen medför att branden alstrar signaturer, vilka kan utnyttjas till att upptäcka branden. Med signaturer menas mätbara förändringar, t ex ändrad temperatur, strålningsintensitet eller gaskoncentration, som är orsakade av branden. I följande avsnitt kommer fem olika typer av signaturer att beskrivas, nämligen

- strålning
- gaser
- aerosoler
- temperatur
- ljud

Gaser, aerosoler och temperatur är alla signaturer som transporteras med brandgaserna från branden. Brandgaserna rör sig normalt uppåt på grund av termisk stigitkraft som orsakas av den värme frigörs vid förbränning. För glödbränder och små flambränder är ofta brandgaserna svala, vilket kan medföra att de inte når detektorer som är placerade i taknivå. Dessutom kan hinder i taknivå eller ventilationen i byggnaden styra brandgasflödet. Figuren nedan illustrerar olika signaturer och anger deras ungefärliga transporthastigheter (se figur 1.3).



Figur 1.3 Brandens signaturer och signaturernas transporthastigheter

### 1.3.1 Strålning

Den överlägset snabbaste brandsignaturen är den strålning som sänds ut vid en brand. Strålningen transporteras med en hastighet av ungefär  $3 \cdot 10^8$  m/s och redan små intensiteter är idag möjliga att detektera. För en glödbrand sänds ljuset främst ut som svartkroppstrålning från zon 2, kolskiktet. Eftersom glödbränder ofta är dolda, t ex en glödbrand inne i ett material, blockeras strålningen och blir omöjligt att detektera. Dessutom är strålningen från en glödbrand ofta svag och liknar strålningen från andra föremål, d v s det finns många storkällor.

Flammorna i en flambrand avger strålning inom ett stort våglängdsområde och innefattar ultraviolett, synligt och infrarött ljus. Strålningen alstras av

- fria radikaler
- stabila föreningar
- sot

Fria radikaler finns i förbränningszonen i alla flammor. När radikalerna upphettas exciteras de och då de återgår till ett tillstånd med lägre energi sänder de ut strålning med vissa diskreta våglängder. Det utsända ljuset består av ultraviolett och blått ljus och kan urskiljas som intensitetstoppar för vissa våglängder (se tabell 1.1).

Vid förbränning av bränsle i flammor bildas olika produkter beroende på bränslet och syretillgången. För organiska bränslen bildas bland annat de tre produkterna  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  och  $\text{CO}$  som kan absorbera och emittera strålning med vissa våglängder. När de tre produkterna värms upp i flammorna emitterar de strålning i det infraröda området, vilket kan urskiljas som intensitetstoppar för vissa våglängder (se tabell 1.1). I figuren nedan visas strålningsintensiteten som funktion av ljusets våglängd för en förblandad flamma, en diffusionsflamma och en strålände svartkropp (se figur 1.4). Figuren bygger på data som presenterats av Barret och Middleton (1972).

Tabell 1.1 Exempel på våglängder för typiska intensitetstoppar vid en brand samt de föreningar som genererar topparna.

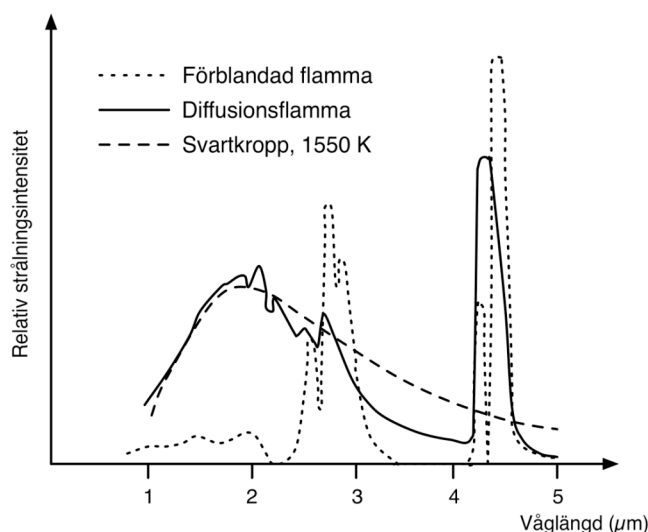
Strålning	Föreningar	Typiska våglängder för intensitetstopparna
Ultraviolett och synlig	OH, CH, $\text{C}_2$	280-300 nm, 305-320 nm, 385-395nm, 420-440 nm, 460-570 nm
Infraröd	$\text{H}_2\text{O}$ , CO, $\text{CO}_2$	2 $\mu\text{m}$ , 2,7 $\mu\text{m}$ , 4,3 $\mu\text{m}$ , 6,7 $\mu\text{m}$ , 15 $\mu\text{m}$

På grund av ofullständig förbränning innehåller flammor en del sotpartiklar. Då dessa värms upp strålar de som svartkroppar, vilket innebär att strålning i ett stort intervall sänds ut. Förbränningen i förblandade flammor är ofta mycket effektiv, varför flammorna innehåller en liten mängd sot, och de ovan nämnda intensitetstopparna för vissa våglängder framträder därför tydligt. För diffusionsflammor kan samma intensitetstoppar som för de förblandade flammorna observeras, men de framgår inte lika tydligt på grund av den samtidiga svartkroppsstrålningen från sotpartiklar.

Flammor kännetecknas av att de inte strålar med en konstant intensitet utan intensiteten fluktuerar. Frekvensen för fluktuationerna uppgår oftast till mellan 0,5 och 15 Hz (svängningar per sekund). En detektor som ska reagera på strålning från en flambrand utformas lämpligen så att den reagerar på brandens spektrala



fördelning, d v s reagerar vid intensitetsökningar för vissa våglängder. Den spektrala fördelningen utgör ett kännetecken för bränder och med hjälp av den kan en brand skiljas från storkällor, t ex en glödlampa, ett värmeelement eller solen. För flammor är även fluktuationerna i intensitet ett kännetecken.



Figur 1.4 Den spektrala fördelningen för en svartkropp, en flambrand med diffusionsflammar och en flambrand med förblandade flammor

### 1.3.2 Gaser

Vid en brand bildas förbränningsgaser vilkas sammansättning kan variera beroende på typen av bränsle samt tillgången till syre. Två vanliga förbränningsgaser är CO och CO<sub>2</sub> som bildas vid bränder i organiska bränslen. I atmosfären finns ungefär 0,04 % CO<sub>2</sub> men nästan ingen CO. En liten förändring i koncentrationen av CO blir därför lättare att mäta än en förändring i koncentrationen av CO<sub>2</sub>. Ytterligare produkter som kan förekomma vid förbränning av organiska bränslen är olika typer av ofullständigt förbrända kolväten, HC. För vissa bränslen bildas även andra gaser som är mer specifika för bränslet, t ex saltsyra, HCl, som bildas när PVC brinner. De ovan nämnda gaserna utgör bara några exempel på gasformiga signaturer som kan användas för att detektera en brand. I tabellen nedan sammanfattas några produkter som kan bildas vid brand (se tabell 1.2).

Tabell 1.2 Exempel på produkter som kan bildas då olika material brinner

Produkt	Exempel på bränsle
CO, CO <sub>2</sub>	alla brännbara ämnen som innehåller kol
NO <sub>x</sub>	polyuretaner
SO <sub>2</sub>	gummi
HCN	ull, silke, läder, plaster som innehåller kväve, cellulosa material
HCl, HF, HBr, HI	PVC (bara HCl), plaster med flamskyddsmedel, fluorerade plaster (bara HF)
NH <sub>3</sub>	nylon
Aldehyder	trä, nylon
Bensen	polyuretaner

### 1.3.3 Aerosoler

Vid en brand bildas en del lite större partiklar med en diameter mellan 0,01 till 10  $\mu\text{m}$ . Dessa partiklar, som kan bestå av sot och vätskedroppar av vatten, tjära och kolföreningar med hög kokpunkt, kallas aerosoler då de svävar i luften. Generellt kan aerosolerna delas in i partiklar som är mindre än 0,3  $\mu\text{m}$  och inte sprider infallande synligt ljus nämnvärt och partiklar som är större än 0,3  $\mu\text{m}$  och sprider infallande synligt ljus. På grund av att de större partiklarna sprider ljus blir de också synliga och bidrar därför till försämrad sikt vid brand. Aerosolernas storlek varierar beroende på typen av brand. En glödbbrand ger stora partiklar, främst vätskedroppar, medan en brand med flammor ger mindre partiklar, främst sotpartiklar. Den vanligaste storleken på aerosoler är mellan 0,1 och 2  $\mu\text{m}$  och de flesta detektorer utformas så att de är mest känsliga i detta intervall.

Med tiden sker en koagulering av aerosolpartiklar genom att de kolliderar med varandra. Koaguleringen innebär att partiklarna häftar ihop utan att den totala volymen förändras. Antalet partiklar blir på detta sätt mindre medan volymen av partiklar förblir den samma. Koaguleringen sker olika snabbt beroende på koncentrationen av partiklar och generellt gäller att processen går snabbare ju högre koncentrationen är.

### 1.3.4 Temperatur

De brandgaser som stiger upp mot taket vid en brand har högre temperatur än omgivningen. Då de ansamlas vid taket i en byggnad stiger temperaturen successivt. En detektor som larmar vid en viss förändring i temperatur, t ex  $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , eller vid en viss maximal temperatur, t ex  $60^{\circ}\text{C}$ , kan därför upptäcka en brand. Temperaturen är ofta den signatur som tar längst tid att upptäcka. Detta beror delvis på att effekten eller värmeutvecklingen för en brand är liten i början samtidigt som kylningen av brandgaserna är stor, vilket medför att höga temperaturer eller stora förändringar i temperaturen inte uppnås till en början. För glödbränder är brandgaserna oftast svala, vilket ofta omöjliggör detektion av glödbränder genom att mäta temperaturförändringar.

### 1.3.5 Ljud

Det ljud som genereras vid en brand kan delas in i

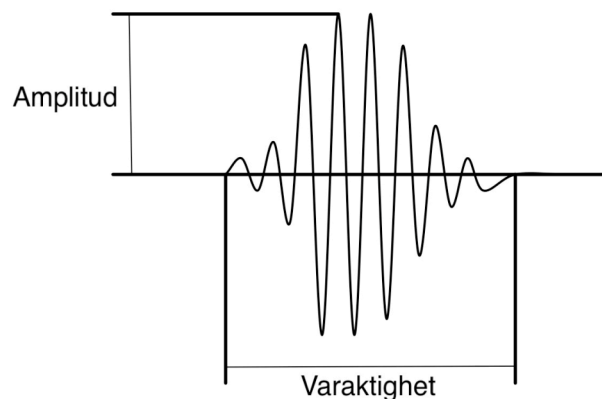
- ljud från brinnande flammor
- ljud från material som upphettas

Vid en flambrand genereras lågfrekvent ljud av de virvelstrukturer som bildas vid flammornas bas. Det har visats att ljudet är periodiskt med en frekvens som approximativt är omvänt proportionellt mot båletets omkrets (Hamins, Yang & Kashiwagi, 1992). Frekvensen varierar från 1 till 10 Hz för båldiametrar från 2 till 0,02 meter. Detrich och Lanore (1980) har jämfört ljudet från flambränder med alkoholer som bränsle med bakgrundsljud och har dragit slutsatsen att tekniken med ljudmätning verkar lovande vid ljudnivåer på bakgrundsljudet lägre än 70 dB. Detta värde kan jämföras med ljudnivån 60 dB som ungefär motsvarar ett samtal på 1 meters avstånd.

När material eller en kombination av olika material i väggar, tak och golv värms upp vid en brand skapas spänningar på grund av olika termisk utvidgning inom och mellan materialen. Spänningarna ökar successivt tills en avlastning sker, vilket ger

upphov till en akustisk emission. Den för termisk utvidgning typiska akustiska emissionen är ett kort ljud med en viss amplitud, varaktighet, frekvens och energi (se figur 1.5). Beroende på material och den tillförda värmen erhålls olika akustiska emissioner med frekvenser på upp till 500 Hz.

Antalet akustiska emissioner per minut vid uppvärmning varierar bland annat beroende på materialets egenskaper och den tillförda värmen. Generellt gäller för ett material att antalet akustiska emissioner per minut ökar ju fler inhomogeniteter som förekommer. För en bit trä med ett stort knastinnehall sker t ex fler akustiska emissioner per tidsenhet än för en knastfri träbit. I normala fall inträffar ett visst antal akustiska emissioner per minut i material, d v s bakgrundsljud, men antalet ökar vanligtvis markant då materialet upphettas vid en brand. Ett tillfälle då bakgrundsljudet kan vara störande är då ett plåttak värms upp av solen.



Figur 1.5 En akustisk emission som bildas då material upphettas

Genom att placera en akustisk sensor, mikrofon, på det upphettade materialet kan de akustiska emissionerna registreras. Beroende på materialets ljuddämpande förmåga kan de akustiska sensorerna placeras olika långt från uppvärmningszonen. Grosshandler och Braun (1993) anger ett avstånd på upp till tre meter från uppvärmningspunkten vid experiment med träbalkar. Detektering av brand med hjälp av akustiska emissioner är fortfarande i ett experimentstadium, men tekniken verkar lovande för detektering av dolda glödbränder i väggar.

### Exempel 1.1

Vilka brandsignaturer kan vara lämpliga att detektera för en

- a) bensinbrand utomhus?
- b) glödbrand i golvnivå inomhus?

### Lösning

a) Eftersom bensinbranden inträffar utomhus ansamlas inte brandgaserna utan försvinner ut i atmosfären. De signaturer som finns i brandgaserna blir därför svåra att detektera. Utomhus är bakgrundsljudet ofta högt, på grund av t ex vinden, och därför kan det bli svårt att detektera ljudet från branden. Den signatur som återstår är ljuset från branden som kan detekteras med en så kallad flamdetektor.

b) För en glödbrand är det inte lämpligt att detektera det ljus som sänds ut. Dessutom är brandgaserna oftast svala vilket medför att temperatur inte är en lämplig brandsignatur att detektera. Brandgaserna innehåller både gaser (bland annat mycket CO) och aerosoler (relativt stora partiklar). Lämpligen väljs därför en detektor som reagerar på CO eller en rökdetektor som är känslig för stora aerosolpartiklar. På grund av brandgasernas dåliga stigkraft kan det krävas att detektorerna placeras i golvnivå eller att ett samplande system används. I ett samplande system transporteras brandgaserna via ett rörsystem till en detektor (se kapitel 3.5). En annan signatur som kan vara lämplig att detektera är det ljud som alstras då material värms upp av branden, d v s akustiska emissioner.

**Svar**

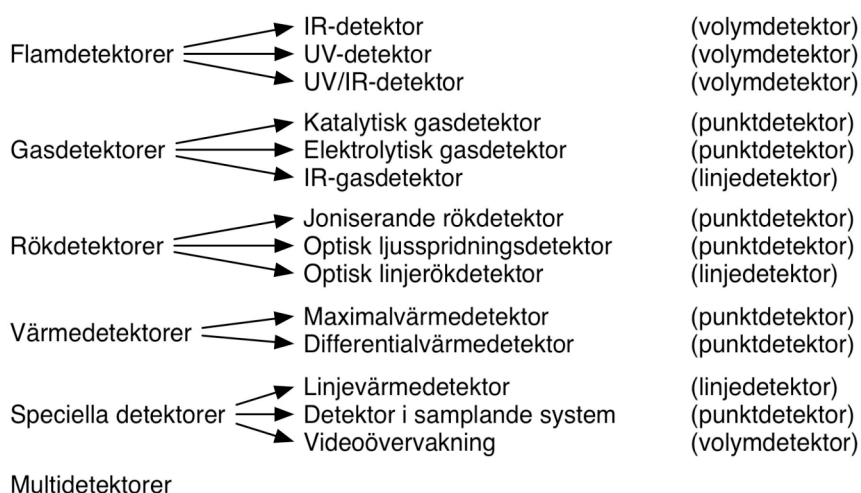
- a) De signaturer som kan vara lämpliga att detektera för bensenbranden utomhus är  
ljus – t ex den spektrala fördelningen
- b) De signaturer som kan vara lämpliga att detektera för glödbranden inomhus är  
gaser – t ex CO  
aerosoler – t ex de vätskedroppar som finns i brandgaserna  
ljud – akustiska emissioner



## 2 Detektorer

För att en brand ska kunna detekteras behövs en detektor som reagerar på någon eller några av de signaturer som alstras av branden. Det krävs dessutom att signaturerna är möjliga för detektorn att upptäcka i den givna situationen och att rätt detektor väljs med avseende på störkällor så att onödiga larm undviks.

I följande avsnitt beskrivs olika typer av detektorer med hänsyn till deras funktion och användning. Syftet är att läsaren, efter genomläsning av följande avsnitt, ska kunna avgöra vilken eller vilka detektorer som är lämpliga att använda i en given situation. Beskrivningen sker utifrån uppdelningen i olika detektortyper i figuren nedan (se figur 2.1).



Figur 2.1 Uppdelning i detektortyper

Detektortyperna kan i sin tur delas in i de tre detektorkategorierna punktdetektorer, linjedetektorer och volymdetektorer (se figur 2.2). Indelningen syftar till att beskriva hur insamlingen av brandsignaturer sker. Insamlingen kan även ske med hjälp av samplande system (se figur 2.2 och kapitel 3.5). För punktdetektorer gäller att detekteringen sker i punkter i det bevakade utrymmet och för linjedetektorer sker detekteringen längs en linje. Volymdetektorer övervakar en hel volym samtidigt och samplande system suger ut luft från det bevakade utrymmet till detektorn.



Figur 2.2 Principerna för punktdetektorer, linjedetektorer, volymdetektorer och samplande system. Detektorerna är grå kvadrater i bilden.

## 2.1 Flamdetektorer

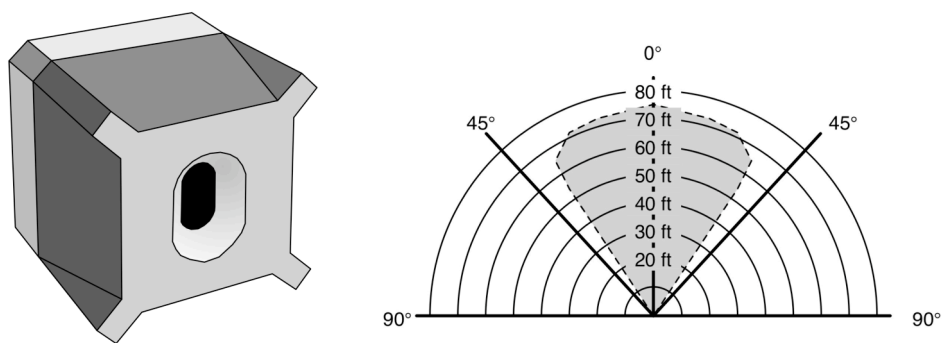
Flamdetektorer kan delas in i detektorer som reagerar på infrarött (IR), ultraviolett (UV) och en kombination av infrarött och ultraviolett ljus. Normalt tar detekteringen av en brand med en flamdetektor mycket kort tid och understiger i många fall en sekund. En förutsättning för att en brand ska upptäckas är att rätt flamdetektor väljs, d v s att detektorn reagerar på strålning i rätt våglängdsområde. Flamdetektorer kan bara användas till detektering av flambränder, men skillnaden mellan det emitterade ljuset från olika flambränder kan vara stor. Ytterligare en förutsättning för att en brand ska upptäckas är att detektorn ser branden, d v s att branden inte är skyddad eller ligger utanför detektorns synfält. Detektorns känslighet är störst i mitten och mindre i utkanterna av synfältet. Synvinkeln för en flamdetektor är vanligtvis kring  $90^\circ$  (se figur 2.3).

En flamdetektor har en lins som fokuserar inkommande strålning på en fotodetektor. Genom att välja olika material i fotodetektorn kan flamdetektorn göras känslig för strålning med olika våglängd.

Typiska situationer där det kan vara lämpligt att använda en flamdetektor är

- när det finns lättantändliga vätskor
- när det krävs en snabb detektering av flammor, t ex vid explosionsundertryckning
- när det är svårt att detektera brand på annat sätt, t ex vid bränder utomhus eller i stora lokaler

Hangarer, lastningsterminaler för petroleumprodukter, pumpstationer på pipelines, oljeraffinaderier och oljeplattformar är några exempel på platser där flamdetektorer ofta används.



Figur 2.3 Flamdetektor (vänster) och ett exempel på en flamdetektors synfält (höger)

### 2.1.1 IR-detektor

IR-detektorer kan vara antingen singelfrekvensdetektorer (*en. single frequency detector*) eller multispektrumdetektorer (*en. multi spectrum detector*). Den enklaste typen är singelfrekvensdetektorn som vanligtvis utformas så att den reagerar på en intensitetsökning för ljus inom ett smalt våglängdsområde nära  $4,3 \mu\text{m}$ . Inom detta område emitteras mycket strålning från koldioxid vid brand samtidigt som koldioxiden i atmosfären absorberar en stor del av solljuset. Detta medför att singelfrekvensdetektorn blir relativt okänslig för solljus samtidigt som flambränder där koldioxid bildas kan detekteras (Ampac Industries, 2002). Detektorn kan alltså inte upptäcka bränder där t ex metaller, ammoniak, väte eller svavel utgör bränsle, eftersom ingen koldioxid bildas i dessa fall.

Singelfrekvensdetektorn utformas i normala fall så att den bara reagerar då intensitetsökningen i våglängdsområdet fluktuerar inom ett visst intervall, vanligtvis mellan 0,5 till 15 Hz. För de flesta strålningskällor, t ex glödande järnföremål eller värmeelement, gäller nämligen att den utsända strålningen, svartkroppstrålning, inte fluktuerar med lika hög frekvens som strålningen från flammor. Genom att utforma detektorn så att den bara reagerar vid vissa fluktuationer kan risken för falsklarm minska, men trots detta är singelfrekvensdetektorer ofta mycket känsliga för andra strålande föremål. Ibland kan även solljus som reflekteras från en krusad vattenyta orsaka falsklarm eftersom det reflekterade ljuset fluktuerar och därmed liknar det ljus som avges från flammor (Scott/Bacharach Gas Detection Products, 2002).

För att ytterligare minska risken för falsklarm på grund av svartkroppstrålning kan IR-detektorn utformas som en multispektrumdetektor. Denna är inte bara känslig för intensitetsökningar nära våglängden 4,3  $\mu\text{m}$ , utan tittar även på intensitetsökningar i andra våglängdsområden. Dessa ytterligare områden väljs lämpligen så att en brand inte nämnvärt bidrar till en ökande intensitet medan en strålande svartkropp gör det. Genom att intensiteterna i de olika områdena jämförs kan detektorn urskilja en brand från ett annat strålande föremål. Multispektrumdetektorn är långsammare än singelfrekvensdetektorn, som i vissa fall kan detektera en brand på ner till 30 ms (Ampac Industries, 2002).

IR-detektorer kan vara mycket känsliga för vatten och is på linsen vilket kan förhindra detektion. Därför bör de skyddas mot olämplig klimatpåverkan. Detektorerna är däremot ganska okänsliga för damm och smuts. IR-detektorer kan ofta upptäcka en brand på ganska långt avstånd. Det är i detta sammanhang viktigt att påpeka att stora bränder kan upptäckas på större avstånd än små bränder. Dessutom är känsligheten i utkanten av detektorns synfält sämre än i mitten av synfältet. I en tabell nedan återges värden på maximalt detektionsavstånd för en multispektrumdetektor (se tabell 2.3). Värdena gäller för en specifik multispektrumdetektor och det maximala avståndet gäller mitt i detektorns synfält. Data för andra detektorer kan ofta erhållas från tillverkaren. Fördelar och nackdelar med IR-detektorer återges i två tabeller nedan (se tabell 2.1 och 2.2).

Tabell 2.1 Fördelar och nackdelar med en singelfrekvensdetektor

SINGELFREKVENSDETEKTOR	
FÖRDELAR	NACKDELAR
+ ganska okänslig för damm och smuts	– detekterar bara bränder som bildar CO <sub>2</sub>
+ snabb, kring 30 ms för vissa fabrikat	– strålande föremål kan orsaka falsklarm
+ relativt okänslig för solstrålning	– solljus som reflekteras från en krusad vattenyta kan orsaka falsklarm
+ okänslig för svetsning, blixtar, röntgenstrålning, gnistor och ljusbågar (på väldigt korta avstånd kan dock den avgivna IR-strålningen orsaka falsklarm)	– vatten och is på linsen kan omöjliggöra detektion



Tabell 2.2 Fördelar och nackdelar med en multispektrumdetektor

MULTISPEKTRUMDETEKTOR	
FÖRDELAR	NACKDELAR
+ ganska okänslig för damm och smuts	– detekterar bara bränder som bildar CO <sub>2</sub>
+ okänslig för solstrålning	– vatten och is på linsen kan omöjliggöra detektion
+ okänslig för svetsning, blixtar, röntgenstrålning, gnistor och ljusbågar	– längre detektionstid än för singelfrekvensdetektorn
+ mindre känslig för svartkroppstrålning än singelfrekvensdetektorn	

Tabell 2.3 Exempel på maximalt detektionsavstånd för en multispektrumdetektor för olika ölbränder med en area på ungefär 0,1 m<sup>2</sup>

bränsle	ungefärlig effekt (kW)	maximalt avstånd till detektion (m)
bensin	100-150	15
diesel	100-150	7,5
heptan	100-150	15
JP-4	100-150	15
etanol	30-50	10

### 2.1.2 UV-detektor

En UV-detektor utformas vanligtvis så att den reagerar på strålning i våglängdsområdet 180 till 250 nm (Ampac Industries, 2002). I detta område strålar fria radikaler som bildas vid alla flambränder och detektorn kan därför upptäcka bränder i de flesta material. Strålningen från solen i våglängdsområdet 180 till 250 nm är försumbar vid marknivå på grund av atmosfärens absorption, vilket medför att UV-detektorer inte är känsliga för solljus. (Vissa detektormodeller, vilka reagerar på strålning i ett större intervall, kan vara känsliga för solstrålning.) Detektorerna är däremot mycket känsliga för svetsning, gnistor, ljusbågar och blixtnedslag, eftersom det vid dessa företeelser bildas strålände fria radikaler. En UV-detektor kan i värsta fall aktiveras av svetsning på ett avstånd av 3 km.

Vissa ämnen, t ex aceton, etanol och toluen, absorberar UV-strålning och förhindrar på så sätt strålningen från att nå detektorn. Även brandgaser absorberar UV-strålning och därför får en UV-detektor aldrig riktas rakt ner mot branden, utan måste vinklas så att branden inte skymms av brandgaserna.

UV-detektorer är mycket snabba och kan i vissa fall detektera bränder på mindre än 10 ms. Detektorerna kan upptäcka en brand på ganska långt avstånd. Det är i detta sammanhang viktigt att påpeka att stora bränder kan upptäckas på större avstånd än små bränder. Dessutom är känsligheten i utkanten av detektorns synfält sämre än i mitten. I en tabell nedan återges värden på maximalt detektionsavstånd för en UV-detektor (se tabell 2.5). Värdena gäller för en specifik detektor och det maximala avståndet gäller mitt i detektorns synfält. Data för andra detektorer kan ofta erhållas från tillverkaren. Fördelar och nackdelar med UV-detektorer återges i tabellen nedan (se tabell 2.4).

Tabell 2.4 Fördelar och nackdelar med en UV-detektor

UV-DETEKTOR	
FÖRDELAR	NACKDELAR
+ kan detektera många olika typer av flambränder	– känslig för svetsning, blixtar, röntgenstrålning, gnistor och ljusbågar
+ mycket snabb, mindre än 10 ms för vissa fabrikat	– vissa gaser kan blockera UV-strålning och förhindra detektion
+ okänslig för solstrålning (gäller de flesta fabrikat)	– brandgaser blockerar UV-strålning (medför att detektorn måste placeras så att branden inte skymms av brandgaser)

Tabell 2.5 Exempel på maximalt detektionsavstånd för en UV-detektor för olika pölbränder med en area på ungefär 0,1 m<sup>2</sup>

bränsle	ungefärlig effekt (kW)	maximalt avstånd till detektion (m)
bensin	100-150	15
diesel	100-150	11
heptan	100-150	15
etanol	30-50	11

### 2.1.3 UV/IR-detektor

En UV/IR-detektor består av en IR-detektor, vanligen en singelfrekvensdetektor, och en UV-detektor som båda måste aktiveras för att detektorn ska aktivera. Detta medför att risken för falsklarm på grund av t ex svetsning och svartkroppsstrålning minskas avsevärt, men innebär också att bara bränder där CO<sub>2</sub> bildas kan detekteras. Dessutom gäller att vissa ämnen och brandgaser samt vatten och is på linsen kan förhindra detektion. Fördelar och nackdelar med UV/IR-detektorer återges i tabellen nedan (se tabell 2.6).

Tabell 2.6 Fördelar och nackdelar med en UV/IR-detektor

UV/IR-DETEKTOR	
FÖRDELAR	NACKDELAR
+ relativt snabb, mindre än 500 ms för vissa fabrikat	– detekterar bara bränder som bildar CO <sub>2</sub>
+ okänslig för solstrålning	– vissa gaser kan blockera UV-strålning och förhindra detektion
+ okänslig för svetsning, blixtar, röntgenstrålning, gnistor och ljusbågar	– rök blockerar UV-strålning (medför att detektorn måste placeras så att branden inte skymms av brandgaser)
+ okänslig för svartkroppstrålning	– vatten och is på linsen kan omöjliggöra detektion
+ totalt sett få falsklarm	

## 2.2 Gasdetektorer

Gasdetektorer används främst till att upptäcka höga koncentrationer av brännbara gaser innan brand eller explosion inträffar. Vissa gasdetektorer kan även användas till att upptäcka förbränningsprodukter från bränder, t ex CO eller HC, men då krävs att de kan detektera mycket låga koncentrationer, nämligen koncentrationer mellan 10 och 100 ppm. Gasdetektorer kan delas in i katalytiska, elektrokemiska och infraröda (IR) gasdetektorer.

### 2.2.1 Katalytisk gasdetektor

En katalytisk gasdetektor används till att detektera brännbara gaser nära brännbarhetsgränsen, d v s vid 1/8 till 1/4 av undre brännbarhetsgränsen. Detektorn består av ett aktivt katalytiskt element i en elektrisk krets, en så kallad Wheatstone-brygga. Då brännbara gaser kommer i kontakt med elementet ändras resistansen och en liten spänning skapas i kretsen varpå detektorn aktiveras.

Den katalytiska gasdetektorn är billig och kan detektera många olika brännbara gaser. Nackdelarna är att detektorn måste kalibreras ofta, att den förbrukas med tiden och att den lätt kan bli förorenad och förlora sin funktion. Katalytiska gasdetektorer är inte ett bra alternativ för detektering av brand men fungerar ofta utmärkt till detektering av brännbara gaser. Fördelar och nackdelar med katalytiska gasdetektorer återges i tabellen nedan (se tabell 2.7).

Tabell 2.7 Fördelar och nackdelar med en katalytisk gasdetektor

KATALYTISK GASDETEKTOR	
FÖRDELAR	NACKDELAR
+ billiga	– inte lämpliga till detektering av brand
+ kan detektera många olika brännbara gaser	– måste kalibreras ofta
	– förbrukas med tiden
	– kan bli förorenade

### 2.2.2 Elektrokemisk gasdetektor

En elektrokemisk gasdetektor är mycket känslig och kan upptäcka gaskoncentrationer på några enstaka ppm. Detektorn består av elektroder som är placerade i en elektrolyt. När gaser transporteras in i detektorn sker en elektrokemisk reaktion vilket skapar en liten elektrisk ström som är proportionell mot gaskoncentrationen. Elektrokemiska gasdetektorer förorenas lätt och förbrukas med tiden, vilket gör att de inte alltid är lämpliga till detektering av brand. Det kan innebära en hel del arbete att byta alla detektorer i en byggnad vart femte år. Ibland kan det dock vara befogat att ha elektrokemiska gasdetektorer i en byggnad. Fördelar och nackdelar med elektrokemiska gasdetektorer återges i tabellen nedan (se tabell 2.8).

Tabell 2.8 Fördelar och nackdelar med en elektrokemisk gasdetektor

ELEKTROKEMISK GASDETEKTOR	
FÖRDELAR	NACKDELAR
+ mycket känsliga (krävs bara några enstaka ppm)	– förbrukas med tiden – kan bli förorenade

### 2.2.3 IR-gasdetektor

IR-gasdetektorer används till detektering av kolväten vid koncentrationer nära undre brännbarhetsgränsen. Detektorn fungerar som en optisk linjerökdetektor (se kapitel 2.3.3) där ljussändaren sänder ut infrarött ljus som absorberas av gaserna. Fördelarna med IR-gasdetektorn är att den kan detektera många olika sorters kolväten samt att den är hållbar och kräver lite underhåll. IR-gasdetektorn kan i princip också användas till detektering av brand eftersom partiklar i brandgaser blockerar infrarött ljus. Det är dock både billigare och bättre att använda en optisk linjerökdetektor. Fördelar och nackdelar med IR-gasdetektorer återges i tabellen nedan (se tabell 2.9).

Tabell 2.9 Fördelar och nackdelar med en IR-gasdetektor

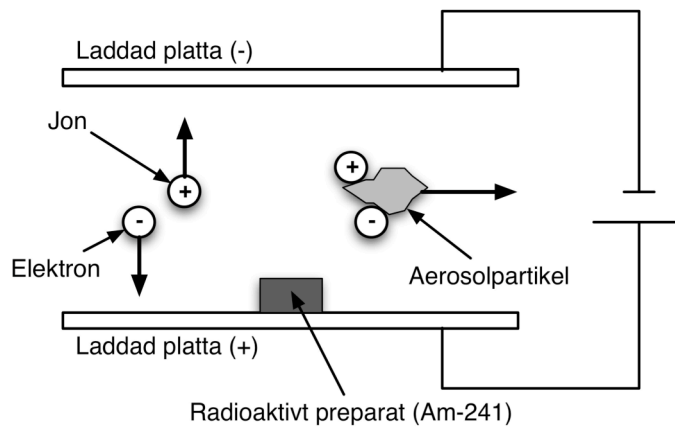
IR-GASDETEKTOR	
FÖRDELAR	NACKDELAR
+ kan detektera många olika sorters kolväten + hållbar + kräver lite underhåll	– kan i princip användas till detektering av brand, men en optisk linjerökdetektor är ett bättre alternativ

## 2.3 Rökdetektorer

Rökdetektorer är den mest använda typen av branddetektor och de kan användas i de flesta situationer. Eftersom rökdetektorer reagerar på partiklar i luften (aerosoler) kan de oftast inte användas i dammiga och smutsiga miljöer där partikelkoncentrationen i luften är hög.

### 2.3.1 Joniserande rökdetektor

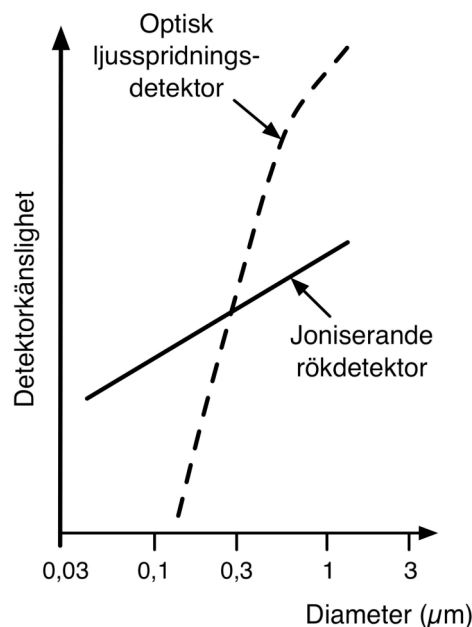
En joniserande rökdetektor har en joniseringskammare som är öppen mot omgivande luft. Kammaren består av två metallplattor, som är kopplade till plus- respektive minuspolen på en strömkälla med likström, samt ett radioaktivt preparat (se figur 2.4 och figur 2.6). Vanligtvis används en liten mängd, ungefär 1/5000 gram, Americium-241 som sänder ut joniserande  $\alpha$ -partiklar. Då  $\alpha$ -partiklarna träffar luftens molekyler joniserar de och det bildas negativa elektroner och positiva joner. Potentialskillnaden mellan plattorna gör att elektronerna transporteras till den positivt laddade plattan där de upptas samtidigt som jonerna transporteras till den negativt laddade plattan där de upptar en elektron. Detta ger upphov till en svag ström, ca  $10^{-11}$  A, i kretsen.



Figur 2.4 En joniserande rökdetektors funktion

När brandgaser rör sig mellan plattorna i joniseringskammaren fastnar joner och elektroner på de partiklar som finns i gaserna. Partiklarna har så stor massa att de passerar genom kammaren utan att dras till någon av plattorna och transporterar på så sätt bort elektroner och joner. Detta medför en minskning av strömmen i kretsen. När strömmen minskat under ett fastställt värde, kallat brandlarmsnivå, aktiverar detektorn.

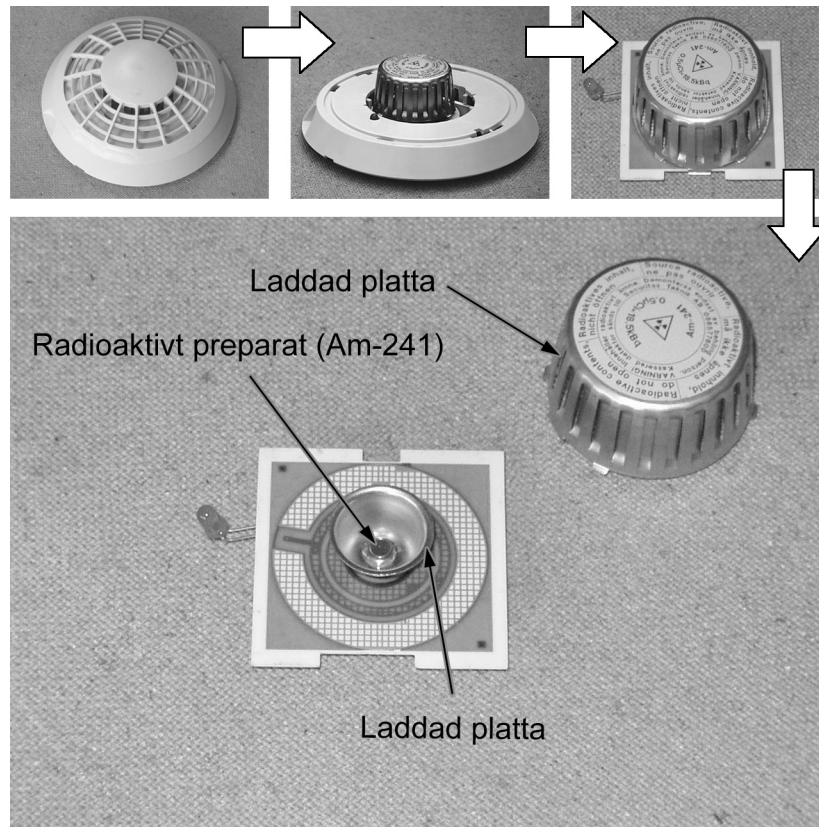
Joniserande rökdetektorer är mest känsliga för höga koncentrationer av små aerosolpartiklar, vilket produceras vid flambärbränder i t ex papper och trä, och är mindre känsliga för små koncentrationer av stora aerosolpartiklar, vilket bildas vid glödbärbränder (Mullholland, 1995). Känsligheten för en joniserande rökdetektor är approximativt proportionell mot partiklarnas diameter (se figur 2.5).



Figur 2.5 Känslighetens beroende av aerosolpartiklarnas storlek för en joniserande rökdetektorer och en optisk ljusspridningsdetektor

Figuren ovan (se figur 2.5), vilken bygger på data som presenterats av Mullholland (1995), visar känsligheten för en joniserande rökdetektor och en optisk ljusspridningsdetektor. I figuren ses att känsligheten är högre för den joniserande

detektorn än för den optiska ljusspridningsdetektorn för partiklar med en diameter som är mindre än ca  $0,3 \mu\text{m}$ , men lägre för större partiklar. För bränder som genererar små partiklar, t ex flambränder i papper, är alltså den joniserande detektorn bättre, medan den optiska ljusspridningsdetektorn är att föredra vid bränder som genererar stora vätskedroppar, t ex glödbränder.



Figur 2.6 En joniserande rökdetektor som sönderdelas  
(I denna detektor utgörs de två laddade plattorna av metalltratten, vilken är monterad på kretskortet, och den skyddande kåpan. Det radioaktiva preparatet är monterat i botten på tratten.)

Vid en brand kan partikelfördelningen variera beroende på bland annat temperaturen, typ av bränsle och tillgång till syre. Partikelfördelningen i brandgaserna varierar även med tiden och med avståndet från branden, eftersom det sker en koagulering av partiklarna, d v s brandgaserna åldras. Koagulering innebär att partiklarna fastnar i varandra och bildar större enheter. Om det antas att koaguleringen sker sfäriskt kan det visas att den joniserande rökdetektorns känslighet minskar ju mer brandgaserna åldras (Holmstedt, Magnusson & Thomas, 1987).

Joniserande rökdetektorer är ofta mycket billiga och pålitliga, vilket har gjort dem populära som brandvarnare i hemmet. Risk för falsklarm kan förekomma om detektorn utsätts för höga vindhastigheter ( $>5 \text{ m/s}$ ), doftsprayer, hög luftfuktighet, kraftiga elektriska fält och olika typer av rökutveckling (Brandlarmsystemet – det upptäckande brandskyddet, 1999). På senare tid har användningen av joniserande rökdetektorer bland företag minskat på grund av krav på återvinning av det radioaktiva materialet då detektorerna slängs. Vissa larminstallatörer har av denna anledning slutat installera joniserande rökdetektorer. För privatpersoner gäller inte kraven på återvinning, utan en joniserande rökdetektor får oftast slängas bland

hushållssoporna. Fördelar och nackdelar med joniserande rökdetektorer återges i tabellen nedan (se tabell 2.10).

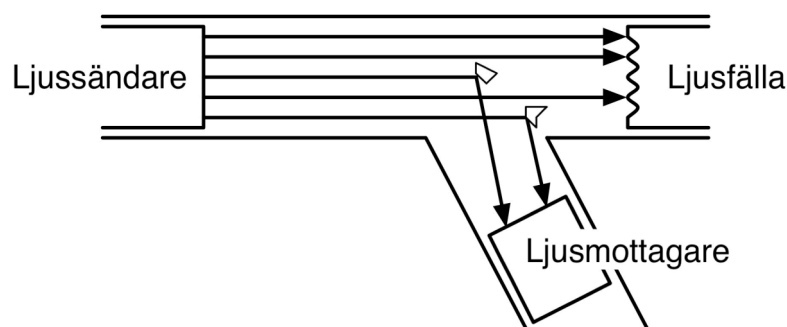
Tabell 2.10 Fördelar och nackdelar med en joniserande rökdetektor

JONISERANDE RÖKDETEKTOR	
FÖRDELAR	NACKDELAR
+ billiga	– hantering av radioaktiva preparat
+ mycket känslig för små partiklar, vilka kan bildas vid flambränder	– mindre känslig för stora partiklar, vilka bildas vid t ex glödbränder

### 2.3.2 Optisk ljusspridningsdetektor

En optisk ljusspridningsdetektor, som vanligtvis kallas optisk rökdetektor, består av en ljussändare och en mottagare som är placerade i vinkel mot varandra (se figur 2.7 och figur 2.8). I normala fall, utan brandgaser, fångas sändarens strålar upp av en ljusfälla i detektorn och inget ljus når mottagaren. Ljusfällan är utformad som en labyrinth med många mörka vrån och vinklar som förhindrar reflektion av ljuset. När brandgaser strömmar genom detektorn reflekteras en viss del av ljuset från sändaren via partiklar och träffar mottagaren. Vid en viss infallande ljusintensitet aktiverar detektorn. Det är viktigt att detektorn är utformad så att inget ljus utifrån träffar mottagaren.

Optiska ljusspridningsdetektorer är mest känsliga för stora partiklar, som bildas vid t ex en glödbrand, och känsligheten är approximativt proportionell mot partiklarnas diameter upphöjt till sex (Holmstedt, Magnusson & Thomas, 1987). Förutom storleken på partiklarna inverkar även deras färg på känsligheten. För optiska detektorer gäller att ljusa brandgaser lättare detekteras än mörka, eftersom aerosolpartiklarna i mörka brandgaser reflekterar en mindre andel av det infallande ljuset från ljussändaren än vad partiklarna i ljusa brandgaser gör.



Figur 2.7 En optisk ljusspridningsdetektors funktion

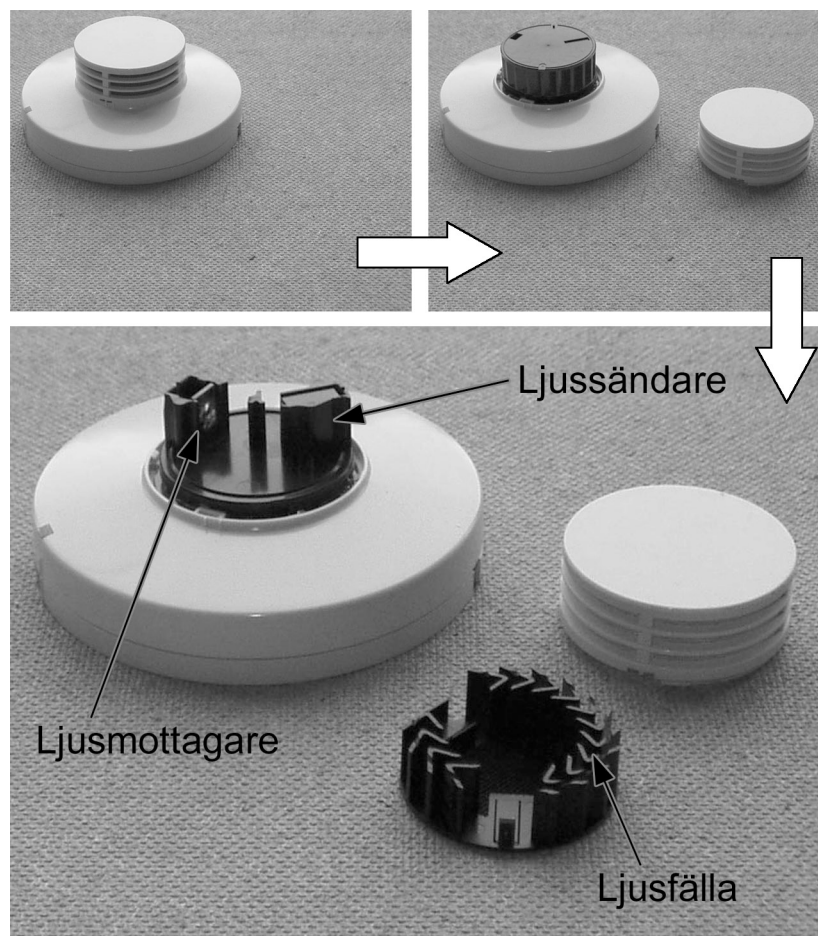
Med tiden sker en koagulering av partiklarna i brandgaser, vilket medför färre men större partiklar. Om det antas att koaguleringen sker sfäriskt kan det visas att den optiska ljusspridningsdetektorns känslighet ökar ju mer brandgaserna åldras (Holmstedt, Magnusson & Thomas, 1987).

Optiska ljusspridningsdetektorer används ofta i samplande system (se kapitel 3.5) och vanligtvis utnyttjas detektorer med laserljus (kapitel 2.5.2). Denna typ av ljusspridningsdetektor är mycket känslig, men i gengäld dyrare än andra typer av

ljusspridningsdetektorer. Fördelar och nackdelar med optiska ljusspridningsdetektorer återges i tabellen nedan (se tabell 2.11).

Tabell 2.11 Fördelar och nackdelar med en optisk ljusspridningsdetektor

OPTISK LJUSSPRIDNINGSDETEKTOR	
FÖRDELAR	NACKDELAR
+ känslig för stora partiklar, vilka bildas vid t ex glödbärare	– mindre känslig för små partiklar, vilka kan bildas vid flambränder
+ känsligheten ökar ju mer röken åldras	



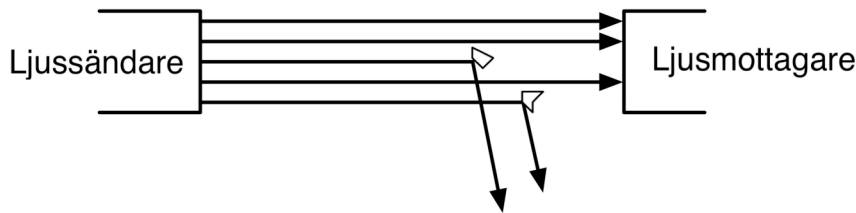
Figur 2.8 Optisk ljusspridningsdetektor som sönderdelas

### 2.3.3 Optisk linjerökdetektor

En optisk linjerökdetektor består av en ljussändare, som ofta sänder ut infrarött ljus, och en mottagare, som mäter det inkommande ljusets intensitet (se figur 2.9 och figur 2.10). I normala fall, utan brandgaser, träffar ljuset från sändaren mottagaren med en viss ljusintensitet. När brandgaser fyller utrymmet mellan sändare och mottagare blockeras en del av ljuset av partiklar i brandgaserna, vilket medför en minskning av intensiteten. Vid en viss minskning aktiverar detektorn. Detektering av brandgaser med en optisk linjerökdetektor kan ske längs en 10 till 100 meter lång sträcka, vilket gör detektorn idealisk för långa korridorer, stora hallar och höga atrier. Ljusstrålen kan antingen gå direkt från ljussändare till mottagare eller reflekteras via

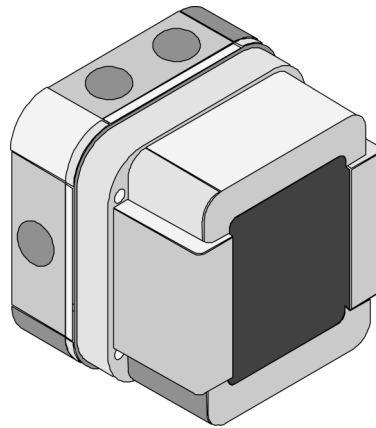


reflektorer. Optiska linjerökdetektorer kan även utformas som punktdetektorer, med sändare och mottagare monterade på ett förutbestämt avstånd från varandra. Denna typ av används ibland i ventilationskanaler.



Figur 2.9 En optisk linjerökdetektors funktion

Linjerökdetektorn kan detektera både ljusa och mörka brandgaser och känsligheten är relativt oberoende av brandgasernas åldrande (Holmstedt, Magnusson & Thomas, 1987). Eftersom detektorn mäter skillnader i ljusintensiteten är den mindre känslig än en optisk ljusspridningsdetektor, d v s det krävs större andel partiklar i brandgaserna. En fördel är dock att detektorn kan täcka stora ytor och långa sträckor.



Figur 2.10 En optisk linjerökdetektor<sup>1</sup>

En optisk linjerökdetektor kan behöva skyddas mot yttre ljus så att mottagaren inte belyses med annat ljus än det som kommer från sändaren. Ljuskänsligheten är viktig att ta hänsyn till vid användning av optiska linjerökdetektorer i glasade atrier.

Damm kan i vissa fall ansamlas på linjerökdetektorns mottagare och sändare, vilket medför att ljusintensiteten dämpas. För att undvika falsklarm utformas därför ofta linjerökdetektorer så att de regelbundet mäter dämpningen och anpassar larmnivån efter nedsmutsningsgraden. Vid en viss intensitetsdämpning avger detektorn en felsignal som meddelar att detektorn måste rengöras.

Optiska linjerökdetektorer utformas vanligen så att de avger felsignal om fördunklingen uppgår till mellan ca 94 och 100 % under en sekund, vilket förhindrar onödiga larm på grund av att ljusstrålen bryts. Nackdelen är att detektorn ibland kan avge felsignal istället för larmsignal vid extremt snabb brandgasutveckling eller hastig brandgasfyllnad av det bevakade utrymmet. Detta måste beaktas vid projektering av system med optiska linjerökdetektorer (Brandlarmsystemet – det upptäckande brandskyddet, 1999).

<sup>1</sup> Clipart från Cerberus (1998)

Typiska lokaler där det kan vara lämpligt att använda optiska linjerökdetektorer är

- korridorer
- stora lokaler, t ex sporthallar och produktionsanläggningar
- höga atrier
- utrymmen där damm kan förhindra användningen av joniserande eller optiska rökdetektorer, t ex garage

Fördelar och nackdelar med optiska linjerökdetektorer återges i tabellen nedan (se tabell 2.12).

Tabell 2.12 Fördelar och nackdelar med en optisk linjerökdetektor

OPTISK LINJERÖKDETEKTOR	
FÖRDELAR	NACKDELAR
+ en detektor kan täcka långa sträckor	– mindre känslig än andra rökdetektorer – känslig för ljus från omgivningen

## 2.4 Värmedetektorer

Värmedetektorer kan delas in i maximalvärmedetektorer som larmar vid en viss temperatur, t ex 60°C, och differentialvärmedetektorer som larmar vid en viss temperaturstegring per tidsenhet, t ex 4°C per minut. Det finns även kombinationer av differential- och maximalvärmedetektorer som reagerar vid antingen en viss temperaturstegring eller en viss temperatur beroende på vilket som inträffar först. I en värmedetektor finns alltid ett eller flera känselement som värms upp då varma brandgaser strömmar förbi. Känselementet har en massa och en specifik värmekapacitet, vilket medför en termisk tröghet vid uppvärmningen. Praktiskt innebär termisk tröghet att känselementet inte antar brandgasernas temperatur ögonblickligen utan att det värms upp successivt. Trögheten kan uttryckas med ett RTI-värde (*en. Response Time Index*) som bestäms experimentellt (se kapitel 6.1.1). RTI-värdet kan variera mellan 1 m<sup>1/2</sup>s<sup>1/2</sup> för ett termoelement till ungefär 400 m<sup>1/2</sup>s<sup>1/2</sup> för en sprinkler med glasbulb av äldre modell. (Sprinkler aktiveras då glasbulben, d v s känselementet, uppnått en viss temperatur och fungerar därför som en maximalvärmedetektor.) Känselementet i en värmedetektor är i kontakt med övriga delar av detektorn, vilket medför att en del värme transporteras bort från elementet via värmeledning. Värmeledningen påverkar uppvärmningen av känselementet och i analyser och beräkningar av aktiveringstider tas ibland hänsyn till värmeledningen genom att införa en så kallad C-faktor (se kapitel 6.1.2). Även C-faktorn bestäms experimentellt.

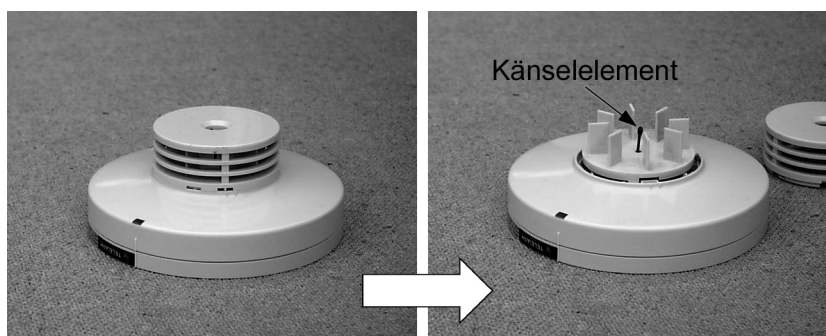
För en maximalvärmedetektor utgörs känselementet av t ex ett smältbleck, en termistor eller en bimetall och aktiveringstemperaturen för detektorn ska ligga mellan 20 till 35 °C över högsta normala rumstemperatur (Svenska Brandförsvärsföreningen, 2001). Differentialvärmedetektorer består ofta av två termoelement eller två bimetaller som är monterade så att den ena utsätts för brandgaser medan den andra är isolerad. Vid en viss skillnad i temperatur mellan de två termoelementen eller bimetallerna aktiverar detektorn, vilket normalt sker vid en temperaturstegring per tidsenhet på 3 till 10°C per minut. Differentialvärmedetektorer brukar reagera snabbare än maximalvärmedetektorer, eftersom lämplig temperaturstegring per

tidsenhet ofta erhålls innan en hög temperatur uppnås. Den bästa varianten av värmedetektor är kombinationen av differential- och maximalvärmedetektor, eftersom den reagerar snabbt tack vare differentialfunktionen samtidigt som den aktiveras vid en viss temperatur om temperaturstegringen är väldigt långsam.

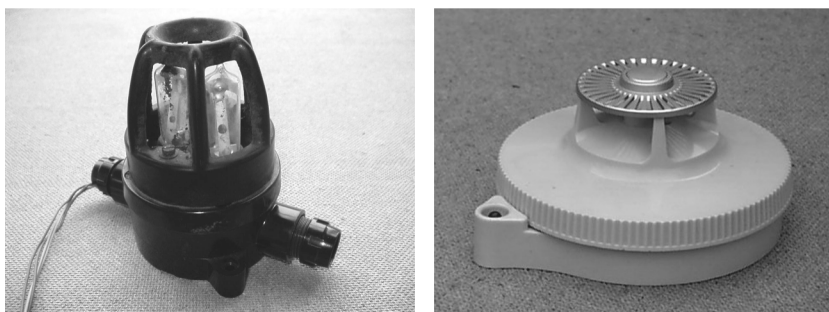
Värmedetektorer är i många fall de detektorer som upptäcker en brand sist, men falsklarmsfrekvensen är i gengäld mycket låg. Typiska situationer där det kan vara lämpligt att använda värmedetektorer är

- inomhus där det finns mycket störkällor som t ex damm eller cigarettrök.
- inomhus där det finns brandfarliga vätskor, t ex metanol, som brinner under stor värmeutveckling utan att utveckla mycket sot.

I figurerna nedan visas en värmedetektor som sönderdelas (se figur 2.11) och två detektorer av äldre modell (se figur 2.12). Fördelar och nackdelar med värmedetektorer återges i tabellen nedan (se tabell 2.13).



Figur 3.11 Värmedetektor som sönderdelas.



Figur 3.12 Två värmedetektorer av äldre modell

Tabell 2.13 Fördelar och nackdelar med en värmedetektor.

MAXIMAL- OCH DIFFERENTIALVÄRMEDETEKTOR	
FÖRDELAR	NACKDELAR
+ okänslig för störkällor, d v s låg falsklarmsfrekvens	– långsam, d v s reagerar sent – ofta omöjligt att upptäcka en glödbrand, p g a låg temperatur på brandgaserna

## 2.5 Speciella detektorer

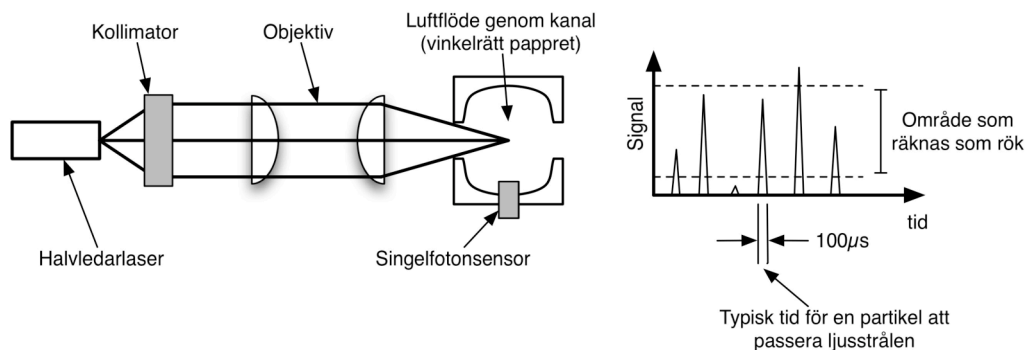
### 2.5.1 Linjevärmedetektor

Bränder i väg- och järnvägstunnlar orsakar ofta stora katastrofer på grund av dåliga utrymningsmöjligheter, långa avstånd för räddningstjänsten och dålig syretillgång. Dessutom förekommer ofta mycket damm och avgaser vilket ställer höga krav på detektorer för att undvika falsklarm. Linjevärmedetektorer mäter temperaturförändringar längs en lång slinga och har visat sig vara lämpliga som branddetektorer i tunnlar. Tidigare användes främst linjevärmedetektorer med gasfyllda (pneumatiska) rör. Vid en brand hettas gaserna i röret upp, vilket ger upphov till en tryckökning i systemet varpå detektorn larmar.

På senare tid har utvecklingen inom fiberoptiken lett till fiberoptiska linjevärmedetektorer. Dessa består av en eller flera inkapslade glasfibertrådar samt en laser som sänder ljus genom fibertråden. Vid en brand värms glasfibertrådarna upp vilket orsakar små förändringar i materialets ljusbrytande egenskaper. Genom att en ljusmottagare övervakar laserljuset kan temperaturförändringarna i glasfibertråden upptäckas. Dagens fiberoptiska linjevärmedetektorer kan detektera en brand längs en slinga på upp till flera kilometer och kan dessutom bestämma uppvärmningspunktens placering med god noggrannhet.

### 2.5.2 Detektorer i samplande system

I samplande system används ofta speciella optiska ljusspridningsdetektorer där ljuskällan består av en laser (Cerberus, 1998). Eftersom laserljus har en betydligt högre intensitet än ljus från en vanlig ljuskälla kommer även den på partiklar reflekterade intensiteten att vara betydligt högre. Detta medför att lägre koncentrationer av aerosolpartiklar kan detekteras, d v s detektorn blir känsligare än en vanlig optisk ljusspridningsdetektor.



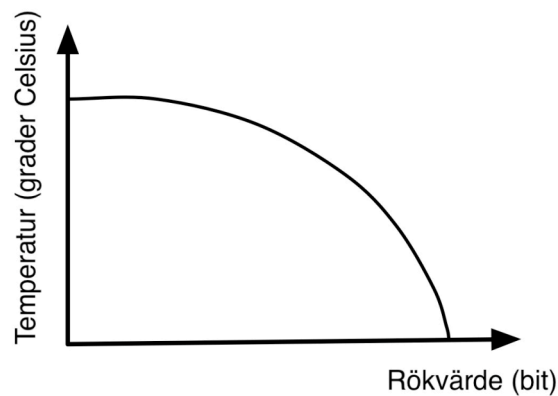
Figur 2.13 Optisk linjerökdetektor som utnyttjar laserljus och som ofta används i samplande system. Diagrammet visar ett exempel på de signaler som genereras då partiklar passerar genom detektorn.

Ett exempel på en optisk ljusspridningsdetektor som används i samplande system, visas i figuren över (se figur 2.13). Laserljuset i detektorn fokuseras till en stråle med diametern  $100\ \mu\text{m}$  i detektionsområdet. När enstaka partiklar passerar genom strålen reflekterar de en viss ljusintensitet till en singelfotonsensor. Den reflekterade intensiteten beror bland annat på partiklarnas storlek och detektorn kan därför utformas så att den reagerar på partiklar inom ett visst storleksintervall. Partikelkoncentrationen kan bestämmas genom räkning av antalet observerade

partiklar med en storleksfördelning som är typisk för partiklar som bildas vid bränder (Cerberus, 1998).

### 2.5.3 Multidetektorer

En multidetektor är en kombination av två eller flera olika detektorer, t ex en kombinerad optisk ljusspridningsdetektor och differentialvärmedetektor. Multidetektorer förses ofta med så kallade algoritmer så att detektorn larmar vid en viss kombination av signaler från de två olika detektorkomponenterna (se figur 2.14). Algoritmer utformas så att störkällor inte ger upphov till larm medan verkliga bränder gör det. Multidetektorer är därför ofta mindre känsliga för störningar än andra detektorer.



Figur 2.14 Exempel på en algoritm som används av en multidetektor

### 3 Brandlarmsystemet

Ett brandlarmsystem, vilket även kallas brandlarmanläggning, har till uppgift att upptäcka bränder i ett tidigt skede och att vidta nödvändiga åtgärder för att minska konsekvenserna av bränderna. Dessutom bör brandlarmsystemet utformas så att onödiga larm undviks. Vad som menas med onödiga larm kan variera. För räddningstjänsten är ofta ett larm onödigt om det inte finns något behov av räddningstjänst, men för ett företag kan ett onödigt larm istället vara när den utlösande händelsen inte utgör en brandrisk. Ett exempel kan vara när en hantverkare utför svetsning i ett objekt utan tillstånd och aktiverar brandlarmet. För det aktuella företaget kan det då vara ett nödvändigt larm eftersom svetsningen utgör en otillåten brandrisk, men för räddningstjänsten som kommer till objektet kan larmet vara onödigt eftersom det inte finns någon brand att släcka.

Brandlarmsystem kan utformas med larmöverföring som överför brandlarm till t ex räddningstjänsten. I regelverket SBF 110:6, Regler för automatisk brandlarmanläggning, finns krav på överföring av larm till räddningstjänst eller ständigt bemannad plats varifrån räddningstjänsten kan larmas (Svenska Brandförsvärsföreningen, 2001). Enligt bygglagstiftningen måste vårdanläggningar, bostäder för alternativt boende och andra lokaler där tidig indikering av brand krävs utrustas med brandlarmsystem med överföring till ständigt bemannad plats (Boverket, 2006). Brandlarmsystem kan även utrustas med utrymningslarm, som är en installation som på något sätt meddelar personer i byggnaden att de ska utrymma. Utrymningslarm är krav enligt bygglagstiftningen för hotell och samlingslokaler (Boverket, 2006).

Principuppbyggnaden för ett brandlarmsystem med dess olika komponenter visas i figuren nedan (se figur 3.1). Beskrivningen av systemets delar nedan bygger i stort på regelverket SBF 110:6 (Svenska Brandförsvärsföreningen, 2001).

Centralapparaten utgör kärnan i det automatiska brandlarmsystemet och fungerar som samordnare mellan de olika komponenterna. Normalt innehåller centralapparaten övervaknings-, indikerings-, larmfördelnings och manövreringsfunktioner.

Branddetektorer i ett brandlarmsystem reagerar på signaturer från branden och sänder iväg information till centralapparaten. Detektorer kan delas in i de fyra huvudgrupperna flam-, gas-, rök- och värmedetektorer (se kapitel 2).

Larmknappar används till aktivering av brandlarm vid manuell detektering av en brand, d v s då branden upptäcks av någon. En intryckning av en larmknapp förknippas med hög sannolikhet för brand och medför ofta direkt överföring av brandlarm till räddningstjänsten och/eller omedelbar aktivering av utrymningslarm.

Strömförsörjningen till ett brandlarmsystem kan delas in i två huvudenheter

- Laddningslikriktare eller nätaggregat som utgör ordinarie strömförsörjning då nätspänning finns
- Ackumulatorbatteri som utgör ett reservsystem och aktiveras vid nätavbrott

Regler för brandlarmsystem kräver alltid vissa minimidrifttider vid strömavbrott (Svenska Brandförsvärsföreningen, 2001; NFPA, 1996).

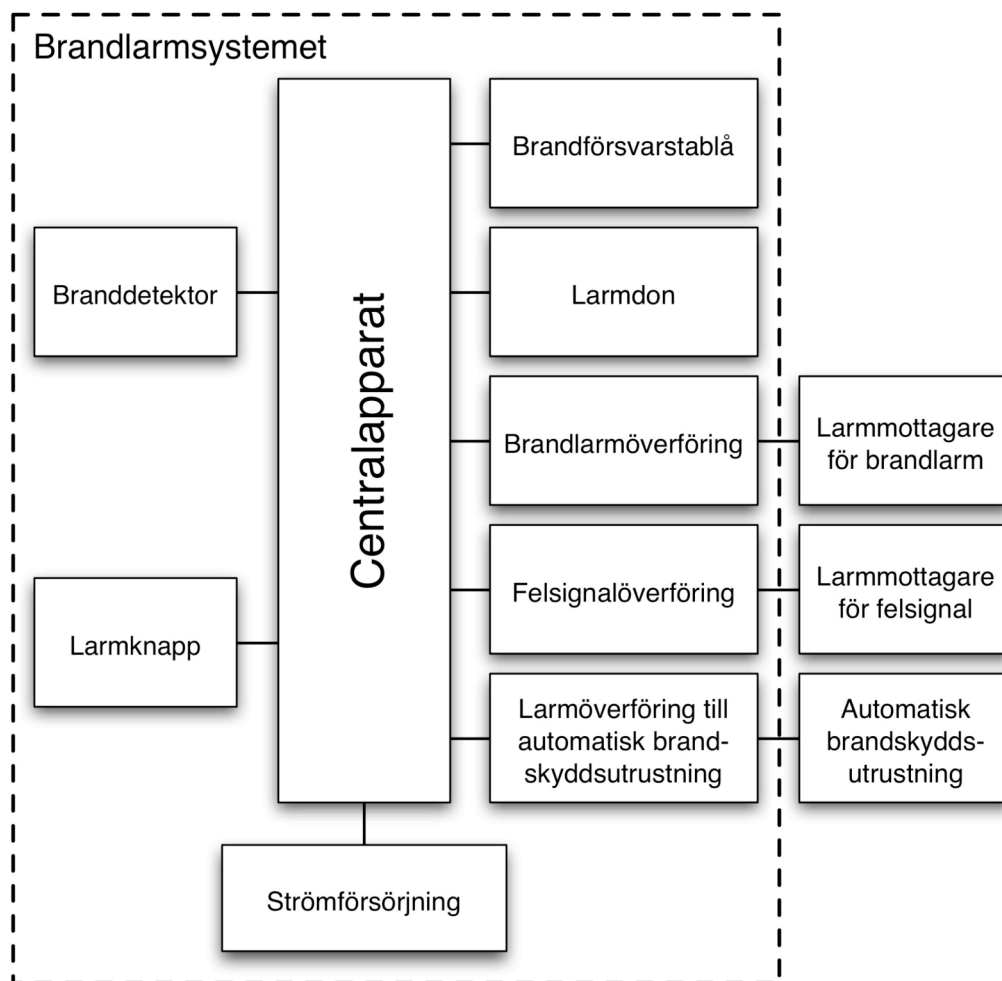
Brandförsvärstablån är främst till för räddningstjänsten och innehåller funktioner och information som är nödvändig vid räddningsinsats och falsklarm. Den information som kan erhållas från tablån är bland annat larmstatus, d v s larm eller inte larm, och den aktiverade detektorns placering. Placeringen kan vara exakt placering eller längs en slinga. Exempel på funktioner som kan utföras från brandförsvärstablån är

avstängning av larmdon och nollställning av larm. Brandförvarstablån kan utgöra en egen enhet eller vara integrerad i centralapparaten.

Larmdon kan delas in i larmdon som genererar

- ljud – t ex larmklockor, sirener och högtalare
- ljus – t ex signallampor, blyxtljus och rotationslampor

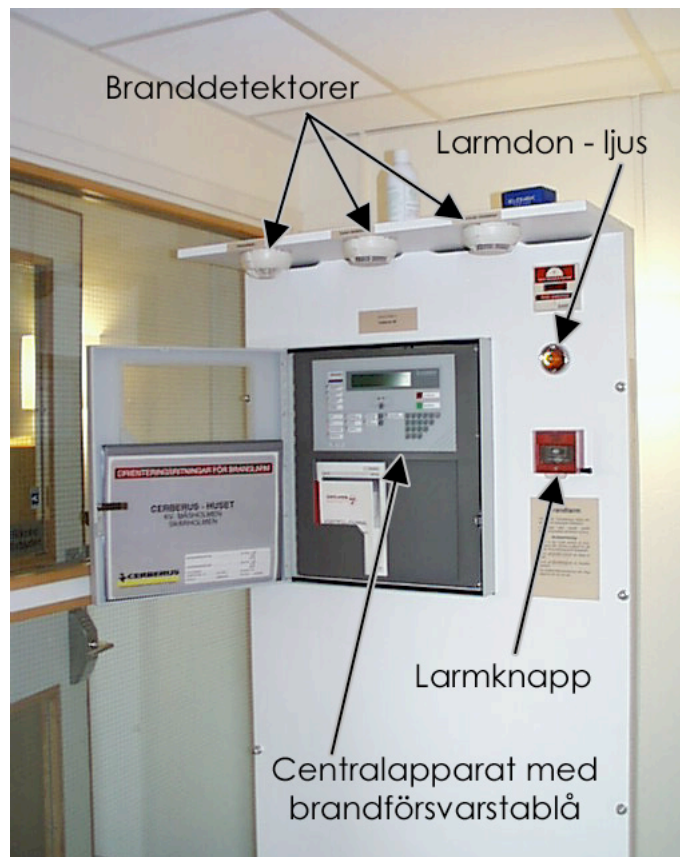
Oftast används larmdon för att varna människor vid larm, d v s som utrymningslarm, men för brandlarmsystem utan utrymningslarm finns bara ett larmdon vid brandförvarstablån för att underlätta lokaliseringen av denna. Svenska Brandförvarsföreningen har gett ut rekommendationer för utformningen av utrymningslarm (Svenska Brandförvarsföreningen, 1998).



Figur 3.1 Ett brandlarmsystem med dess olika delar

Brandlarmsystem har utrustning för brandlarmöverföring till antingen räddningstjänsten eller någon ständigt bemannad plats varifrån räddningstjänsten vid behov kan kontaktas. På motsvarande sätt finns felsignalöverföring som överför felsignaler, t ex fel på detektor, till mottagare för felsignal, t ex vaktmästaren på objektet. Vissa brandlarmsystem har även larmöverföring till automatisk brandskyddsutrustning, t ex dörrstängningsanordningar, släcksystem, ventilationssystem och brandgasventilation.

I figuren nedan visas ett enkelt brandlarmsystem som används som till demonstrationer (se figur 3.2). Systemet består av en centralapparat med integrerad brandförsvarstablå, branddetektorer, en larmknapp, strömförsörjning och ett larmdon i form av ett blyxtljus.



Figur 3.2 Exempel på ett förenklat brandlarmsystem med centralapparat, branddetektorer, larmknapp, strömförsörjning och larmdon

### 3.1 Konventionellt och adresserbart

Ett konventionellt system kännetecknas av så kallad kollektiv adressering, vilket innebär att många detektorer förs samman till en sektion som utgör en larmadress. Vid brandlarm måste hela den larmande sektionen genomsökas för att den aktiverade detektorn ska upptäckas. För att underlätta lokaliseringen förses alla detektorer med indikatorlampor som lyser eller blinkar då detektorn larmat. Den främsta fördelen med ett konventionellt system är att det ofta är den billigaste typen av brandlarmsystem. En nackdel är att enstaka detektorer inte kan stängas av, vilket kan vara nödvändigt vid t ex svetsarbeten, utan att hela sektionen måste avställas. Detta innebär att stora delar av objektet kan bli utan brandskydd. Ytterligare en nackdel är att sektionsindelningen är låst, vilket kan skapa problem vid ombyggnation. När en ny vägg byggs finns det risk att delar av en sektion hamna i angränsande utrymmen med annan verksamhet och utan direkt förbindelse med resten av sektionen.

I ett adresserbart system har varje detektor en egen larmadress vilket medför att det kan avläsas från brandförsvarstablån exakt vilken detektor som aktiverat. Detta underlättar lokaliseringen av larmande detektorer betydligt. Installationsmässigt är adresserbara system enklare än konventionella eftersom ledningsnätet kan täcka stora ytor, nämligen upp till 6000m<sup>2</sup> (Svenska Brandförsvarsförbundet, 2001). Indelningen



i sektioner, som är ett krav i reglerna (Svenska Brandförsvarsföreningen, 2001), kan sedan ske via programmering av mjukvaran i centralapparaten. Vid ombyggnation kan på samma sätt sektionerna ändras genom ändring av mjukvaran och utan att ny kabeldragning måste ske. Eftersom varje detektor har en egen larmadress kan enstaka detektorer stängas av vid t ex svetsarbeten. Risken blir i detta fall att för få detektorer stängs av vilket kan orsaka onödiga larm. Adresserbara system är dyrare än konventionella och därför måste behovet av adresserbarhet bedömas. För objekt med stora och okomplicerade lokaler kan den extra kostnaden ofta vara omotiverad, men för objekt med små komplicerade rum som inte är i direkt förbindelse med varandra kan ett adresserbart system vara en fördel.

### 3.2 Analoga system

Analoga system kännetecknas av att brandsignaturer och signaler från störkällor mäts och utvärderas kontinuerligt. Detektorerna i systemet fungerar som mätare och har ingen fast larmnivå. Utifrån mätvärdena från detektorerna sker en signalutvärdering som antingen kan ske direkt i detektorn, så kallad decentraliserad signalbehandling, eller i centralapparaten, så kallad centraliserad signalbehandling. Med hjälp av algoritmer utvärderas mätvärdena och på så sätt kan bränder i viss skiljas från störkällor, t ex cigaretttrök och vattenånga.

För system med decentraliserad signalbehandling är det detektorn som utvärderar mätvärdena och beslutar om larm och alla detektorer är försedda med processorer. Detta medför att detektorerna är dyrare än detektorer i system med centraliserad signalbehandling, men centralapparaten är i gengäld billigare. Vid centraliserad signalbehandling sker all analys i centralapparaten där även beslut om larm tas.

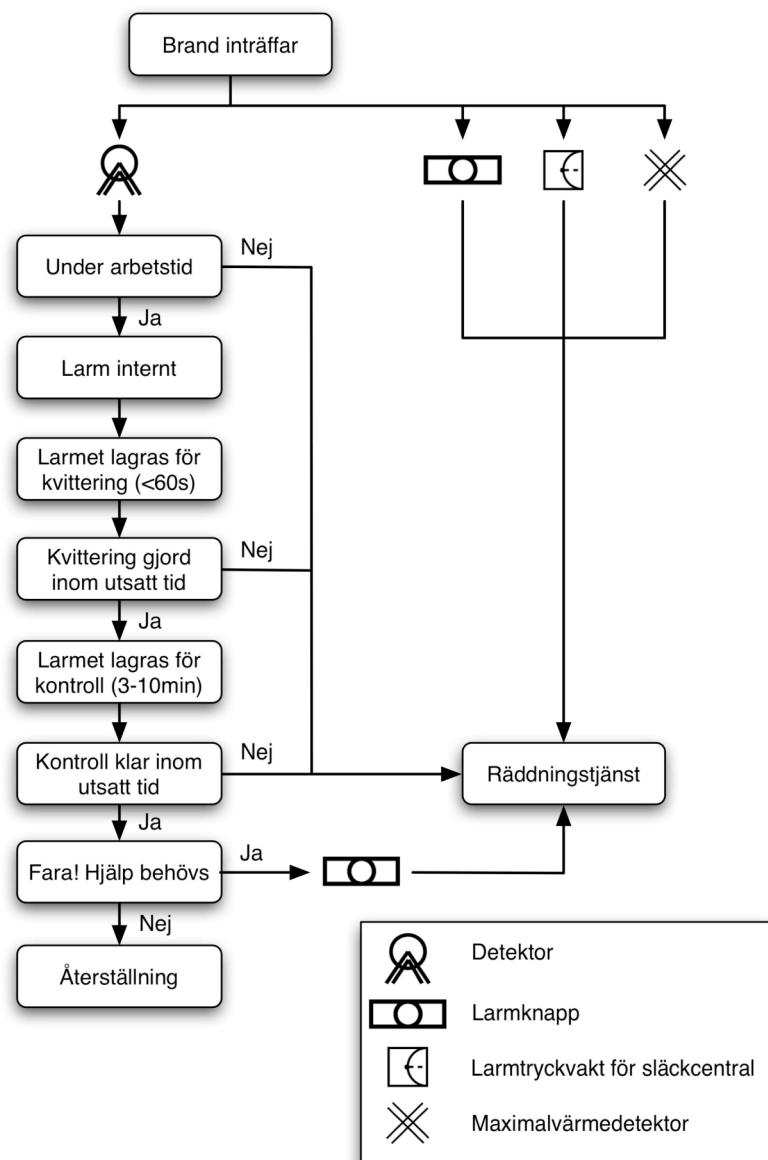
De kontinuerliga mätningarna medför att detektorernas smutsighetsgrad kan bestämmas och utifrån denna information kan känsligheten justeras så att en konstant känslighet, d v s larmnivå, erhålls. Dessutom avges en felsignal då en detektor måste bytas eller rengöras på grund av nedsmutsning. Ett analogt system är alltid adresserbart eftersom detta krävs för att all information ska kunna samlas och utvärderas.

### 3.3 Framtidens brandlarmsystem

Det finns stora möjligheter att utveckla och förfinas dagens brandlarmsystem och det är egentligen bara fantasin som sätter gränserna. Idag är de mest avancerade systemen de analoga som kontinuerligt mäter och utvärderar brandsignaturer och andra signaler. En naturlig vidareutveckling av dessa system kan vara att detektorerna utformas så att de utför mätningar även efter aktivering av brandlarm. De erhållna mätvärdena kan då ge viktig information om t ex brandens spridning eller kanske till och med om effektutvecklingen, vilket kan nyttig information för den anländande räddningsstyrkan. Nästa steg i utvecklingen blir i detta fall smarta brandlarmsystem, som utifrån den insamlade informationen om branden rekommenderar angreppsväg vid släckinsats eller styr utrymningen med hjälp av t ex talade meddelanden eller lysmarkeringar. Systemen bör också kunna integreras med t ex ventilationssystem i byggnader och styra ventilationsflöden så att brandgasspridningen förhindras eller försvåras. De smarta systemen kommer att ställa höga krav på den som programmerar systemet och till en början vara dyra, men kan samtidigt vara ett utmärkt alternativ för stora komplicerade byggnader där många människor vistas samtidigt, t ex konserthus, museer, varuhus och flygplatser.

### 3.4 Larmlagring

För att minska antalet onödiga larm till räddningstjänsten kan larmlagring användas (se figur 3.3). Larmlagring innebär att brandlarmet inte överförs automatiskt om det finns personal tillgänglig i byggnaden. Istället larmas personalen som får en kortare tid, vanligen mindre än 60 sekunder, på sig att kvittera larmet. Om ingen kvitterar överförs larmet till räddningstjänsten. Efter kvittering startar en undersökningstid på tre till tio minuter då personalen ska undersöka orsaken till larmet. Vid behov kan räddningstjänsten larmas via någon larmknapp i byggnaden. Om det inte finns något behov av räddningstjänst kan personalen återställa larmet. Detta måste ske inom undersökningstiden. Om återställning inte görs kommer larmöverföring att ske automatiskt vid slutet av undersökningstiden.



Figur 3.3 Principen för larmlagring inklusive teckenförklaring (längst ner till höger i bild)

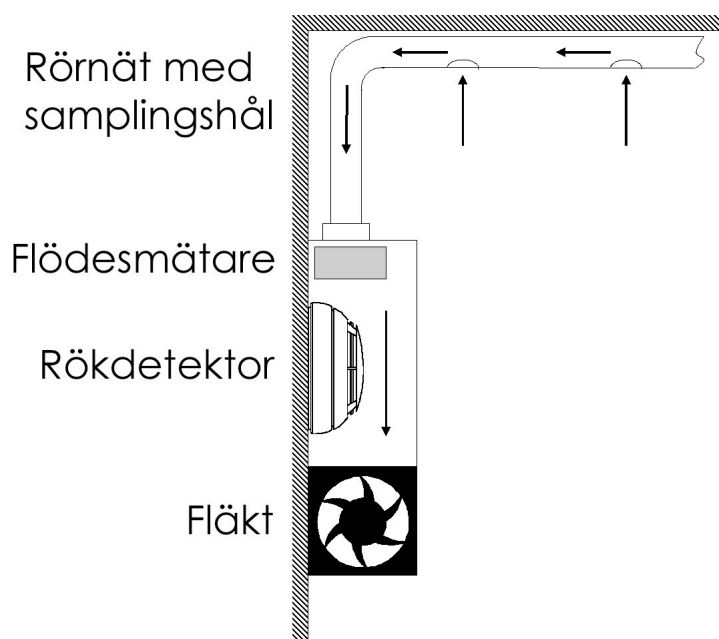
Enligt regler för brandlarmanläggningar får larmlagring inte användas då brandlarm utlösts av värmedetektor, släckanläggning eller larmknapp (Svenska Brandförsvärsföreningen, 2001). Dessutom finns det krav på minst en larmlagringstablå varifrån

kvittering och återställning är möjlig. Larmlagring får dessutom bara beröra brandlarmöverföringen och får inte fördröja aktivering av automatisk brandskyddsutrustning, t ex släcksystem.

De främsta fördelarna med larmlagring är att många onödiga larm till räddningstjänsten kan filtreras bort och att en första släckinsats kan startas av personalen i ett tidigt skede. Larmlagring ställer krav på utbildning av personal både med avseende på brand och hantering av brandlarmsystemet. Det är bra om larmlagring kombineras med en intern brandstyrka, vilken kan påbörja släckning och brandbegränsning innan räddningstjänsten anländer.

### 3.5 Samplande system

Samplande system består av ett rörnät, en detektor, en flödesmätare och en fläkt som kontinuerligt suger in luft till detektorn via rörnätet (se figur 3.4). På detta sätt sker en kontinuerlig provtagning av luftens sammansättning i vissa punkter, d v s samplingshål. De detektorer som används är ibland speciella optiska ljusspridningsdetektorer som använder laserljus och därför blir extra känsliga (se kapitel 2.5.2), men även vanliga optiska ljusspridningsdetektorer kan användas. Detektorerna kopplas till en centralapparat och ett samplande system utgör således en del av ett större brandlarmsystem. Lämpligen väljs ett analogt brandlarmsystem eftersom detta, med hjälp av algoritmer, bättre kan skilja verkliga bränder från störkällor.



Figur 3.4 Enkel skiss över principen för samplande system

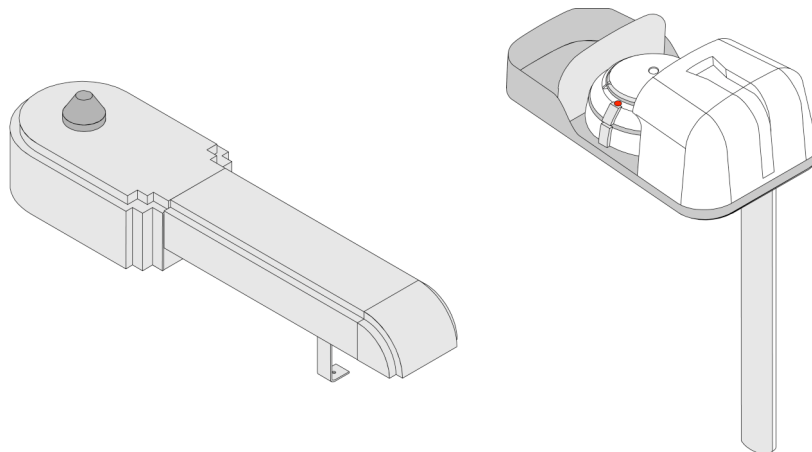
Transporten av luft eller brandgaser i rörnätet från samplingshålen till detektorn tar en viss tid. I regler för brandlarmanläggningar anges ofta en maximal transporttid på 120 sekunder från det sämsta hålet (Svenska Brandförsvarsförbundet, 2001; NFPA, 1996). Dessutom ställs krav på att blockerade samplingshål måste upptäckas. Av denna anledning förses samplande system med flödesmätare som uppmärksammar och larmar då ett eller flera hål är blockerade.

Samplande system kan användas i utrymmen med högt till tak, t ex atrier, där brandgaserna inte når upp till takmonterade detektorer på grund av otillräcklig

termisk stigningskraft. Genom att placera ett rörnät med samplingshål längs hela utrymmets höjd kan en brand upptäckas även om brandgaserna inte når taket. Även glödbänder, vars brandgaser ofta saknar termisk stigningskraft, kan upptäckas med hjälp av ett välplacerat samplande system.

En annan situation där samplande system kan användas är i byggnader med högt affektionsvärde, t ex kyrkor och slott, där en vanlig detektor kan innebära en estetisk försämring. Samplande system kan i detta fall byggas in så att bara de små samplingshålen blir synliga. Ytterligare en tillämpning där samplande system kan vara lämpliga är branddetektering i utrymmen med elektronik, t ex datorrum och ställverk. Med hjälp av ett samplande system med många samplingshål och en känslig detektor kan en brand upptäckas tidigt och strömmen till utrustningen stängas av. En avstängning av strömmen resulterar ofta i att en glödband i elektronik slöcknar innan den övergått till en flambrand (Cerberus, 1998).

Det finns även enklare samplande enheter utan fläkt och flödesmätare som är avsedda för ventilerade elskåp och ventilationskanaler (se figur 3.5). Enheterna utnyttjar övertrycket i elskåpet respektive ventilationskanalen för att transportera luften till detektorn.



Figur 3.5 Två enheter utan fläkt och flödesmätare avsedda för ventilerade elskåp (vänster) och ventilationskanaler (höger)<sup>2</sup>. I ovanstående enheter sitter en optisk ljusspridningsdetektor.

---

<sup>2</sup> Clipart från Cerberus (1998)



## 4 Regelverk och standard

### 4.1 SBF 110:6

Svenska brandförsvarsföreningen ger ut regelverket SBF 110:6 som gäller för automatiska brandlarmanläggningar som är fast installerade i byggnader (Svenska Brandförsvarsföreningen, 2001). Tidigare utgavs reglerna av Sveriges Försäkringsförbund och kallades för RUS-regler (Försäkringsförbundet, 1992). På grund av reglernas ursprung är de utformade utifrån försäkringsbolagens intresseområde och omfattar främst brandlarm som ska förhindra egendomsskador. Därför ställs t ex krav på larmöverföring till räddningstjänsten. En brandlarmanläggning enligt SBF 110:6 kan visserligen användas tillsammans med ett utrymningslarm, men placering av larmdon behandlas inte i reglerna. Anläggningen kan också kopplas till andra system, t ex släcksystem och dörrstängare, men för dessa system hänvisas till andra regelverk.

I SBF 110:6 utgör rökdetektorer (optiska ljusspridningsdetektorer och joniserande rökdetektorer) den rekommenderade detektortypen, men värmedetektorer kan användas i vissa fall. För de två huvudtyperna av detektorer i reglerna, rökdetektorer och värmedetektorer, finns en rad detaljanvisning om bland annat maximal takhöjd, maximal täckyta per detektor och detektorplacering. I de fall andra detektorer ger bättre skydd får även flamdetektorer, linjerökdetektorer, samplande system och specialdetektorer användas. För dessa finns mycket få detaljregler i SBF 110:6 och installation och underhåll ska ske enligt tillverkarens eller leverantörens anvisningar.

I reglerna finns minimikrav som måste uppfyllas för brandlarmanläggningar, t ex automatisk överföring av larm till berörd räddningstjänst eller alternativt överföring till ständigt bemannad plats varifrån räddningstjänsten larmas, minst en larmknapp, minst ett larmdon och en god elförsörjning. Dessutom ställs stränga krav på kontroll av brandlarmanläggningen i form av månadsprov och kvartalsprov samt på de material som används och den installatör som installerar anläggningen. För varje brandlarmanläggning ska det dessutom finnas en kontrolljournal där alla tester och larm ska noteras.

SBF 110:6 är inga absoluta och bindande regler utan får frångås om t ex det aktuella försäkringsbolaget godkänner förslaget. Reglerna är utformade så att de ger ett bra skydd i enkla situationer, men i mer komplicerade fall bör ingenjörsmässiga beräkningar ligga till grund för utformningen av brandlarmsystem.

### 4.2 NFPA 72 – the National Fire Alarm Code

National Fire Protection Association, NFPA, är en internationell icke vinstdrivande medlemsorganisation som utvecklar regler inom brandområdet. Reglerna används i stor utsträckning i USA. NFPA 72 – the National Fire Alarm Code är regler för brandlarmanläggningar och utrymningslarm inklusive alla deras komponenter (NFPA, 1996). Syftet med reglerna är att skydda både liv och egendom och NFPA 72 innehåller olika delar som behandlar

- minimikrav på brand-/utrymningslarm
- brandvarningsutrustning i hushåll
- brand-/utrymningslarm i byggnader
- brand-/utrymningslarm för övervakningsstationer (ständigt bemannad plats dit larmet går och varifrån räddningstjänsten larmas)

- detektorer
- larmdon
- inspektion, tester och underhåll

NFPA 72 innehåller en del precisa detaljregler, men tillåter samtidigt att beräkningar används för att bestämma lämplig detektorplacering. I appendix till reglerna beskrivs metoder för beräkning av detektorplacering för olika detektortyper. NFPA 72 förbättras och omarbetas ständigt och totalt mer än 200 personer fördelade på sju tekniska kommittéer hjälper till med utvecklingsarbetet (NFPA, 1996).

### 4.3 SS-EN 54-7

Den svenska standarden SS-EN 54-7 behandlar optiska ljusspridningsdetektorer, optiska linjerökdetektorer och joniserande rökdetektorer (SIS, 2001). Standarden ges ut av SIS, Swedish Standards Institute, och är den engelskspråkiga versionen av europastandarden EN 54-7, vilken alltså gäller som svensk standard.

SS-EN 54-7 innehåller krav som en detektormodell måste uppfylla för att bli godkänd enligt standarden. Exempel på krav är att varje detektor måste märkas med bland annat gällande standard, d v s EN 54-7, tillverkarens eller leverantörens varumärke, modellbeteckning och serienummer som möjliggör bestämning av tillverkningsdatum och använda komponenter. Ytterligare krav är att varje detektor måste förses med en ljusindikator som lyser vid aktivering och att detektorns inställningar inte ska kunna ändras utan användning av speciella verktyg eller brytning av plombering. SS-EN 54-7 innehåller även en beskrivning av en rad tester som en detektormodell måste klara av för att bli godkänd. Till testerna krävs totalt 20 detektorer av den aktuella modellen. Testschemat återges i tabellen nedan (se tabell 4.1).

### 4.4 SS-EN 54-5

Den svenska standarden SS-EN 54-5 behandlar värmedetektorer av punkttyp (SIS, 2003). Standarden ges ut av SIS, Swedish Standards Institute, och är den engelskspråkiga versionen av EN 54-5.

SS-EN 54-5 innehåller krav som en värmedetektormodell måste uppfylla för att bli godkänd enligt standarden. En del av kraven liknar de krav som ställs på rökdetektorer i SS-EN 54-7. Ett exempel är att varje detektor måste märkas med bland annat gällande standard, d v s EN 54-5, tillverkarens eller leverantörens varumärke, modellbeteckning och serienummer. Dessutom ska alla detektorer förses med en ljusindikator som lyser vid aktivering. För detektorer som ska användas vid höga temperaturer får lampan ersättas med någon annan form av indikator. I standarden delas värmedetektorer in i åtta olika klasser beroende på användnings- och aktiveringstemperaturen (se tabell 4.2). Till de olika klassbeteckningarna kan sedan suffix tillfogas för detektorer med speciella funktioner.

I SS-EN 54-5 beskrivs en rad tester som en detektormodell måste klara för att bli godkänd. Till testerna krävs totalt 15 återställningsbara eller 62 icke återställningsbara detektorer. De icke återställningsbara detektorerna förstörs vid aktivering och kan inte användas igen. Testerna utförs i en vindtunnel där lufthastigheten är 0,8 +/- 0,1 m/s och lufttemperaturen kan varieras. Detektorerna testas i tunneln vid olika temperaturökningar per tidsenhet, olika starttemperaturer och olika orientering. För varje klass och varje test finns en övre och en undre tidsgräns då detektormodellen måste aktiveras för att den ska bli godkänd enligt standarden (se tabell 4.3).

Tabell 4.1 Testschema i standarden SS-EN 54-7

Test	Specimen number
Repeatability	one chosen arbitrarily
Directional dependence	one chosen arbitrarily
Reproducibility	all specimen
Variation in supply parameters	1
Air movement	2
Dazzling (only detectors using scattered or transmitted light)	3
Dry heat (operational)	4
Cold (operational)	5
Damp heat, steady state (operational)	6
Damp heat, steady state (endurance)	7
Sulphur dioxide (SO <sub>2</sub> ) corrosion (endurance)	8
Shock (operational)	9
Impact (operational)	10
Vibration, sinusoidal (operational)	11
Vibration, sinusoidal (endurance)	11
Electrostatic discharge (operational)	12
Radiated electromagnetic fields (operational)	13
Conducted disturbances induced by electromagnetic field (operational)	14
Fast transient bursts (operational)	15
Slow high energy voltage bursts (operational)	16
Fire sensitivity	17, 18, 19 & 20

Tabell 4.2 Indelningen i klasser enligt SS-EN 54-5

Detector Class	Typical Application Temperature (°C)	Maximum Application Temperature (°C)	Minimum Static Response Temperature (°C)	Maximum Static Response Temperature (°C)
A1	25	50	54	65
A2	25	50	54	70
B	40	65	69	85
C	55	80	84	100
D	70	95	99	115
E	85	110	114	130
F	100	125	129	145
G	115	140	144	160



Tabell 4.3 Övre och undre tidsgränsen mellan vilka detektorn måste aktivera då den testas i vindtunneln

Rate of rise of air temperature  K min <sup>-1</sup>	Class A1 detectors				Class A2, B, C, D, E, F & G detectors			
	Lower limit of response time		Upper limit of response time		Lower limit of response time		Upper limit of response time	
	min	s	min	s	min	s	min	s
1	29	0	40	20	29	0	46	0
3	7	13	13	40	7	13	16	0
5	4	9	8	20	4	9	10	0
10	1	0	4	20	2	0	5	30
20		30	2	20	1	0	3	13
30		20	1	40		40	2	25

## 5 Dimensionering av brandlarmsystem

Dimensionering av ett brandlarmsystem innebär att ett lämpligt system väljs ut i en given situation. Det är alltså inte bara valet av detektor som ska beaktas, utan även övriga komponenter ska utvärderas. Exempel på frågor som kan vara lämpliga att ställa vid dimensionering av ett brandlarmsystem är

- 1) *Vilken typ av brandlarmsystem ska väljas?* – konventionellt, adresserbart eller analogt
- 2) *Hur ska larmöverföringen ordnas?* – brandlarmöverföring till räddningstjänst eller bemannad plats, eventuell larmlagring, fellarmöverföring
- 3) *Ska systemet innehålla utrymningslarm och hur bör detta i så fall utformas?* – typ av larmdon, placering av larmdon, utformning av utrymningssignal
- 4) *Hur ska strömförsörjningen ordnas?* – reservkraft m.m.
- 5) *Ska brandlarmsystemet kopplas till andra aktiva system?* – dörrstängning, släcksystem, brandgasventilation
- 6) *Vilken typ av detektorer är lämplig att använda?* – hänsyn till tänkbara bränder och störkällor
- 7) *Var ska detektorerna placeras?*
- 8) *Var ska eventuella larmknappar placeras?*
- 9) *Var ska centralapparaten och brandförsvarstablån placeras?*

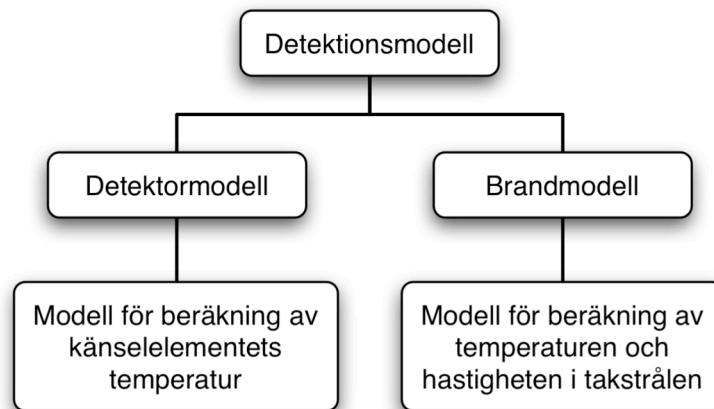
Av de ovanstående frågorna betonas ofta valet av detektor samt detektorernas placering. Det är viktigt att rätt detektor väljs så att onödiga larm undviks samtidigt som tänkbara bränder upptäcks tidigt. Detektorernas placering kan bestämmas på olika sätt. Ett sätt är att tillämpa regler för brandlarmsystem, t ex SBF 110:6 (Svenska Brandförsvarsförbundet, 2001). Dessa regler ger ofta ett bra skydd för enkla lokaler, men lämpar sig sämre för mer avancerade geometrier.

Detektorplaceringen kan även bestämmas med hjälp av beräkningar. Genom att utföra en brandteknisk utvärdering, d v s simulera och utvärdera olika bränder i en byggnad, kan ofta en maximal tillåten tid till detektion av brand bestämmas. Denna tid kan sedan användas för att bestämma lämplig detektorplacering, d v s maximala avståndet mellan detektorer. I följande kapitel redovisas olika metoder för uppskattning av aktiveringstider för värme- och rökdetektorer (se kapitel 6 och 7).



## 6 Aktiveringstid – Värmedetektorer

För att kunna modellera värmedetektoraktivering krävs en brandmodell och en detektormodell som tillsammans bildar en detektionsmodell (se figur 6.1). Brandmodellen beskriver detektorns omgivning med avseende på temperaturen och hastigheten i brandgaserna. Detektormodellen beskriver hur detektorns känselement reagerar då den kommer i kontakt med omgivningen. Denna modell kan göras olika detaljerad beroende på önskad noggrannhet.



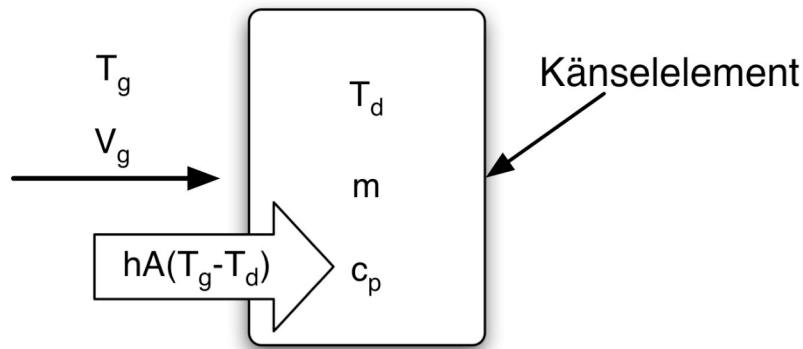
Figur 6.1 Detektionsmodellens uppbyggnad

I följande avsnitt beskrivs först två modeller för beräkning av känselementets temperatur, d v s två olika detektormodeller. Därefter beskrivs modeller för beräkning av temperaturen och hastigheterna i den takstråle som bildas vid en brand, d v s brandmodeller. Sist i detta kapitel kopplas en detektormodell och en brandmodell ihop till en detektionsmodell, vilken kan användas för beräkning av aktiveringstider för värmedetektorer.

### 6.1 Detektormodeller

#### 6.1.1 RTI

I värmedetektorer finns ett eller flera känselement som värms upp då varma brandgaser strömmar genom detektorn. Varje känselement har en massa,  $m$ , en specifik värmekapacitet,  $c_p$ , en temperatur,  $T_d$ , och en omslutningsarea,  $A$ . När känselementet sänks ner i en ström med varma gaser med den konstanta temperaturen  $T_g$  och den konstanta gashastigheten  $v_g$ , kommer värme att överföras via konvektion till elementet (se figur 6.2). I en första analys försummas värmeledningen till övriga delar av detektorn och elementet antas endast vara i kontakt med de varma gaserna. Dessutom bortses från infallande strålning från branden och avgiven strålning från elementet.



Figur 6.2 Ett känselement i en ström av varma gaser  
(pilen motsvarar den överförda effekten till känselementet)

Känselementets temperatur,  $T_d$ , är lika med omgivningens temperatur,  $T_o$ , precis då elementet sänks ner i gasströmmen vid tiden  $t$  är lika med noll. Temperaturen,  $T_d$ , antas vara samma i hela elementet och hänsyn tas inte till eventuella temperaturgradienter. Den effekt som överförs från de varma gaserna till känselementet kan skrivas

$$h \cdot A \cdot (T_g - T_d)$$

där  $h$  är det konvektiva värmeövergångstalet [ $W/(K \cdot m^2)$ ],  $A$  är känselementets omslutningsarea [ $m^2$ ],  $T_g$  är de varma gasernas temperatur [ $K$ ] och  $T_d$  är känselementets temperatur [ $K$ ] (se figur 6.2). Den tillförda effekten resulterar i en ökning av värmeinnehållet per tidsenhet för känselementet vilket kan skrivas

$$\frac{d}{dt}(m \cdot c_p \cdot T_d) = m \cdot c_p \cdot \frac{dT_d}{dt}$$

där  $m$  är känselementets massa [ $kg$ ],  $c_p$  är känselementets specifika värmekapacitet [ $J/(K \cdot kg)$ ],  $T_d$  är känselementets temperatur [ $K$ ] och  $t$  är tiden [ $s$ ]. Värmebalansen för känselementet blir således

$$m \cdot c_p \cdot \frac{dT_d}{dt} = h \cdot A \cdot (T_g - T_d) \quad \text{ekvation 6.1}$$

d v s tillförd effekt är lika med ökningen av värmeinnehållet per tidsenhet. Med hjälp av ett variabelbyte enligt

$$\frac{dT_d}{dt} = - \frac{d(T_g - T_d)}{dt}$$

som är möjligt eftersom  $T_g$  är konstant, kan ekvation 6.1 skrivas

$$-m \cdot c_p \cdot \frac{d(T_g - T_d)}{dt} = h \cdot A \cdot (T_g - T_d) \Rightarrow \frac{d(T_g - T_d)}{(T_g - T_d)} = - \frac{h \cdot A}{m \cdot c_p} \cdot dt$$

Integrering mellan gränserna  $t = 0$  till  $t = t$  och  $T_d = T_o$  till  $T_d = T_d$  ger

$$\int_{T_0}^{T_d} \frac{d(T_g - T_d)}{(T_g - T_d)} = -\frac{h \cdot A}{m \cdot c_p} \cdot \int_0^t dt \Rightarrow \left[ \ln(T_g - T_d) \right]_{T_0}^{T_d} = -\frac{h \cdot A}{m \cdot c_p} \cdot [t]_0^t \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ln \frac{(T_g - T_d)}{(T_g - T_0)} = -\frac{h \cdot A}{m \cdot c_p} \cdot t$$

I denna ekvation har  $(m \cdot c_p)/(h \cdot A)$  enheten sekunder och kallas tidskonstanten,  $\tau$ .

$$\tau = \frac{m \cdot c_p}{h \cdot A}$$

Genom insättning av  $\tau$  och omformning erhålls ett uttryck för hur känselementets temperatur varierar med tiden enligt

$$\ln \frac{T_g - T_d}{T_g - T_0} = -\frac{h \cdot A}{m \cdot c_p} \cdot t \Rightarrow \ln \frac{T_g - T_d}{T_g - T_0} = -\frac{t}{\tau} \Rightarrow \frac{T_g - T_d}{T_g - T_0} = e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow T_d = T_g - (T_g - T_0) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

För de flesta vanliga geometrier på känselement, d v s sfärer och cylindrar, är  $h$  proportionell mot roten ur gashastigheten, d v s  $h$  är proportionell mot  $v^{1/2}$ . Tidskonstanten  $\tau$  blir således bara en konstant för en detektor vid en given hastighet  $v$ . Genom att bilda produkten  $\tau \cdot v^{1/2}$  erhålls en konstant som är oberoende av gashastigheten och som kallas RTI, Response Time Index. RTI har enheten  $(\text{ms})^{1/2}$  och ges enligt tidigare av

$$RTI = \tau \cdot v^{1/2} = \frac{m \cdot c_p}{h \cdot A} \cdot v^{1/2} \quad \text{ekvation 6.2}$$

där  $v$  är gashastigheten [m/s]. Ekvationen för  $T_d$  blir nu uttryckt med RTI

$$T_d = T_g - (T_g - T_0) \cdot e^{-\frac{t \cdot v^{1/2}}{RTI}} \quad \text{ekvation 6.3}$$

RTI, som är ett mått på värmedetektorers termiska tröghet, kan tas fram experimentellt i en vindtunnel (se figur 6.3). Testet går ut på att detektorn sänks ner i en gasström med konstant temperatur och gashastighet varpå aktiveringstiden mäts. Med hjälp av ekvationen ovan beräknas detektorns RTI-värde som i sin tur kan användas för beräkning av aktiveringstiden vid andra gastemperaturer och gashastigheter.

### Exempel 6.1

En äldre maximalvärmedetektor testades i vindtunneln. Temperaturen i gasströmmen var konstant under hela testet och uppgick till 70 °C (343 K). Hastigheten på de varma gaserna var 2 m/s under hela testet. Detektorn aktiverade efter 10 sekunder och aktiveringstemperaturen var 60 °C (333 K). Omgivningens temperatur var 20 °C (297 K). Beräkna detektorns RTI-värde.

**Lösning**

De givna värdena sätts in i ekvation 6.3. Detta ger

$$T_d = T_g - (T_g - T_0) \cdot e^{-\frac{t \cdot v^{1/2}}{RTI}} \Rightarrow 333 = 343 - (343 - 293) \cdot e^{-\frac{10 \cdot 2^{1/2}}{RTI}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{333 - 343}{-(343 - 293)} = e^{-\frac{10 \cdot 2^{1/2}}{RTI}} \Rightarrow 0,2 = e^{-\frac{10 \cdot 2^{1/2}}{RTI}} \Rightarrow \ln 0,2 = -\frac{10 \cdot 2^{1/2}}{RTI} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow RTI = -\frac{10 \cdot 2^{1/2}}{\ln 0,2} \approx 8,787 \Rightarrow RTI \approx 9 \text{ (ms)}^{1/2}$$

**Svar**

$$RTI = 9 \text{ (ms)}^{1/2}$$



Figur 6.3 Vindtunnel som används för bestämning av RTI värden

**6.1.2 C-faktor**

När ett känselement i en värmedetektor värms upp av varma brandgaser kan en del värme ledas bort från elementet till angränsande delar av detektorn, vilket medför en långsammare temperaturstegring. En förutsättning för värmeledning är att det är en temperaturskillnad mellan elementet och övriga detektordelar. För en värmedetektor kan ofta värmeledningen försummas eftersom temperaturskillnaden är liten och uppvärmningen sker snabbt. För sprinkler, där angränsande delar kan vara rör med strömmande vatten, kan det däremot vara nödvändigt att ta hänsyn till värmeledningen. Hänsyn till värmeledningen kan tas genom att införa en C-faktor i värmebalans ekvationen, d v s

$$m \cdot c_p \cdot \frac{dT_d}{dt} = h \cdot A \cdot (T_g - T_d) - C \cdot (T_d - T_0) \quad \text{ekvation 6.4}$$

där C är C-faktorn [W/K]. Övriga beteckningar är enligt föregående avsnitt (se kapitel 6.1.1). I ekvationen ovan antas angränsande detektordelars temperatur vara samma som omgivningens temperatur,  $T_0$ . Termen  $C \cdot (T_d - T_0)$  blir då den effekt som

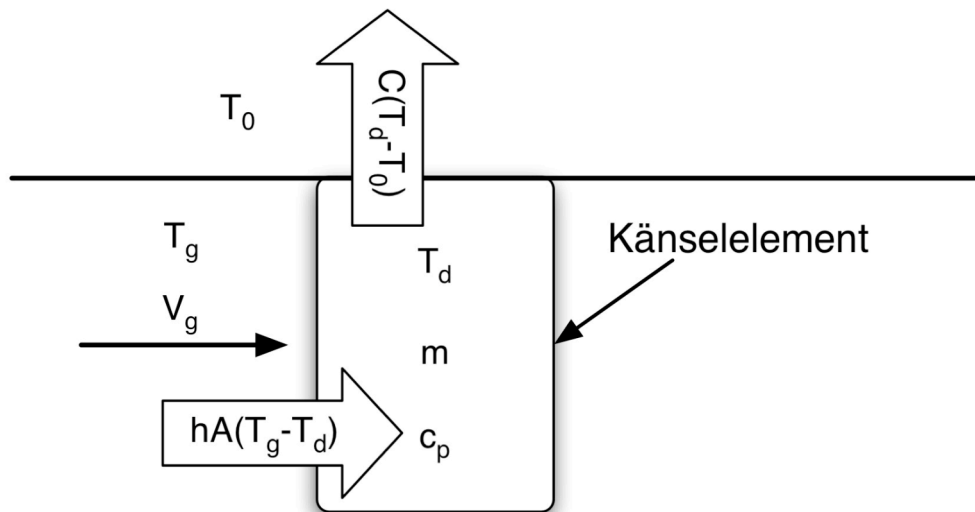
leds från känselementet till övriga delar av detektorn (se figur 6.4). Lösningen till ekvationen ovan för fallet med konstant gashastighet och konstant gastemperatur blir

$$T_d = \frac{T_g - T_0}{R} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{v^{1/2} \cdot R \cdot t}{RTI}} \right) + T_0 \quad \text{ekvation 6.5}$$

där

$$R = 1 + \frac{C \cdot RTI}{m \cdot c_p \cdot v^{1/2}} \quad \text{ekvation 6.6}$$

och med övriga beteckningar enligt ovan och föregående avsnitt (se kapitel 6.1.1). För att få fram värdena på de två parametrar RTI och C-faktorn måste två oberoende test utföras i vindtunneln.



Figur 6.4 Ett känselement i en ström av varma gaser  
(pilarna motsvarar den effekt som tillförs respektive bortförs från känselementet)

## 6.2 Brandmodeller

### 6.2.1 Takstråle

Vid en brand bildas en plym med varma brandgaser på grund av densitetsskillnader mellan de uppvärmda gaserna och omgivningen. När plymen når ett plant tak sprids brandgaserna ut radiellt och bildar en takstråle (se figur 6.5). Hastigheten och temperaturen i takstrålen är nödvändiga parametrar för bestämning av aktiveringstider för värmedetektorer. För att en värmedetektor ska upptäcka en brand krävs att den är placerad i takstrålen och helst i regionen med högst hastighet och temperatur. En tumregel är att tjockleken på takstrålen är ungefär 5 till 12% av avståndet från branden till taket, H, och att den maximala hastigheten och temperaturen uppnås på ungefär 1% av avståndet H från taket räknat (Karlsson & Quintiery, 2000).

Alpert (1972) har tagit fram ekvationer för den maximala hastigheten och temperaturen i takstrålen för bränder med konstant effektutveckling. Ekvationerna är framtagna utifrån experiment med bränder i trä- och plastpallar, pappkartonger,



plastmaterial i pappkartonger och flytande bränslen. Brändernas effektutveckling varierade mellan 668 kW och 98 MW och takhöjden var mellan 4,6 och 15,5 m i experimenten. Alperfs ekvationer för den maximala hastigheten och temperaturen ges för olika regioner av takstrålen enligt

$$\Delta T_m = 16,9 \cdot \frac{Q^{2/3}}{H^{5/3}} \quad \text{om } r/H \leq 0,18$$

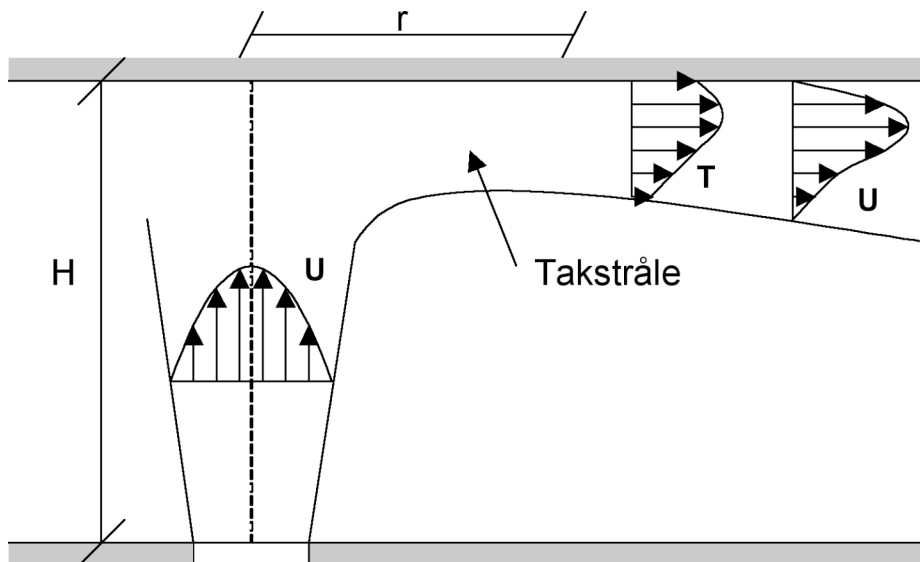
$$\Delta T_m = 5,38 \cdot \frac{(Q/r)^{2/3}}{H} \quad \text{om } r/H > 0,18$$

$$U_m = 0,95 \cdot \left(\frac{Q}{H}\right)^{1/3} \quad \text{om } r/H \leq 0,15$$

$$U_m = 0,2 \cdot \frac{Q^{1/3} \cdot H^{1/2}}{r^{5/6}} \quad \text{om } r/H > 0,15$$

ekvation 6.7

där  $\Delta T_m$  är maximal temperaturskillnad mellan omgivningen och gaserna i takstrålen [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $U_m$  är maximal hastighet i takstrålen [m/s],  $Q$  är effektutvecklingen [kW],  $H$  är avståndet mellan branden och taket [m] och  $r$  är radiella avståndet i takstrålen [m].



Figur 6.5 Brandplym och takstråle med höjden  $H$ , det radiella avståndet  $r$ , hastighetsprofilen  $U$  och temperaturprofilen  $T$

I regionerna närmast branden är hastigheten och temperaturen oberoende av det radiella avståndet  $r$  och ekvationerna liknar ekvationer för plymflöden. Ekvationerna ovan (se ekvation 6.7) är framtagna och korrelerade utifrån den totala effekten  $Q$  trots att det bara är en viss del av denna effekt, kallad den konvektiva effekten  $Q_c$ , som bidrar till transporten av brandgaser. Den goda överensstämmelsen med experimenten kan förklaras av att kvoten  $Q_c/Q$  var relativt konstant för de använda bränslena.

Ekvationerna ovan gäller egentligen bara för konstanta effektutvecklingar men används ofta för bränder med tillväxande effekt. Insättning av ett tillväxande  $Q$  i ekvationerna medför att den maximala hastigheten och temperaturen överskattas på grund av att transporttiden från branden till den aktuella positionen i takstrålen försummas. För små rum kan transporttiden många gånger vara liten, i

storleksordningen några sekunder, och felet blir då inte så stort. För stora rum kan transporttiden däremot bli betydande.

Utifrån experiment med bränder i träribbstaplar har Heskestad och Delichatsios (1979) tagit fram ekvationer för beräkning av maximala hastigheten och temperaturen i takstrålar för bränder med en effektutveckling enligt

$$Q = \alpha \cdot t^2 \quad \text{ekvation 6.8}$$

där  $Q$  är effekt [W],  $\alpha$  är brandens tillväxthastighet [ $\text{W}/\text{s}^2$ ] och  $t$  är tiden [s]. Ekvationerna är framtagna för  $\alpha$ -värden mellan 3 och 43  $\text{W}/\text{s}$ , höjder mellan 1,5 och 8,6 m samt  $H/r$  mellan 0,4 och 8. Beyler (1984) har modifierat ekvationerna och återger dem enligt

$$\Delta T_2^* = 0 \quad \text{för } t_2^* \leq (t_2^*)_f$$

$$\Delta T_2^* = \left[ \frac{t_2^* - 0,954 \cdot (1 + r/H)}{0,188 + 0,313 \cdot r/H} \right] \quad \text{för } t_2^* > (t_2^*)_f \quad \text{ekvation 6.9}$$

$$U_2^* / \sqrt{\Delta T_2^*} = 0,59 \cdot (r/H)^{-0,63} \quad \text{ekvation 6.10}$$

där

$$t_2^* = t / (A^{-1/5} \cdot \alpha^{-1/5} \cdot H^{4/5})$$

$$U_2^* = U / (A^{1/5} \cdot \alpha^{1/5} \cdot H^{1/5})$$

$$\Delta T_2^* = \Delta T / (A^{2/5} \cdot (T_0/g) \cdot \alpha^{2/5} \cdot H^{-3/5})$$

$$A = g / (c_{p,\text{luft}} \cdot T_0 \cdot \rho_0)$$

$$(t_2^*)_f = 0,954 \cdot (1 + r/H)$$

och  $c_{p,\text{luft}}$  är specifika värmekapaciteten för luft vid konstant tryck [ $\text{J}/\text{g}\cdot\text{K}$ ],  $T_0$  är omgivande luftens temperatur [K],  $\rho_0$  är omgivande luftens densitet [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $g$  är jordaccelerationen [ $\text{m}/\text{s}^2$ ],  $U$  är maximala hastigheten i takstrålen [ $\text{m}/\text{s}$ ] och  $\Delta T$  är skillnaden mellan maximala temperaturen i takstrålen och omgivningstemperaturen [K]. Övriga beteckningar är enligt tidigare.

I ekvationen ovan är  $Q$  den totala effekten och inte den konvektiva effekten  $Q_c$ . För träribbstaplarna i experimenten var kvoten  $Q_c/Q$  ungefär 0,5 men för andra bränslen kan kvoten variera.

En förutsättning för att ekvationerna för temperaturen och hastigheten i takstrålen ska vara giltiga (se ekvation 6.7, 6.9 och 6.10) är att flödet i takstrålen är oförhindrat. Ett hinder i taknivå, t ex en balk eller ett tjockt brandgaslager, kan ändra hastigheten och temperaturen. Evans (1995) anges en del uttryck för takstrålar i speciella situationer med begränsade flöden.

**Exempel 6.2**

En brand utbryter i ett utrymme med en takhöjd på 3 meter. Brandens tillväxthastighet  $\alpha$  är  $0,05 \text{ kW/s}^2$ . Beräkna den maximala temperaturen vid taknivå på det radiella avståndet 3 meter från brandens centrumlinje vid tiden 60 sekunder. Den omgivande luftens temperatur, densitet och specifika värmekapacitet är  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $293 \text{ K}$ ),  $1,2 \text{ kg/m}^3$  respektive  $1,0 \text{ J/g}\cdot\text{K}$ . Jordaccelerationen kan antas vara  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Utför beräkningarna med hjälp av ekvation 6.9.

**Lösning**

Först beräknas

$$A = g / (c_{p,luft} \cdot T_0 \cdot \rho_0) = 9,81 / (1,0 \cdot 293 \cdot 1,2) \approx 0,02790$$

$$t_2^* = t / (A^{-1/5} \cdot \alpha^{-1/5} \cdot H^{4/5}) = 60 / (0,02790^{-1/5} \cdot 0,05^{-1/5} \cdot 3^{4/5}) \approx 6,68917$$

$$(t_2^*)_f = 0,954 \cdot (1 + r/H) = 0,954 \cdot (1 + 3/3) \approx 1,908$$

eftersom

$$t_2^* > (t_2^*)_f \Rightarrow \Delta T_2^* = \left[ \frac{t_2^* - 0,954 \cdot (1 + r/H)}{0,188 + 0,313 \cdot r/H} \right] = \left[ \frac{6,68917 - 0,954 \cdot (1 + 3/3)}{0,188 + 0,313 \cdot 3/3} \right] \approx 9,54325$$

Skillnaden mellan temperaturen i takstrålen och omgivningstemperaturen blir

$$\Delta T_2^* = \Delta T / (A^{2/5} \cdot (T/g) \cdot \alpha^{2/5} \cdot H^{-3/5}) \Rightarrow \Delta T = \Delta T_2^* \cdot (A^{2/5} \cdot (T/g) \cdot \alpha^{2/5} \cdot H^{-3/5}) = 0,954325 \cdot (0,02790^{2/5} \cdot (293/9,81) \cdot 0,05^{2/5} \cdot 3^{-3/5}) \approx 10,628$$

d v s temperaturen i takstrålen blir

$$T = T_0 + \Delta T = 293 \text{ K} + 10,628 \text{ K} \approx 304 \text{ K} \approx 31 \text{ }^\circ\text{C}$$

**Svar**

T=31 °C

## 6.3 Detektionsmodeller

### 6.3.1 En detektionsmodell för beräkning av aktiveringstiden för värmedetektorer

Beyler (1984) har tagit fram ekvationer för beräkning av aktiveringstiden för maximal- och differentialvärmedetektorer. Ekvationerna är giltiga för bränder vars effektutveckling följer ekvation 6.8 och de ges av

$$T_d - T_0 = (\Delta T / \Delta T_2^*) \cdot \Delta T_2^* \cdot \left[ 1 - \frac{1 - e^{-Y}}{Y} \right] \quad \text{ekvation 6.11}$$

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{(4/3) \cdot (\Delta T / \Delta T_2^*) \cdot (\Delta T_2^*)^{1/4}}{(t/t^*) \cdot (0,188 + 0,313 \cdot r/H)} \cdot (1 - e^{-Y}) \quad \text{ekvation 6.12}$$

$$Y = \frac{3}{4} \cdot \left( \frac{U}{U_2^*} \right)^{1/2} \cdot \left( \frac{U_2^*}{\sqrt{\Delta T_2^*}} \right)^{1/2} \cdot \frac{\Delta T_2^*}{RTI} \cdot \left( \frac{t}{t_1^*} \right) \cdot (0,188 + 0,313 \cdot r/H)$$

med samma beteckningar som tidigare. Ekvationerna ovan erhålls genom att ekvation 6.1 integreras över tiden med värden på temperatur och hastighet från ekvation 6.9 och ekvation 6.10. I ekvationerna antas känselementets temperatur vara lika med omgivningens temperatur vid tiden noll.

Vid beräkning av aktiveringstiden för maximalvärmedetektorer används ekvation 6.11. Känselementets temperatur,  $T_d$ , sätts lika med aktiveringstemperaturen i ekvationen. För beräkningar av aktiveringstiden för differentialvärmedetektorer används ekvation 6.12. I detta fall sätts  $dT_d/dt$  lika med den temperaturökning per tidsenhet vid vilken detektorn aktiverar.

Handberäkning av aktiveringstiden med hjälp av ekvationerna ovan (se ekvation 6.11 och 6.12) är ofta mycket arbetskrävande och tidsödande. Det är betydligt enklare att utföra beräkningarna med hjälp av ett datorprogram. Detact-T2 är det datorprogram som används mest idag (se faktaruta 6.1). Programmet är gratis och kan laddas ner från Internet.

Ett annat program för beräkning av aktiveringstiden för värmedetektorer är Detact-QS (se faktaruta 6.2). Även detta program är gratis och kan laddas ner från Internet. Detact-QS använder inte ekvation 6.11 och 6.12 ovan utan utnyttjar ekvationer som är härledda ur ekvation 6.7.

#### Exempel 6.3

I en byggnad finns kombinerade maximal- och differentialvärmedetektorer. Takhöjden i byggnaden,  $H$ , är 3 meter, avståndet mellan detektorerna är 5 meter och brandens tillväxthastighet,  $\alpha$ , är  $0,05 \text{ kW/s}^2$ . Omgivningens temperatur,  $T_0$ , är  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Värmedetektorerna aktiverar vid en temperatur,  $T_d$ , på  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  eller en temperaturökning per tidsenhet,  $dT_d/dt$ , på  $10 \text{ }^\circ\text{C/min}$ . Detektorernas RTI-värde har uppmätts till  $5(\text{ms})^{1/2}$ . Uppskatta aktiveringstiden med hjälp av DetactT2.

## Lösning

De givna värdena knappas in i DetactT2 enligt nedan

The screenshot shows the DETACT-T2 software interface with the following input values and callouts:

- SI-enheter väljs genom att skriva 2
- $T_0=20^\circ\text{C}$
- $RTI=5 \text{ (ms)}^{1/2}$
- $T_d=60^\circ\text{C}$
- $dT_d/dt=10^\circ\text{C}/\text{min}$
- $H=3 \text{ m}$
- Avståndet mellan detektorer= $=5 \text{ m}$
- Annat alfa-värde väljs genom att skriva 0
- $\text{alfa}=50 \text{ kW/s}^2$
- $t_1=1,91 \text{ min}$
- $t_2=0,76 \text{ min}$

The software output shows the following results:

```

RESULTS:
CEILING HEIGHT = 3.00 METERS < 9.84 FEET>
DETECTOR SPACING = 5.00 METERS < 16.40 FEET>
DETECTOR RTI = 5.0 <M-SEC>**(1/2) < 9.1 <FT-SEC>**(1/2)
FIRE GROWTH CONSTANT = 0.5000E+02 JOULES/<SEC**3>
< 0.4739E-01 BTU/SEC**3>

<RETURN> TO CONTINUE

FOR TEMPERATURE ACTUATED DETECTOR:
ACTIVATION TEMPERATURE = 60.0 DEGREES C < 140.0 DEGREES F>
TIME TO ACTIVATION = 1.91 MINUTES
HEAT RELEASE RATE = 0.6572E+03 KILOJOULES/SEC
< 0.6229E+03 BTU/SEC>

FOR RATE OF RISE ACTUATED DETECTOR:
ACTIVATION RATE OF RISE = 10.00 DEGREES C/MIN < 18.00 DEGREES F/MIN>
TIME TO ACTIVATION = 0.76 MINUTES
HEAT RELEASE RATE = 0.1036E+03 KILOJOULES/SEC
< 0.9824E+02 BTU/SEC>

```

Beräkningarna visar att värmedetektorn aktiverar efter 0,76 minuter ( $t_2$ ). Värdet 0,76 minuter ska inte ses som ett exakt värde på aktiveringstiden, utan tiden kan förväntas ligga kring  $\frac{3}{4}$  minut. Differentialfunktionen gör att detektorn aktiverar innan aktiveringstemperaturen  $60^\circ\text{C}$  uppnås, vilket sker efter 1,93 minuter ( $t_1$ ), d v s ungefär 2 minuter.

## Svar

Aktiveringstiden uppskattas till ungefär  $\frac{3}{4}$  minut.

## Faktaruta 6.1 Information om datorprogrammet Detact-T2

Detact-T2 (DETECTOR ACTUATION – Time Squared) är ett program för beräkning av aktiveringstider för värmedetektorer och sprinkler som är placerade under tak. Programmet kan användas till beräkning av aktiveringstider för sprinkler, maximalvärmedetektorer och differentialvärmedetektorer. I Detact-T2 antas brandens effektutveckling tillväxa med tiden upphöjt till två och tillväxthastigheten måste specificeras av användaren. Detact-T2 antar att detektorns eller sprinklerns känselement bara värms upp av takstrålen och tar inte hänsyn till ett eventuellt varmt övre brandgaslager.

För att kunna köra programmet krävs följande indata:

- Takhöjden
- Avståndet mellan detektorerna eller sprinklerna (Det radiella avståndet från branden till detektorn eller sprinklern beräknas av Detact-T2.)
- Aktiveringstemperaturen och/eller den temperaturökningen per tidsenhet då detektorn eller sprinklern aktiveras
- RTI-värdet
- Effektutvecklingens tillväxthastighet

Utdata från DetactTS består av aktiveringstiden och effektutvecklingen vid aktivering.

## Faktaruta 6.2 Information om datorprogrammet Detact-QS

Detact-QS (DETECTOR ACTUATION - Quasi Steady) är ett program för beräkning av aktiveringstider för värmedetektorer och sprinkler placerade under tak. Programmet kan bara användas till beräkning av aktiveringstider för maximalvärmedetektorer och sprinkler för effektkurvor som specificeras av användaren. DetactQS antar att detektorns eller sprinklerns känselement bara värms upp av takstrålen och tar inte hänsyn till ett eventuellt varmt övre brandgaslager.

För att kunna köra programmet krävs följande indata:

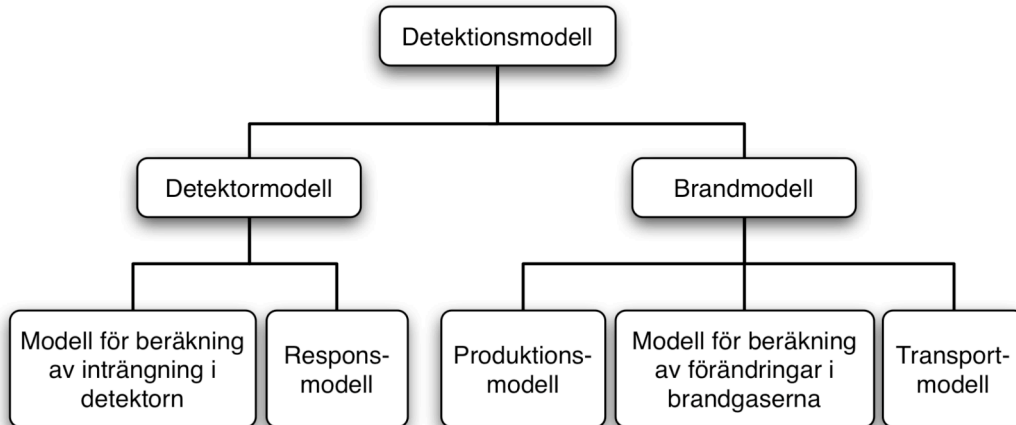
- Takhöjden
- Radiella avståndet från branden till detektorn eller sprinklern
- Aktiveringstemperaturen
- RTI-värdet
- Effektutvecklingen

Utdata från DetactQS består av aktiveringstiden, temperaturen i takstrålen som funktion av tiden och känselementets temperatur som funktion av tiden.



## 7 Aktiveringstid – Rökdetektorer

För att kunna modellera rökdetektoraktivering krävs en brandmodell och en detektormodell, som tillsammans utgör en detektionsmodell (se figur 7.1). Brandmodellen kan i sin tur delas upp i tre och detektormodellen i två olika modeller.



Figur 7.1 Rökdetektormodell med dess olika delar

Rökdetektorer reagerar på partiklar i brandgaserna. Det finns olika modeller för produktion, transport och förändringar under transport enligt figuren ovan (se figur 7.1).

Aerosolpartiklarnas egenskaper vid produktionstillfället är en funktion av bränslets sammansättning, förbränningsättet och syreförbrukningen. De egenskaper som är av intresse för beräkning av detektoraktivering är partiklarnas storlek och storleksfördelning, koncentrationen vid olika storlekar, sammansättningen, färgen och partiklarnas brytningsindex. Allteftersom branden sprider sig och tillväxer kommer bränslets sammansättning och tillgången till syre att förändras, vilket i sin tur ändrar egenskaperna. Dessa förändringar kan vara mycket svåra att förutsäga.

När brandgaserna transporteras bort från branden till detektorn sker förändringar av aerosolpartiklarnas egenskaper. Partiklarna i brandgaserna kan t ex koagulera, vilket förändrar storleksfördelningen. Dessutom kan de optiska egenskaperna förändras med tiden och avståndet från branden.

Transporten av brandgaser beskrivs lättast med hjälp av transporttiden till detektorn och gasernas hastighet. Tiden beror av bland annat takhöjden, vertikala avståndet till detektorn, hinder i taknivå och eventuella fenomen kopplade till termisk stigitkraft, t ex ett bildat brandgaslager. Under färden från branden till detektorn fastnar även partiklar på ytor, t ex väggar och tak, vilket förändrar partikelkoncentrationen.

I vissa fall kan brandmodellen ersättas med data från brandförsök. De data som används måste ha lämpligt format så att de kan användas i detektormodellen. Vid experiment mäts ofta effektutvecklingen, temperaturen, hastigheten på brandgaserna och den optiska densiteten eller ljusdämpningen per längdenhet. Av dessa är det egentligen bara den optiska densiteten eller ljusdämpningen som direkt relaterar till partikelsammansättningen i brandgaserna.

Den optiska densiteten eller ljusdämpningen per meter mäts genom att en ljusstråle passerar genom brandgaserna, varpå minskningen i intensitet mäts. Det är bara den



optiska linjerökdetektorn som fungerar enligt denna princip och dämpningen av ljuset beror dessutom på vilken våglängd det utsända ljuset har.

För joniserande rökdetektorer och optiska ljusspridningsdetektorer gäller att de inte fungerar enligt principen med ljusdämpning. Kravet för att kunna beräkna aktiveringstider med hjälp av testdata blir därför att det finns en korrelation mellan optiska densiteten och detektorernas respons.

När detektorns omgivning är känd återstår att beräkna aktiveringstiden med hjälp av detektormodellen. Denna kan delas in i en responsmodell, som beskriver hur sensorn i detektorn reagerar, och en modell för inträngning av brandgaser i detektorn (se figur 7.1).

Detektorns utformning inverkar på hur lätt brandgaserna transporteras in i den och till sensordelen i detektorn. Även inträngningsöppningarnas placering i förhållande till hastighetsprofilen i brandgaserna är en påverkande faktor. De olika typerna av sensorer som används i rökdetektorer reagerar olika beroende på aerosolpartiklarnas egenskaper. För optiska ljusspridningsdetektorer och linjerökdetektorer gäller dessutom att reaktionen varierar beroende på det använda ljusets våglängd, samt beroende på spridningsvinkeln för ljusspridningsdetektorn.

Beräkning av aktiveringstiden försvåras betydligt om den aktuella detektorn använder algoritmer, vilket påverkar hur detektorn reagerar. Algoritmer kan ofta vara mycket komplexa och varierar från detektor till detektor. De är dessutom ofta företagshemligheter och information om hur de är uppbyggda är därför mycket svår att få tag på.

Syftet med ovanstående text är att belysa några av de svårigheter som måste beaktas vid beräkning av detektoraktivering. I följande avsnitt behandlas först generella uttryck och begrepp som är viktiga vid beräkning av aktiveringstiden för rökdetektorer. Därefter beskrivs vissa detektor- och brandmodeller översiktligt. Sist i kapitlet behandlas tre olika detektionsmodeller.

## 7.1 Genomgång av uttryck och begrepp

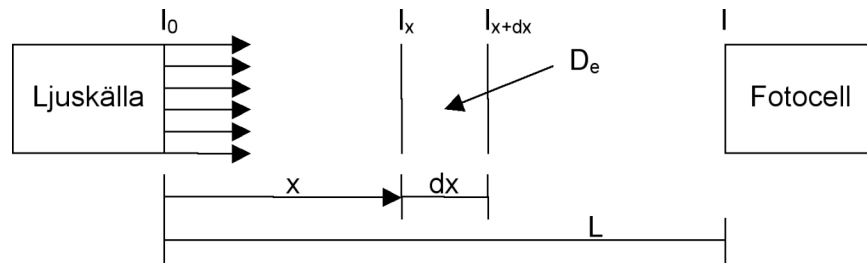
### 7.1.1 Optisk densitet och optisk densitet per meter

Inom brandområdet har det länge funnits ett behov av att kunna mäta och beräkna sikten vid brand, vilket har lett till utvecklingen av optisk densitet. Den optiska densiteten bestäms genom att mäta dämpningen av en ljusstråle med parallella strålar som passerar genom brandgaserna. En ljuskälla sänder ut ljus med den ursprungliga intensiteten  $I_0$  och en fotocell mäter ljusets dämpande intensitet  $I$  då strålen passerat sträckan  $L$  genom gaserna. I brandgaserna finns ett visst antal partiklar per  $m^3$ ,  $N$ . Varje partikel blockerar en viss yta i  $m^2$ ,  $A$ , och förhindrar på så sätt ljus från att nå fotocellen (se figur 7.2).

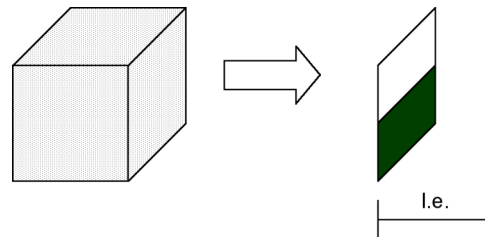
Produkten  $N \cdot A$  anger approximativt hur stor area som är blockerad per volymenhet av brandgaserna (se figur 7.3). För en ljusstråle med parallella strålar kommer en viss andel av strålens tvärsnittsarea att blockeras vid en transport av ljuset en längdenhet enligt

$$\alpha = N \cdot A$$

Detta motsvarar en minskning av ljusintensiteten eller en dämpning av intensiteten per längdenhet.  $N \cdot A$ , som fortsättningsvis kallas  $\alpha$ , har enheten  $m^{-1}$ .



Figur 7.2 Definierade begrepp som används vid härledning av optisk densitet och optisk densitet per meter



Figur 7.3  $N \cdot A$  motsvarar en blockerad andel av ljusstrålen per längdenhet.

En bit in i brandgaserna på avståndet  $x$  från ljuskällan benämns intensiteten  $I_x$  och ett litet avstånd  $dx$  därifrån benämns intensiteten  $I_{x+dx}$ . Skillnaden mellan de två intensiteterna  $I_x$  och  $I_{x+dx}$  kan uttryckas som

$$I_x - I_{x+dx}$$

samt med hjälp av dämpningen per meter som

$$\alpha \cdot dx \cdot I_x$$

d v s den andel av  $I_x$  som dämpas på avståndet  $dx$ . Om de två uttrycken sätts samman erhålls

$$I_x - I_{x+dx} = \alpha \cdot dx \cdot I_x \Rightarrow \frac{I_{x+dx} - I_x}{I_x} = -\alpha \cdot dx \Rightarrow \frac{dI}{I_x} = -\alpha \cdot dx$$

Uttrycket kan integreras mellan gränserna för intensiteterna,  $I_0$  och  $I$ , samt för avstånden, 0 och  $L$ , enligt

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I_x} = \int_0^L -\alpha \cdot dx \Rightarrow \ln I - \ln I_0 = -\alpha \cdot L$$

Efter omformning erhålls den slutliga formeln för dämpningen per meter.

$$\alpha = -\frac{1}{L} \cdot \ln \frac{I}{I_0}$$

Härledningen ovan gäller egentligen bara för monokromt ljus, d v s ljus med en våglängd, men det har visats att formeln stämmer bra även för vitt ljus. Detta har medfört införandet av optisk densitet och optisk densitet per meter. Den optiska

densiteten, som betecknas  $D_e$  och på engelska kallas optical density, motsvarar  $\alpha \cdot L$  med beteckningarna ovan.  $D_e$  saknar enhet och ges av formeln

$$D_e = -\ln \frac{I}{I_0} \quad \text{ekvation 7.1}$$

Den optiska densiteten per meter, som betecknas  $D_L$  och på engelska kallas optical density per meter, motsvarar  $\alpha$ .  $D_L$  hänger starkt ihop med sikten och har enheten  $m^{-1}$ . Den optiska densiteten per meter ges av formeln

$$D_L = -\frac{1}{L} \cdot \ln \frac{I}{I_0} \quad \text{ekvation 7.2}$$

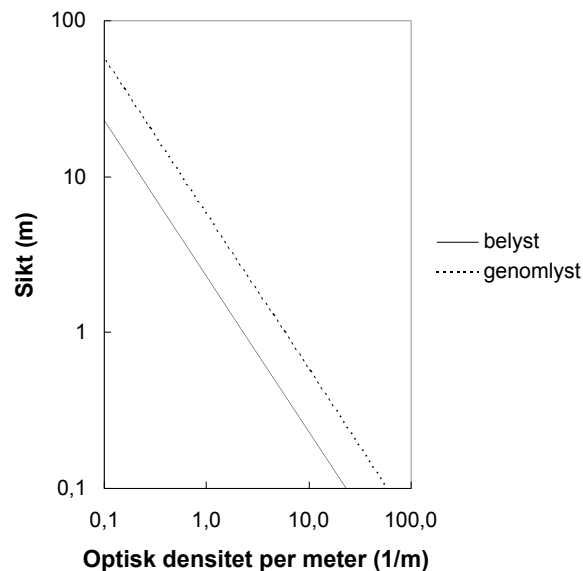
### 7.1.2 Optisk densitet per meter och sikt

Den optiska densiteten per meter är starkt kopplad till sikten. Approximativt gäller förhållandet mellan  $D_L$  och sikt enligt figuren nedan (se figur 7.4) (Butcher & Parnell, 1979). Förhållandet gäller för belysta föremål och ges av formeln

$$Sikt (m) = \frac{\ln 10}{D_L} \quad \text{ekvation 7.3}$$

För föremål som genomlyses, t ex genomlysta utrymningsskyltar, gäller

$$Sikt (m) = \frac{2,5 \cdot \ln 10}{D_L} \quad \text{ekvation 7.4}$$



Figur 7.4 Förhållandet mellan sikt och optisk densitet per meter

**Exempel 7.1**

En brand startar i ett utrymme där det finns en optisk linjerökdetektor. Detektorn larmar vid en dämpning av ljusintensiteten med 35 %. Ljussändare och mottagare är placerade på avståndet 5 meter från varandra. Brandgaserna kan antas fördelas jämt i utrymmet. Hur är sikten i utrymmet när detektorn aktiverar? Vad kan sägas om möjligheten att se en genomlyst utrymningsskylt då detektorn aktiverar?

**Lösning**

En dämning av ljusintensiteten med 35 % innebär att den detekterade intensiteten  $I$  är 65 % av den ursprungliga intensiteten  $I_0$ , d v s

$$\frac{I}{I_0} = \frac{0,65 \cdot I_0}{I_0} = 0,65$$

Den optiska densiteten per meter,  $D_L$ , blir

$$D_L = -\frac{1}{L} \cdot \ln \frac{I}{I_0} = -\frac{1}{5} \cdot \ln 0,65 \approx 0,0862$$

Detta motsvarar sikten

$$\text{Sikt (m)} = \frac{\ln 10}{D_L} = \frac{\ln 10}{0,0862} \approx 27 \text{ m}$$

Detta motsvarar sikten för en genomlyst skylt enligt

$$\text{Sikt (m)} = \frac{2,5 \cdot \ln 10}{D_L} = \frac{2,5 \cdot \ln 10}{0,0862} \approx 67 \text{ m}$$

Värdena 27 meter och 67 meter ska inte ses som några exakta värden på sikten utan värdena visar att sikten är mycket god när den givna detektorn aktiverar.

**Svar**

Sikten är god när detektorn aktiverar och en genomlyst skylt kan ses på långt avstånd.

**7.1.3 Rökpotential**

Rasbash och Phillips (1978) har utvecklat en metod för mätning av den så kallade rökpotentialen (*en. smoke potential*). Metoden går ut på att materialet tillåts brinna i en liten ugn varefter brandgaserna samlas i en volym på  $13 \text{ m}^3$ . Den optiska densiteten per meter mäts för brandgaserna i volymen och rökpotentialen, som betecknas  $D_0$ , räknas ut enligt formeln

$$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m}$$

ekvation 7.5

där  $D_0$  är rökpotentialen [ $\text{m}^2/\text{g}$ ],  $D_L$  är optisk densitet per meter [ $\text{m}^{-1}$ ],  $V$  är volym som brandgaserna ansamlas i [ $\text{m}^3$ ] och  $m$  är massan brunnat material [ $\text{g}$ ]

Ekvationen ovan (se ekvation 7.5) kan ge sken av att rökpotentialen bara beror av materialet som brinner, vilket inte är fallet. Rökpotentialen varierar också beroende på t ex syretillgång och typen av brand. I försöksuppställningen för bestämning av rökpotentialen råder välventilerade förhållanden och de framtagna värdena kan skilja sig markant från den rökpotential som kan förväntas för verkliga bränder. Skillnader på en faktor fyra till sex, dvs fyra till sex gånger högre rökpotential, är inte ovanligt vid rumsbränder (Drysdale, 1999). Dessutom har det visats att den framtagna rökpotentialen ibland överskattar rökutvecklingen i initialskedet av branden. Skillnaden mellan rökpotentialen för glödbränder och flambränder för olika material redovisas i tabellen nedan (se tabell 7.1). Generellt gäller att rökpotentialen är större för glödbränder än för flambränder i samma material. Andra faktorer som påverkar rökpotentialen är materialets placering, t ex i taket, på väggen eller på golvet, och inkommande strålning mot det brinnande materialet. Stora skillnader har dessutom noterats för bränder före och efter övertändning.

Tabell 7.1 Rökpotential för olika material vid glödbrand och flambrand (Drysdale, 1999)

Material	Rökpotential ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	
	Flambrand	Glödbrand
Spånskiva	0,085	0,44
Masonitskiva	0,081	0,39
Plywood av björk	0,039	0,39
Alfa-cellulosa	0,051	0,55
Fast PVC-plast	0,39	0,41
Expanderad ABS-plast	0,76	0,97
Fast PUR-plast	0,97	0,39
Mjuk PUR-plast	0,22	1,2
Gipsskiva	0,010	0,090

Rökpotentialen kan mätas för olika material under olika förhållanden, men tar inte hänsyn till hur fort materialet brinner. För trämaterial och mjuk polyuretanskum skiljer det t ex en faktor två till tre i rökpotential, men experiment med flambränder visar att sikten för bränder i polyuretanskum försämras betydligt snabbare. Detta beror på att polyuretanskum har en större massavbrinning än trämaterial och därför snabbare bildar mer partiklar som bidrar till försämrad sikt.

Utvecklingen inom bland annat syrgaskalorimetri har medfört behovet av en metod att mäta rökpotentialen kontinuerligt för en brand. Detta har lett till införandet av SEA, specific extinction area, som motsvarar  $D_0$  och ges av formeln

$$SEA = D_L \cdot \frac{V_f}{m_f}$$

där SEA är specific extinction area [ $\text{m}^2/\text{g}$ ],  $D_L$  är optisk densitet per meter [ $\text{m}^{-1}$ ],  $V_f$  är volymflödet utsugen luft vid syrgaskalorimetri omräknat till omgivningens temperatur [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] och  $m_f$  är massavbrinningen av materialet [ $\text{g}/\text{s}$ ].

### Exempel 7.2

I en sjukhuskorridor ( $25 \cdot 4 \cdot 3 \text{ m}^3$ ) vill man placera en soffa med PUR-skum (polyuretanskum). Hur stor mängd PUR-skum får soffan innehålla om sikten inte ska understiga 10 meter vid en flambrand i soffan? Antag att brandgaserna fördelas jämt i korridoren.

### Lösning

Sikten 10 meter motsvarar en optisk densitet per meter som är

$$D_L = \frac{\ln 10}{\text{Sikt (m)}} = \frac{\ln 10}{10} \text{ m}^{-1} = 0,2303 \text{ m}^{-1}$$

Från tabellen ovan (se tabell 7.1) erhålls  $D_0 = 0,22 \text{ m}^2/\text{g}$  (flexible polyurethane foam) vilket ger

$$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m} \Rightarrow m = D_L \cdot \frac{V}{D_0} = 0,2303 \cdot \frac{25 \cdot 4 \cdot 3}{0,22} \text{ g} \approx 300 \text{ g}$$

d v s det krävs ungefär 300 gram PUR-skum för att sikten ska bli 10 meter vid en flambrand.

### Svar

Soffan får innehålla maximalt 300 gram PUR-skum.

#### 7.1.4 Olika uttryck för optisk densitet och optisk densitet per meter

Den optiska densiteten kan uttryckas på olika sätt beroende varifrån informationen hämtas. På senare tid har den optiska densiteten uttryckt med den naturliga logaritmen blivit allt vanligare. Denna definition av optisk densitet har använts genomgående i framställningen ovan och ges enligt tidigare som

$$D_e = -\ln \frac{I}{I_0}$$

där  $I_0$  är odämpad ljusintensitet,  $I$  är dämpad ljusintensitet och  $D_e$  är den optiska densiteten.

Den optiska densiteten per meter blir i detta fall enligt tidigare

$$D_L = -\frac{1}{L} \cdot \ln \frac{I}{I_0}$$

där  $D_L$  är den optisk densitet per meter [ $m^{-1}$ ] och  $L$  är sträckan som ljuset färdas [m].

I Europa användes tidigare en annan definition av optisk densitet och optisk densitet per meter med tiologaritmen som bas. Den optiska densiteten och den optiska densiteten per meter ges av

$$D_{10\log} = -10 \cdot \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad \text{ekvation 7.6}$$

$$D_{L,10\log} = -10 \cdot \frac{1}{L} \cdot \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad \text{ekvation 7.7}$$

där  $D_{10\log}$  är den optiska densiteten [dB] och  $D_{L,10\log}$  är den optiska densiteten per meter [dB/m]. Enheten för  $D_{L,10\log}$  är dB/m som även brukar kallas obscura, d v s 1 obscura är 1 dB/m.

Vid definitionen av  $D_{10\log}$  används faktorn tio gånger tiologaritmen i likhet med ljudläran.  $D_{10}$  användes tidigare ofta vid framtagning av värden på rökpotential, som då får enheten  $dB \cdot m^2/g$  eller  $obscura \cdot m^3/g$ .

I USA används ofta ett annat uttryck för optisk densitet och optisk densitet per meter med tiologaritmen och utan faktorn tio enligt

$$D_{\log} = -\log_{10} \frac{I}{I_0} \quad \text{ekvation 7.8}$$

$$D_{L,\log} = -\frac{1}{L} \cdot \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad \text{ekvation 7.9}$$

där  $D_{\log}$  är den optiska densiteten och  $D_{L,\log}$  är optiska densiteten per meter [ $m^{-1}$ ].

De tre olika sätten att skriva optisk densitet och optisk densitet per meter kan leda till viss förvirring. Dessutom är enheterna för  $D_L$  och  $D_{L,\log}$  lika, vilket gör dessa två mått extra svåra att skilja från varandra. När man använder tabellerade värden för rökpotentialer är det viktigt att ta reda på vilken definition av optisk densitet som har använts. Med tillämpning av logaritmlagar kan man visa hur de olika måtten på optisk densitet förhåller sig till varandra. För  $D_{10\log}$ ,  $D_{\log}$  och  $D_e$  gäller sambandet

$$D_e = D_{\log} \cdot \ln 10 = D_{10\log} \cdot \frac{\ln 10}{10} \quad \text{ekvation 7.10}$$

Det kan visas att samma samband även gäller för den optiska densiteten per meter och rökpotentialen (se exempel 7.3) baserad på de olika definitionerna av optisk densitet. De index som använts i texten ovan, d v s  $_{10\log}$ ,  $_{L,10\log}$ ,  $_{\log}$  och  $_{L,\log}$  har utnyttjats för att skilja mellan de olika måtten. I övrig litteratur kan andra beteckningar förekomma. Exempelvis kan  $D_{10\log}$ ,  $D_{\log}$  och  $D_e$  alla betecknas med  $D$ . I tabellen nedan jämförs den optiska densiteten per meter uttryckt på de tre sätten som beskrivits ovan (se tabell 7.2)

Tabell 7.2 Jämförelse mellan  $I/I_0$ , dämpad ljusintensitet  $((I-I_0)/I)$  och optisk densitet ( $D_e$ ,  $D_{10\log}$ ,  $D_{\log}$ )

$I/I_0$	$(I-I_0)/I_0$	$D_e$	$D_{10\log}$	$D_{\log}$
0,90	0,10	0,11	0,46	0,05
0,50	0,50	0,69	3,01	0,30
0,10	0,90	2,30	10,00	1,00
0,05	0,95	3,00	13,01	1,30
0,01	0,99	4,61	20,00	2,00

### Exempel 7.3

I en amerikans bok anges rökpotentialen till  $0,52 \text{ m}^2/\text{g}$  för en ABS-plast (flambrand). Värdet gäller då den optiska densiteten definieras enligt ekvation 7.8. Beräkna rökpotentialen  $D_0$ .

### Lösning

Låt  $D_{0,\log}$  beteckna rökpotentialen för ABS-plasten. För  $D_{0,\log}$  och  $D_0$  gäller att

$$D_{0,\log} = D_{L,\log} \cdot \frac{V}{m} \quad \text{och} \quad D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m}$$

Vidare gäller att

$$D_{L,\log} = \frac{1}{L} \cdot D_{\log} \quad \text{och} \quad D_L = \frac{1}{L} \cdot D_e$$

Sambandet mellan  $D_e$  och  $D_{\log}$  ges av ekvation 7.10 enligt

$$D_e = D_{\log} \cdot \ln 10 \Rightarrow \frac{D_e}{\ln 10} = D_{\log}$$

Med hjälp av ovanstående formler kan det visas att förhållandet mellan  $D_{0,\log}$  och  $D_0$  är samma som förhållandet mellan  $D_e$  och  $D_{\log}$ .  $D_0$  blir slutligen

$$\begin{aligned} D_{0,\log} &= D_{L,\log} \cdot \frac{V}{m} = D_{\log} \cdot \frac{1}{L} \cdot \frac{V}{m} = \frac{D_e}{\ln 10} \cdot \frac{1}{L} \cdot \frac{V}{m} = \frac{1}{\ln 10} \cdot D_L \cdot \frac{V}{m} = \frac{1}{\ln 10} \cdot D_0 \Rightarrow \\ \Rightarrow D_{0,\log} &= \frac{1}{\ln 10} \cdot D_0 \Rightarrow D_0 = \ln 10 \cdot D_{0,\log} = \ln 10 \cdot 0,52 \text{ m}^2/\text{g} \approx 1,2 \text{ m}^2/\text{g} \end{aligned}$$

### Svar

$D_0$  är  $1,2 \text{ m}^2/\text{g}$ . Detta värde skiljer sig något från det värde som anges i tabell 7.1, men är i samma storleksordning



### 7.1.5 Yield

För att kunna uppskatta toxiciteten vid en brand krävs kännedom om brandgasernas sammansättning, d v s innehållet av t ex CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> och sot. Koncentrationen av sot i gaserna kan dessutom användas till att beräkna sikten och volymandelen av vissa produkter, t ex CO<sub>2</sub> och kolväten, kan ge en indikation på när elektrokemiska gasdetektorer detekterar en brand. En förutsättning för att brandgasernas sammansättning ska kunna beräknas är att olika produkters och syrets yilder är kända. Yield är massan av ett ämne, m<sub>i</sub>, som bildas per massan avgivet bränsle, m<sub>f</sub>, enligt

$$y_i = \frac{m_i}{m_f} \quad \text{ekvation 7.11}$$

där y<sub>i</sub> är yield för ämne i, m<sub>i</sub> är massan av ämne i [g] och m<sub>f</sub> är massan avgivet bränsle [g].

Yield för syre skiljer sig från övriga yilder genom att den anger den mängd syre som förbrukas per massan avgivet bränsle vid branden enligt

$$y_o = \frac{m_o}{m_f}$$

där y<sub>o</sub> är yield för syre, m<sub>o</sub> är massan förbrukat syre [g] och m<sub>f</sub> är massan avgivet bränsle [g].

I litteraturen finns främst yilder för CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, kolväten samt sot. Yilden för en viss produkt beror främst på tre faktorer.

- materialet som brinner
- typen av förbränning (flambrand eller glödbrand)
- förhållandet mellan bränslet och syret vid förbränningen

Förhållandet mellan bränslet och syret anges ofta med ekvivalenskvoten  $\phi$  som ges av

$$\phi = \frac{m_f / m_{ox}}{r} \quad \text{ekvation 7.12}$$

där m<sub>f</sub> är massan bränsle [g], m<sub>ox</sub> är massan syre [g] och r är kvoten m<sub>f</sub> / m<sub>ox</sub> vid stökiometri. I ekvation 7.12 kan m<sub>ox</sub> bytas mot massan för luft, m<sub>luft</sub>, om det sker på alla ställen i uttrycket.

Yilder har tagits fram experimentellt för många material och deras olika produkter och experimenten kan delas in i

- småskaliga experiment
- huvexperiment
- rumsexperiment

## Småskaliga experiment

Tewarson (1995) har, utifrån småskaliga experiment, utvecklat en metod för beräkning av yielder. Metoden bygger på att kvoten mellan yielden,  $y_i$ , och yielden vid välventilerade förhållanden,  $y_{vw,i}$ , uttrycks som en funktion av ekvivalenskvoten  $\phi$ .

$$\frac{y_i}{y_{vw,i}} = f(\phi)$$

Tewarson (1995) har tabulerat värden på  $y_{vw,i}$  utifrån experiment samt angivit ekvationer för kvoten  $y_i/y_{vw,i}$  för olika bränslen. Ett exempel på en typisk ekvation är den för  $y_{CO}$  för trä som ges av

$$\frac{y_{CO}}{y_{vw,CO}} = 1 + \frac{44}{\exp(\phi/1,3)^{-3,5}}$$

Ekvationernas giltighet för storskaliga bränder är svår att uppskatta eftersom de är framtagna utifrån småskaliga experiment med små turbulenta flammor, strålning från strålningspaneler och kontrollerad tillförsel av syre och bränsle.

## Huvexperiment

Huvexperiment kan användas för bestämning av yielder för olika produkter vid en brand. Experimenten bygger på att brandgaserna från en brand bildar ett varmt brandgaslager i en huv, varifrån ett känt flöde transporteras (se figur 7.5). Genom att variera flödet kan en konstant höjd till brandgaslagret erhållas. Höjden mellan branden och brandgaslagret i huven ger upphov till en plym för vilken en global ekvivalenskvot,  $\phi_p$ , kan definieras enligt

$$\phi_p = \frac{\dot{m}_f}{r \cdot Y_{ox,p} \cdot \dot{m}_p} = \frac{\dot{m}_f / \dot{m}_{ox}}{r}$$

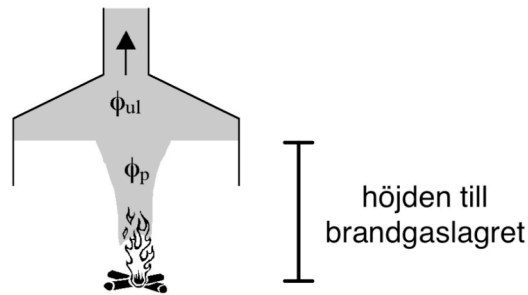
där är massflödet bränsle [g/s],  $\dot{m}_p$  är massflödet i plymen [g/s],  $Y_{ox,p}$  är massfraktionen syre i plymen,  $\dot{m}_{ox}$  är massflödet syre [g/s] och  $r$  är kvoten  $\dot{m}_f / \dot{m}_{ox}$  vid stökiometri.

Genom att hålla massflödet bränsle och höjden till brandgaslagret konstant i huvexperimenten förblir  $\phi_p$  konstant, d v s brandgasernas sammansättning i huven förblir densamma genom hela experimentet. Den globala ekvivalenskvoten kan också uttryckas för brandgaslagret,  $\phi_{ul}$ , enligt

$$\phi_{ul} = \frac{m_f / m_{ox}}{r}$$

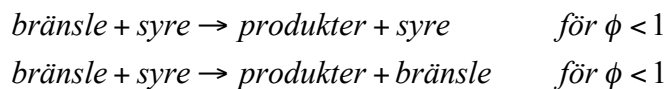
där  $m_f$  är mängden gasformigt bränsle som avgetts för att bilda brandgaserna [g] och  $m_{ox}$  är mängden syre som fanns tillgängligt vid bildandet av brandgaserna [g]

Vid konstant höjd till brandgaslagret är de två globala ekvivalenskvoterna lika, d v s  $\phi = \phi_p = \phi_{ul}$ , men vid transienta förhållanden skiljer de sig från varandra.



Figur 7.5 Huv med brandgaser som används vid framtagning av yielder

Yielder kan räknas ut för olika produkter genom att mäta brandgasernas sammansättning, massflödet från huvan och massflödet bränsle. Data på yielder för olika värden på  $\phi$  har bland annat tagits fram av Beyler (1986) som även föreslagit ekvationer för förhållandet mellan yielder och ekvivalenskvoter. Ekvationerna bygger på de förenklade reaktionsformlerna



där produkterna bara utgörs av  $\text{CO}_2$  och  $\text{H}_2\text{O}$ . Om överblivet bränsle antas utgöra total mängd kolväten, THC (*en. total hydro carbon*), kan ekvationerna för kvoten  $f$  mellan yilden vid ett visst  $\phi$  och den teoretiskt maximala yilden uttryckas som

$$\begin{aligned} f_{\text{CO}_2} = f_{\text{H}_2\text{O}} = f_{\text{O}_2} &= 1 && \phi < 1 \\ f_{\text{CO}_2} = f_{\text{H}_2\text{O}} = f_{\text{O}_2} &= 1/\phi && \phi > 1 \\ f_{\text{H}_2} = f_{\text{CO}} &= 0 && \text{alla } \phi \\ f_{\text{THC}} &= 0 && \phi < 1 \\ f_{\text{THC}} &= 1 - 1/\phi && \phi > 1 \end{aligned}$$

där

$$f_i = \frac{y_i}{y_{1,\infty}}$$

Ekvationerna ovan kan inte användas till att uppskatta yilden för CO och  $\text{H}_2$  men ger däremot goda uppskattningar av yielder för  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  och THC. Även för  $\text{CO}_2$  är överensstämmelsen relativt god. Avvikelsen mellan ekvationerna och experimenten för  $\text{CO}_2$  beror på att hänsyn inte tagits till att CO kan utgöra en av produkterna. Det kan konstateras att CO bildas på bekostnad av främst  $\text{CO}_2$  och inte THC, d v s då CO bildas minskar produktionen av  $\text{CO}_2$ .

För CO gäller att  $f_{\text{CO}}$  är kring noll för låga värden på  $\phi$  varefter  $f_{\text{CO}}$  ökar nästan linjärt upp till ett konstant värde för stora  $\phi$ . Om  $y_{\text{CO}}$  används istället för  $f_{\text{CO}}$  erhålls ofta bättre överensstämmelse för olika bränslen (Guttok & Roby, 1995) och utifrån data från huvexperiment har följande ekvationer föreslagits (Karlsson & Quintiery, 2000)

$$\begin{array}{ll}
 y_{CO} = 0 & \phi > 0,5 \\
 y_{CO} = 0,3 \cdot \phi - 0,15 & 0,5 < \phi < 1,2 \\
 y_{CO} = 0,21 & \phi < 1,2
 \end{array}$$

Experiment har visat att  $y_{CO}$  inte bara beror av  $\phi$  utan även är en funktion av temperaturen. Guttok och Roby (1995) anger ekvationer för  $y_{CO}$  där även temperaturen beaktas. Ofta räcker dock ovanstående ekvationer för att uppskatta yelden för CO.

Huvexperimenten skiljer sig på en del viktiga punkter från bränder i verkliga byggnader. En viktig skillnad är att det nedre lagret i experimenten nästan är oändligt och därför inte värms upp, vilket ofta är fallet för bränder i rum. Dessutom är höjden till brandgaslagret konstant i experimenten medan höjden ofta varierar för verkliga bränder. Vid bränder med varierande höjd till brandgaslagret gäller approximativt de givna ekvationerna ovan om den globala ekvivalenskvoten för övre brandgaslagret,  $\phi_{ub}$ , används.

### Rumsexperiment

För bränder i verkliga rum är det ofta mycket svårt att uppskatta den mängd av en produkt som bildas per gram brunnet bränsle. Faktorer som påverkar är bland annat typen av material som brinner, återstrålningen från de varma brandgaserna och nedre lagrets temperatur. Mulholland (1990) har sammanställt resultat från experiment i full skala som utförts vid NIST. Utifrån dessa resultat har Mulholland och en panel av brandexperter föreslagit följande riktvärden.

$$\begin{array}{l}
 y_{CO} = 0,3 \text{ g/g} \\
 y_{CO_2} = 1,1 \text{ g/g} \\
 y_{O_2} = 0,9 \text{ g/g}
 \end{array}$$

Värdena gäller efter övertändning och i de fall bränslet främst utförs av trä eller plaster som innehåller syre, t ex PMMA.

$$\begin{array}{l}
 y_{CO} = 0,2 \text{ g/g} \\
 y_{CO_2} = 1,5 \text{ g/g} \\
 y_{O_2} = 1,8 \text{ g/g}
 \end{array}$$

Värdena gäller efter övertändning för bränder i typiska kontorslokaler.

#### 7.1.6 POD

Mängden aerosoler i brandgaser kan mätas experimentellt och anges i massan partiklar per kubikmeter gas, vilket brukar kallas masskoncentrationen. Masskoncentrationen kan även beräknas utifrån data om yelder för bränder i olika bränslen. Seader och Einhorn (1977) har experimentellt visat att det råder ett proportionellt förhållande mellan optisk densitet per meter och masskoncentrationen. Konstanten benämns POD, Particulate Optical Density, och är relativt oberoende av bränslet men är däremot starkt beroende av om det är en glödbbrand eller en flambrand. Förhållandet mellan den optiska densiteten och masskoncentrationen kan skrivas som

$$D_L = POD \cdot \text{masskoncentrationen}$$

ekvation 7.13

där

$$POD = 7,6 \text{ m}^2 / \text{g} \text{ (flambrand)}$$

$$POD = 4,4 \text{ m}^2 / \text{g} \text{ (glödbrand)}$$

**Exempel 7.4**

För fast PUR-skum anges ett värde på 0,125 gram sotpartiklar per gram brunnet bränsle då skummet brinner med flamma. Vilken rökpotential motsvarar detta?

**Lösning**

Låt  $V$  vara den volym som brandgaserna ansamlas i och  $m$  massan brunnet bränsle vid en brand. Massan sot,  $m_s$ , kan uttryckas med hjälp av yelden sot,  $y_s$ , och massan brunnet bränsle enligt

$$y_s = \frac{m_s}{m} \Rightarrow m_s = m \cdot y_s$$

Masskoncentrationen sot är kvoten mellan massan sot och den volym som brandgaserna ansamlas i. Med hjälp av ekvationen ovan kan sambandet omformas enligt

$$\text{masskoncentrationen} = \frac{m_s}{V} = y_s \cdot \frac{m}{V}$$

För rökpotentialen,  $D_0$ , och den optiska densiteten per meter,  $D_L$ , gäller

$$D_0 = D_L \frac{V}{m} \Rightarrow D_L = D_0 \cdot \frac{m}{V}$$

Förhållandet mellan  $D_0$  och  $y_s$  erhålls slutligen enligt

$$\begin{aligned} D_L = POD \cdot \text{masskoncentrationen} &\Rightarrow D_0 \cdot \frac{m}{V} = POD \cdot y_s \cdot \frac{m}{V} \Rightarrow \\ \Rightarrow D_0 &= POD \cdot y_s \end{aligned}$$

Rökpotentialen för PUR-skummet blir

$$D_0 = POD \cdot y_s = 7,6 \cdot 0,125 \text{ m}^2 / \text{g} = 0,95 \text{ m}^2 / \text{g}$$

**Svar**

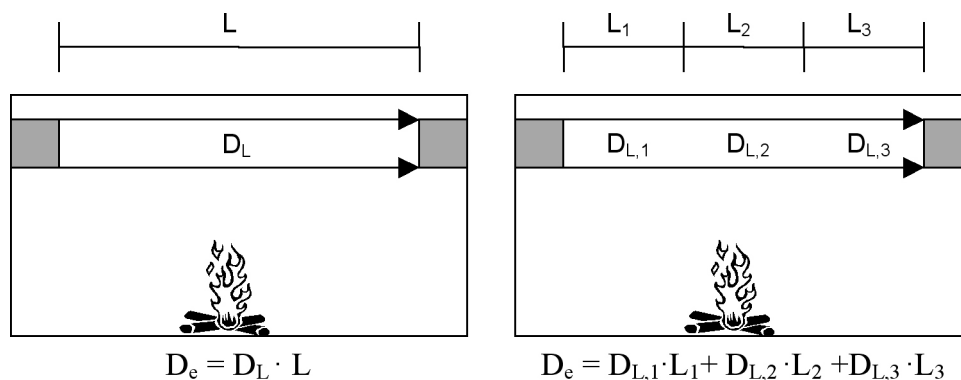
Rökpotentialen blir  $0,95 \text{ m}^2 / \text{g}$ . I tabell 7.1 anges värdet  $0,97 \text{ m}^2 / \text{g}$  för fast PUR-skum.

## 7.2 Detektormodeller

### 7.2.1 Optiska linjerökdetektorer

En linjerökdetektor består av en ljussändare och en mottagare som är placerade på ett avstånd  $L$  från varandra. När ljusstrålen passerar genom brandgaser dämpas den och vid en viss dämpning av intensiteten aktiverar detektorn. Tillverkare av optiska ljusspridningsdetektorer anger ofta den gräns då detektorn aktiverar, den så kallade larmgränsen. Larmgränsen anges antingen som den dämpning av intensiteten som krävs för att aktivera detektorn.

Vid uppskattning av aktiveringstiden för optiska linjerökdetektorer kan ofta brandmodeller för beräkning av den optiska densiteten per meter användas. Modellerna kan delas in i handberäkningar, zonmodeller och fältmodeller. Några olika modeller beskrivs mer ingående i kapitel 7.3. För både handberäkningar och zonmodeller erhålls bara ett värde på den optiska densiteten per meter,  $D_L$ . Den optiska densiteten,  $D_e$ , kan då räknas ut för avståndet  $L$  mellan sändare och mottagare genom att multiplicera  $L$  och  $D_L$ . Fältmodeller ger däremot värden på  $D_L$  i flera punkter. Den optiska densiteten kan i detta fall räknas ut genom att multiplicera de olika värdena på  $D_L$  med de små delavstånden längs sträckan mellan sändare och mottagare (se figur 7.6).



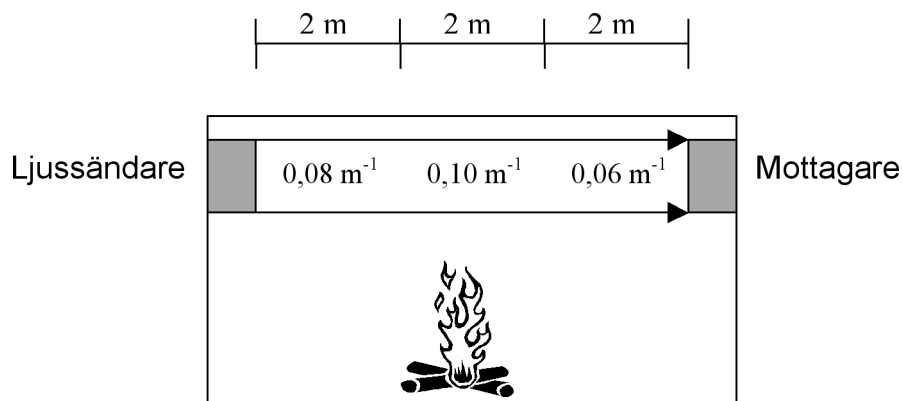
Figur 7.6 Skillnaden mellan beräkning av  $D_e$  för handberäkningar eller zonmodeller (vänster) och fältmodeller (höger).

Dämpningen av ljusintensiteten beror av våglängden på det ljus som används. Om ljusets våglängd minskas så ökar dämpningen. Detta beror på att partiklar måste ha en diameter i samma storleksordning eller större än våglängden för att blockera ljuset. På så sätt kommer ljus med kortare våglängd att blockeras av små partiklar som inte påverkar ljus med längre våglängd. Det har visats att rökpotentialer framtagna för ljus med lång våglängd kan vara upp till fem gånger mindre än rökpotentialer framtagna för ljus med kortare våglängd (Robert & Schiffiniti, 2001).

Dämpningens våglängdsberoende ställer krav på att data om rökpotentialen som används i brandmodellerna måste vara framtagen med ljus som har samma våglängd som det ljus som används av den aktuella optiska ljusspridningsdetektorn. De flesta optiska linjerökdetektorer på marknaden använder ljus som ligger i det infraröda området. Oftast anges dock inte för vilka våglängder som rökpotentialer är framtagna för.

**Exempel 7.5**

En brand i ett litet rum simuleras med en fältmodell. I rummet finns en optisk linjerökdetektor. Den optiska densiteten per meter har räknats ut för tre punkter mellan ljussändaren och mottagaren för tiden 2 minuter. Resultaten från simuleringar redovisas i figuren nedan. Beräkna dämpningen av ljusintensiteten mellan sändare och mottagare vid tiden 2 minuter.

**Lösning**

Den optiska densiteten blir

$$D_e = D_{L,1} \cdot L_1 + D_{L,2} \cdot L_2 + D_{L,3} \cdot L_3 = 0,08 \cdot 2 + 0,10 \cdot 2 + 0,06 \cdot 2 = 0,48$$

Kvoten  $I/I_0$  ges av ekvation 7.1 enligt

$$D_e = -\ln \frac{I}{I_0} \Rightarrow \frac{I}{I_0} = e^{-D_e} = e^{-0,48} \approx 0,62$$

Detta motsvarar dämpningen

$$1 - \frac{I}{I_0} = 1 - 0,62 = 0,38 = 38\%$$

**Svar**

Dämpningen av intensiteten är 38%, d v s 38% av intensiteten blockeras av partiklar i brandgaserna.

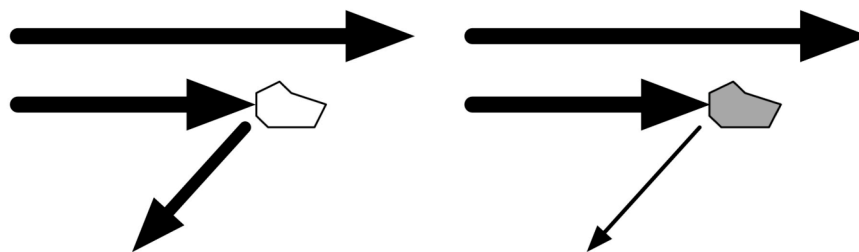
**7.2.2 Optiska ljusspridningsdetektorer**

Optiska ljusspridningsdetektorer består av en ljussändare och en mottagare som är placerade i vinkel mot varandra. När brandgaser strömmar genom detektorn reflekteras en del av ljuset via partiklar till mottagaren. Vid en viss infallande intensitet aktiverar detektorn. Andelen av ljuset som reflekteras till mottagaren beror

bland annat på partikelkoncentrationen, partikelstorleksfördelningen, partiklarnas brytningsindex, ljusets våglängd och vinkeln mellan sändaren och mottagaren. Information om våglängden och vinkeln är ofta möjlig att få tag på via tillverkaren av detektorn. Det finns i dagsläget inga praktiska metoder som kan modellera detektoraktivering utifrån ovanstående parametrar. Oftast används istället antagandet att en optisk ljusspridningsdetektor aktiverar vid en viss optisk densitet per meter.

En optisk ljusspridningsdetektor aktiverar vid olika optisk densitet per meter för olika bränder, d v s bränder med olika bränsle och förbrännings sätt. Ett belysande exempel är en optisk ljusspridningsdetektor som aktiverar vid en optisk densitet per meter på  $0,029\text{m}^{-1}$  för en glödbrand i en bomullsveke, men vid en optisk densitet per meter på  $0,15\text{m}^{-1}$  för flambrand i fotogen. Vid aktiveringstillfället är den reflekterade ljusintensiteten till mottagaren i detektorn den samma för båda fallen. Ovanstående fenomen beror bland annat på att brandgaser från bränder i fotogen innehåller små mörka partiklar och brandgaser från glödbränder i bomullsvekar innehåller stora ljusa partiklar. De ljusa partiklarna reflekterar en större andel av det infallande ljuset än de mörka.

Ett annat sätt att förstå fenomenet ovan är att tänka sig att brandgaser från de två bränderna tillåts ansamlas i var sitt utrymme. När samma optiska densitet per meter uppnås i de båda utrymmena gäller att samma andel av infallande ljus blockeras av brandgaserna. De brandgaser som bildats vid glödbranden i bomullsveken innehåller stora ljusa aerosolpartiklar. Dessa reflekterar en stor andel och absorberar en liten andel av det infallande ljuset. För flambranden i fotogen gäller att det bildats små mörka partiklar. Dessa absorberar en stor andel och reflekterar en liten andel av det infallande ljuset (se figur 7.7). Trots samma optiska densitet per meter är alltså den reflekterade andelen av det infallande ljuset olika.



Figur 7.7 De partiklar som bildas vid glödbranden i bomullsveken reflekterar en stor andel av det infallande ljuset (vänster) medan de partiklar som bildas vid flambranden i fotogen reflekterar en liten andel av det infallande ljuset (höger).

För att kunna modellera detektoraktivering av optiska ljusspridningsdetektorer är det nödvändigt att veta den optiska densiteten per meter,  $D_L$ , då detektorn aktiverar för den aktuella branden. Tillverkare anger ibland ett värde på  $D_L$  vid aktivering (*en. response threshold value*). Detta värde tas fram i en vindtunnel där partikelkoncentrationen ökas successivt. Proceduren beskrivs i standarden SS-EN 54-7. Värdet på  $D_L$  är bara giltigt för den partikelkoncentration, partikelstorleksfördelning, och färg som anges i standarden.

Värden på  $D_L$  vid aktivering för olika bränder för en optisk ljusspridningsdetektor går ofta inte att få tag på. Det kan i vissa sammanhang vara möjligt att använda de maxgränser på  $D_L$  som anges för de olika testbränderna i SS-EN 54-7 (se tabell 7.3).



Tabell 7.3 Värden på maximala optiska densiteten per meter för de olika testbränderna enligt standarden SS-EN 54-7.

Beskrivning	Nummer	$D_{L, \max}$
Glödbrand i trä (pyrolysis)	T2	0,46 m <sup>-1</sup>
Glödbrand (med glöd) i bomull	T3	0,46 m <sup>-1</sup>
Flambrand i plast (PUR)	T4	0,29 m <sup>-1</sup> till 0,39 m <sup>-1</sup>
Flambrand i vätska (n-heptan)	T5	0,21 m <sup>-1</sup> till 0,29 m <sup>-1</sup>

### 7.2.3 Joniserande rökdetektorer

En joniserande rökdetektor består av en joniseringskammare med två plattor som är kopplade till plus- respektive minuspolen på en DC-strömkälla. Kammaren innehåller även en liten mängd radioaktivt preparat. Det radioaktiva preparatet sänder ut  $\alpha$ -partiklar som joniserar luftens molekyler till positivt laddade joner och negativt laddade elektroner. På grund av potentialskillnaden mellan plattorna dras jonerna och elektronerna till respektive platta, vilket ger upphov till en elektrisk ström i kretsen. När aerosolpartiklar rör sig genom detektorn, dvs mellan plattorna, fastnar jonerna och elektronerna på partiklarna och strömmen minskar. Minskningen av strömmen mellan plattorna,  $\Delta I$ , är en funktion av antalet partiklar och partiklarnas diameter. Beräkningsformeln för  $\Delta I$  är ganska komplicerad och innehåller, förutom antalet partiklar och partikeldiametern, även en kammarkonstant (Bukowski & Averill, 1998). Kammarkonstanten varierar för olika detektormodeller.

Med tillräcklig indata är det alltså möjligt att beräkna minskningen av strömmen i kretsen, vilket kan användas till beräkning av aktiveringstiden. Det finns dock inga brandmodeller som kan beräkna nödvändiga indata. Dessutom finns information om kammarkonstanten ofta inte tillgänglig. Ett av de få sätten att i dagsläget uppskatta aktiveringstiden är att använda uppskattningar av den optiska densiteten per meter vid aktivering (Bukowski & Averill, 1998). Uppskattningarna kan t ex utföras utifrån maxgränserna i standarden SS-EN 54-7 (se tabell 7.3) eller med hjälp av information från experiment.

### 7.2.4 Modell för inträngning av brandgaser i detektorn

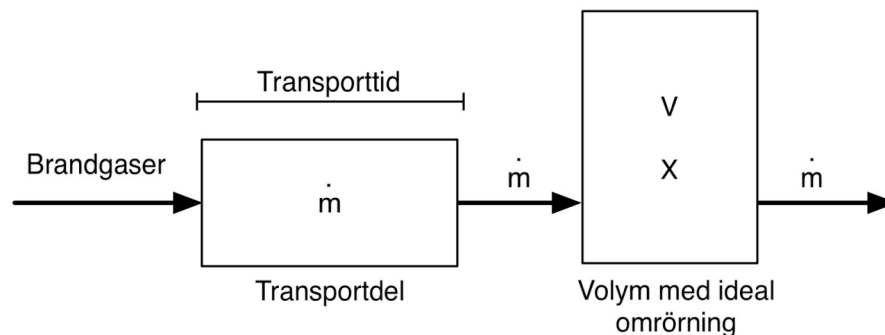
Optiska ljusspridningsdetektorer och joniserande rökdetektorer är inbyggda för att förhindra att t ex insekter kryper in i dem eller för att skydda dem mot yttre våld och stötar. Inbyggnaden innebär ett motstånd för brandgaserna att tränga in i detektorn, vilket medför en tidsfördröjning vid detektering av brand. Beroende på detektorns utformning kan det ta olika lång tid för brandgaserna att tränga in i och aktivera detektorn. Heskestad har föreslagit en modell för uppskattning av tidsfördröjningen. Den tid det tar för brandgaserna att tränga in i detektorn kallas karakteristisk tid och ges av formeln

$$\text{karakteristisk tid} = \frac{L}{u_e}$$

där karakteristisk tid ges i sekunder,  $u_e$  är brandgasernas hastighet [m/s] och  $L$  är karakteristiska längden (*en. characteristic length*) [m].  $L$  kan tas fram experimentellt för olika detektormodeller. Uttrycket för karakteristisk tid fungerar bra för höga

hastigheter (ungefär  $>0,5$  m/s), men ger ett något missvisande resultat vid låga hastigheter.

Cleary, Chernovsky, Grosshandler och Anderson (2000) har utvecklat en mer avancerad modell som även fungerar vid lägre hastigheter. Modellen bygger på att detektorn antas bestå av en transportdel där brandgaserna transporteras med massflödet  $\dot{m}$  och en volym,  $V$ , med ideal omrörning och där detektorns sensor är placerad (se figur 7.8). När brandgaserna tränger in i detektorn måste de först transporteras till volymen, vilket tar tiden  $\delta t$ . Därefter ökar massfraktionen,  $X$ , i volymen på grund av det tillförda massflödet tills tillräckligt hög massfraktion uppnåtts och detektorn aktiverar. Massfraktionen är direkt proportionell mot utdatasignalen från detektorn. Modellen är giltig för hastigheter mellan 0,02 och 0,6 m/s. Ekvationerna för masskoncentrationen och signalen från detektorn återges inte här, utan läsaren hänvisas till Cleary, Chernovsky, Grosshandler och Anderson (2000).



Figur 7.8 Schematisk bild av en detektors uppbyggnad

### 7.3 Brandmodeller

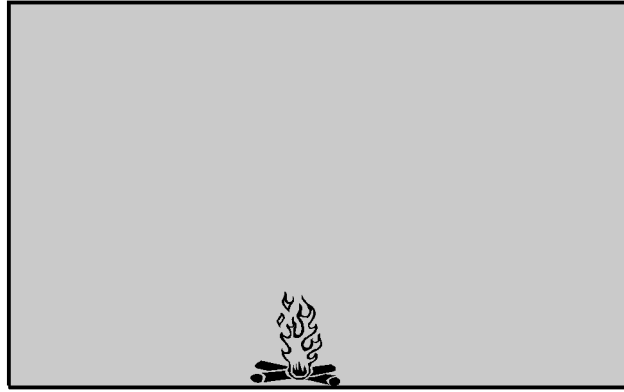
De brandmodeller som används idag kan delas in i handberäkningar, zonmodeller och fältmodeller. Modellerna kan användas till att räkna ut den optiska densiteten i det brandutsatta utrymmet. I följande tre avsnitt behandlas handberäkningar, zonmodeller och fältmodeller översiktligt.

#### 7.3.1 Handberäkningar

En ofta använd handberäkningsmodell bygger på att brandgaserna antas fördelas jämt i det brandutsatta utrymmet (se figur 7.9). Den optiska densiteten per meter kan då beräknas enligt

$$D_L = D_0 \cdot \frac{m}{V} \quad \text{ekvation 7.14}$$

där  $m$  är massan brunnit bränsle [g],  $V$  är den volym som brandgaserna ansamlas i (det detektorövervakade utrymmets volym) [ $\text{m}^3$ ] och  $D_0$  är rökpotentialen [ $\text{m}^2/\text{g}$ ]. Detta angreppssätt presenteras i kapitel 7.1.3.

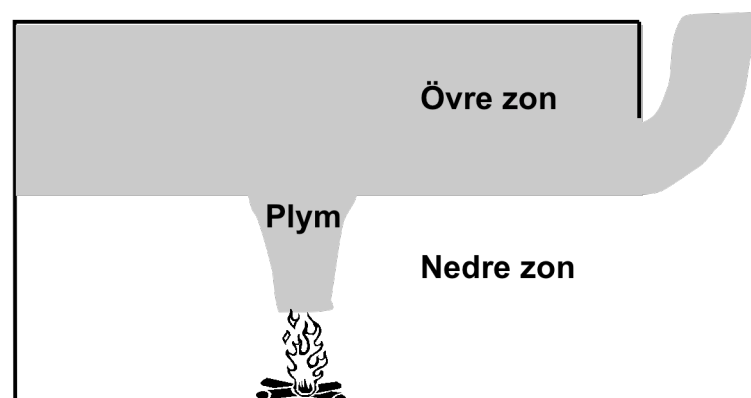


Figur 7.9 Handberäkningsmodell där brandgaserna antas jämt fördelade i hela det brandutsatta utrymmet

### 7.3.2 Zonmodeller

Zonmodeller används till att beräkna förhållandena vid bränder i inneslutningar. Vissa modeller kan bara användas för att beräkna förhållandena i ett utrymme, medan andra kan tillämpa zonmodelltekniken på flera sammanhängande utrymmen och därigenom räkna ut brandgasernas spridning i en hel byggnad. Den vanligaste typen av zonmodell delar in alla utrymmen i en övre varm och en nedre rumstempererad zon (se figur 7.10). Denna typ av modell kallas tvåzonsmodell.

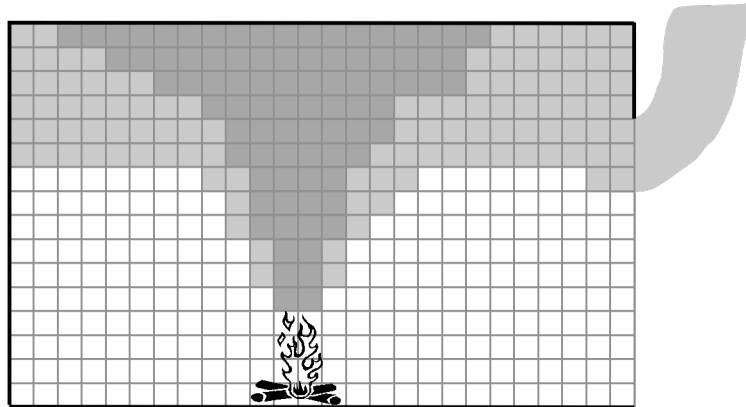
I tvåzonsmodeller utgör den övre och nedre zonen två separata kontrollvolymner, för vilka konserveringsekvationer för massa, energi och rörelsemängd tillämpas. Förhållandena inom kontrollvolymerna är homogena, d v s temperaturen och masskoncentrationen är samma i hela zonen. Branden i en tvåzonsmodell representeras av en källa som producerar massa och energi. Massan och energin transporteras via en plym från branden till den övre zonen. Plymen fungerar som en pump som även drar in luft från den nedre zonen. I tvåzonsmodeller försummas transporttiden i plymen, d v s tiden det tar för brandgaserna att transporteras från branden till övre zonen. Dessutom antas att brandgaserna momentant fördelas jämt i hela övre lagret. I de flesta tvåzonsmodeller är det möjligt att beräkna den optiska densiteten per meter i den övre zonen.



Figur 7.10 Tvåzonsmodell med branden, övre zonen, nedre zonen och plymen

### 7.3.3 Fältmodeller

De mest avancerade modellerna för simulering av bränder i inneslutningar är de så kallade fältmodellerna. Dessa bygger på att den studerade volymen, ett rum eller en hel byggnad, delas in i många små delar för vilka konserveringsekvationerna för massa, energi och rörelsemängd tillämpas (se figur 7.11). Med fältmodeller är det möjligt att få detaljerad information om exempelvis temperaturen och den optiska densiteten per meter i en bestämd punkt i volymen, t ex vid en detektor. För en mer ingående beskrivning av en fältmodells uppbyggnad hänvisas till Karlsson och Quintiery (2000).



Figur 7.11 Fältmodell där det brandutsatta utrymmet delas in i många små delar

## 7.4 Detektionsmodeller

Det finns i dagsläget inga riktigt bra detektionsmodeller som tar hänsyn till all den problematik som är kopplad till rökdetektorer. De metoder som presenteras nedan innehåller en hel del förenklingar och ger därför inga exakta aktiveringstider. Erhållna värden ska snarare ses som uppskattningar av aktiveringstiden.

### 7.4.1 Uppskattning av aktiveringstiden med hjälp av temperaturen

En vanlig detektionsmodell för rökdetektorer utnyttjar temperaturökningen i brandgaserna vid detektorn för att avgöra aktiveringstiden. I modellen antas rökdetektorer aktivera då temperaturen höjts ett visst antal grader över omgivningstemperaturen. Rökdetektorer reagerar egentligen inte på grund av temperaturen utan på grund av de partiklar som finns i brandgaserna. Det finns dock vissa likheter mellan temperaturen och partikelfördelningen.

Ett ofta använt värde på temperaturökningen vid aktivering är  $13^{\circ}\text{C}$  (Blomqvist & Isaksson, 2002). Detta värde är framtaget utifrån resultat från experiment med olika detektorer och bränslen (Bukowski & Averill, 1998). Resultaten från experimenten varierade inom ett brett område. Ibland anges istället att rökdetektorer ofta aktiverar när temperaturen vid detektorn ligger i intervallet 10 till  $15^{\circ}\text{C}$  över omgivningstemperaturen (Schiffnity, Meacham & Custer, 1995). Det påpekas även att värdena inte är giltiga för alla bränslen, men att de brukar antas vara giltiga för flambränder för vilka sådana temperaturökningar kan förväntas. I en nordisk byggnorm anges det lite högre värdet  $20^{\circ}\text{C}$  på temperaturökningen vid aktivering (Nordiska kommittén för byggbestämmelser, 1994). I tabellen nedan sammanfattas föreslagna värden på aktiveringstemperaturen (se tabell 7.4).

Tabell 7.4 Olika föreslagna värden på temperaturökning i brandgaserna vid aktivering av rökdetektorer. Värdena kan användas vid överslagsberäkning av aktiveringstiden.

Temperaturökning vid aktivering	Referens
13°C	Blomqvist & Isaksson (2002)
10°C till 15°C	Schiffinity, Meacham & Custer (1995)
20°C	Nordiska kommittén för byggbestämmelser (1994)

De värden på temperaturökningen som föreslås i normer, regler och handböcker brukar ligga mellan 10 och 20°C. Många av dessa värden är baserade på experiment som utförts på sjuttio- och åttiotalet. Undersökningar som genomförts på senare tid har visat att det för nyare detektorer ibland är mer lämpligt att använda en temperaturökning på 4 till 5°C vid beräkning av aktiveringstiden (Collier, 1996; Davis & Notarianni, 1996). Detta antyder att värdet 13°C, vilket enligt tidigare ofta används vid beräkningar, är konservativt.

Den ovan beskrivna detektionsmodellens osäkerheter är betydande på grund av långtgående förenklingar. Ett av de antaganden som modellen bygger på är att förhållandet mellan masskoncentrationen partiklar och temperaturen i brandgaserna är konstant i tiden och rummet. Detta förhållande stämmer bara approximativt för verkliga bränder. Dessutom försummas aerosolpartikeproduktionens beroende av bränslet och förbränningsförhållandena. Det har visats att det existerar stora skillnader i förhållandet mellan den optiska densiteten, som är proportionell mot masskoncentrationen, och temperaturen för olika bränslen (Holmsedt, Magnusson & Thomas, 1987). Vissa bränslen, t ex metanol, genererar betydligt färre partiklar då de brinner än andra, t ex gummi. Detektionsmodellen tar heller inte hänsyn till att rökdetektorer har olika detektionsförmåga beroende på partiklarnas egenskaper. På grund av många grova förenklingar bör detektionsmodellen användas med viss försiktighet. De erhållna värdena ska bara ses som överslagsvärden på aktiveringstiden.

Enligt modellen aktiverar rökdetektorer då temperaturökningen i brandgaserna vid detektorn uppgår till ett visst värde. I praktiken utförs beräkningarna ofta med hjälp datorprogram för värmedetektorer, t ex DetactT2 eller DetactQS. Aktiveringstemperaturen sätts i detta fall lika med temperaturökningen plus omgivningens temperatur och ett lågt RTI-värde väljs, t ex  $0,5(\text{ms})^{1/2}$ . Eftersom RTI-värdet är lågt kommer känselementets temperatur vara nästan samma som de omgivande brandgasernas temperatur.

#### 7.4.2 Uppskattning av aktiveringstiden med hjälp av förhållandet mellan temperaturen och den optiska densiteten per meter

Den beskrivning av detektorns omgivning som krävs för beräkning av aktiveringstiden för rökdetektorer är mer komplex än den som krävs för värmedetektorer. Även om det är känt vid vilken optisk densitet per meter som en viss detektor larmar för en given brand är det ofta svårt att räkna ut den optiska densiteten i det brandutsatta rummet. Det är däremot betydligt enklare att räkna ut temperaturen.

I ett arbete från 1977 formulerade Heskestad och Delichatsios (1977) hypotesen att förhållandet mellan den optiska densiteten per meter och temperaturökningen är konstant för ett givet bränsle och förbrännings sätt, t ex flambrand, glödbland och

bränslets orientering. Hypotesen kan delas in i tre delar. Första delen av hypotesen är att varje bränsle och förbränningssätt resulterar i en unik rökpotential. Rökpotentialen uttrycks i  $\text{m}^2/\text{g}$  och har beskrivits tidigare i denna framställning (se kapitel 7.1.3). Enligt tidigare gäller att rökpotentialen varierar beroende på bland annat ventilationsförhållandena. Stora skillnader på rökpotentialen kan t ex förväntas för bränder före och efter övertändning.

Andra delen av hypotesen är att den optiska densiteten per meter är proportionell mot masskoncentrationen partiklar, d v s

$$D_L \propto C$$

Detta har diskuterats tidigare i denna framställning (se kapitel 7.1.6). Proportionalitetskonstanten kallas POD och antar olika värden för flambränder och glödbränder.

Den sista delen av hypotesen är att det för varje bränsle och förbränningssätt gäller att masskoncentrationen är proportionell mot temperaturökningen i alla punkter, d v s

$$C \propto \Delta T$$

Förhållandet mellan koncentrationen och temperaturen ovan stämmer bra nära branden men sämre längre bort från branden. Detta beror till stor del på att brandgasernas temperatur minskar på grund av konvektion och strålning då de transporteras från branden.

Kombinationen av de tre delarna ger att den optiska densiteten per meter är proportionell mot temperaturökningen för ett visst bränsle och ett visst förbränningssätt i alla punkter, d v s

$$D_L \propto \Delta T$$

Detta betyder att kvoten mellan den optiska densiteten och temperaturökningen är konstant, nämligen

$$\frac{D_L}{\Delta T} = \textit{konstant} \qquad \text{ekvation 7.15}$$

För att visa att hypotesen var giltig genomförde Heskestad och Delichatsios experiment där den optiska densiteten per meter och temperaturökningen vid taket mättes för bränder med olika bränslen. De experimentella resultaten visade att kvoten varierade med avståndet från branden. Variationerna ansågs bero på förändringar i partiklarnas egenskaper under transporten från branden till mätpositionen. Kvoten  $D_L/\Delta T$  var dock approximativt konstant i experimenten och i tabellen nedan redovisas ungefärliga värden på kvoten (tabell 7.5). Dessa värden kan användas för att uppskatta den optiska densiteten vid en brand utifrån beräkningar av temperaturökningen i takstrålen.

Tabell 7.5 Approximativa värden på kvoten  $D_L/\Delta T$  för olika bränslen (Holmstedt, Magnusson & Thomas, 1987)

Material	$D_L/\Delta T$ (m-1/K)	$D_{L, 10\log}/\Delta T$ (ob/K)
Ull	0,0028	0,012
Bomullstyng	0,014	0,06
	0,0028	0,012
Pappersskräp, korg	0,0041	0,018
Polyuretan (PUR), skum	0,055	0,24
Polyester, fiber	0,041	0,18
PVC, isolering	0,07	0,3
	0,14	0,6
Gummi, skum	0,18	0,78

Om det är känt vid vilken optisk densitet per meter som en viss rökdetektor aktiverar kan man räkna ut vilken temperaturökning detta motsvarar. Värdet på kvoten  $D_L/\Delta T$  kan tas från tabellen ovan för det aktuella bränslet (se tabell 7.5). Utifrån data om branden,  $d$  vs brandens effektutveckling, kan sedan tiden tills temperaturökningen uppnås vid detektorn beräknas. Denna tid blir då aktiveringstiden för detektorn. I praktiken utförs beräkningarna ofta med hjälp datorprogram för beräkning av aktiveringstiden för värmedetektorer, t ex DetactT2 eller DetactQS. Den framräknade temperaturökningen plus omgivningens temperatur sätts i detta fall lika med aktiveringstemperaturen och ett lågt RTI-värde väljs, t ex  $0,5(\text{ms})^{1/2}$ . Det låga RTI-värdet innebär att känselementets temperatur i det närmaste kommer att vara samma som de omgivande brandgasernas temperatur.

### Exempel 7.6

I ett experiment visades det att en viss optisk ljusspridningsdetektor aktiverade vid en optisk densitet per meter på  $0,05\text{m}^{-1}$  för en flambrand där polyuretanskum utgjorde bränsle. Vilken temperaturökning vid detektorn ska användas vid beräkning av aktiveringstiden för den aktuella branden och detektorn?

### Lösning

Enligt ekvation 7.5 och tabellen ovan (se tabell 7.5) gäller approximativt att

$$\frac{D_L}{\Delta T} = 0,055$$

Detta ger

$$\Delta T = \frac{D_L}{0,055} = \frac{0,05}{0,055} \approx 1\text{K} \approx 1\text{ }^\circ\text{C}$$

<b>Svar</b>
ca 1 °C

### 7.4.3 Uppskattning av aktiveringstiden med hjälp av optisk densitet per meter

En detektionsmodell för rökdetektorer utnyttjar beräkningar av den optiska densiteten per meter för att avgöra aktiveringstiden. Förutsättningen är att det är känt, eller att det kan uppskattas, vid vilken optisk densitet per meter som detektorn larmar för en given brand. I vissa fall kan maxgränserna från SS-EN 54-7 användas (se tabell 7.3). Beräkningarna kan ske antingen för hand eller med hjälp av datorprogram.

Vid handberäkning antas ofta ideal omrörning i det detektorövervakade utrymmet, d v s den optiska densiteten antas vara konstant i hela utrymmet. Den optiska densiteten per meter kan då beräknas enligt ekvation 7.14, d v s

$$D_L = D_0 \cdot \frac{m}{V} \quad \text{ekvation 7.14}$$

där  $m$  är massan brunnet bränsle [g],  $V$  är den volym som brandgaserna ansamlas i [ $\text{m}^3$ ], d v s det detektorövervakade utrymmets volym, och  $D_0$  är rökpotentialen [ $\text{m}^2/\text{g}$ ]. Om det är känt vid vilket värde på  $D_L$  som den aktuella detektorn aktiverar kan massan brunnet bränsle vid aktivering beräknas. Information om massavbrinningshastigheten som funktion av tiden kan sedan användas för överslagsberäkning av aktiveringstiden.

Datorprogram för beräkning av brandgasspridning kan delas in i zonmodeller och fältmodeller. I zonmodellen antas ideal omrörning, d v s den optiska densiteten per meter är samma i hela övre lagret. Aktivering kan antas ske när den optiska densiteten i övre zonen nått den nivå då den aktuella detektorn aktiverar. Beräkning av aktiveringstiden för rökdetektorer med hjälp av zonmodeller innebär en del förenklingar. Den största förenklingen är uppdelningen i de två lagren. För verkliga bränder finns det inte någon tydlig skiktning utan både temperaturen och partikelkoncentrationen varierar i utrymmet. För de flesta datorprogram gäller även att ingen hänsyn tas till att partiklar kan fastna på angränsande ytor, t ex väggar och tak.

I fältmodeller delas alla utrymmen in i mindre delar för vilka ekvationerna för massa, rörelsemängd och värme löses. För fältmodeller kan den optiska densiteten per meter vid detektorn vid olika tider bestämmas. Aktivering kan antas ske när den optiska densiteten vid detektorn uppnått den nivå då den aktuella rökdetektorn aktiverar.

#### Exempel 7.7

I ett experiment visades det att en viss optisk ljusspridningsdetektor aktiverade vid en optisk densitet per meter på  $0,05\text{m}^{-1}$  för en flambrand där polyuretanskum utgjorde bränsle. Detektorn från experimentet placeras i ett utrymme med bredden 3 meter, längden 4 meter och höjden 2 meter. I utrymmet placeras även en kudde av



polyuretanskum som antänds. Kudden brinner med flammor och dess massavbrinning följer sambandet

$$\dot{m} = 10^{-4} \cdot t^2$$

där  $\dot{m}$  är massavbrinningen i gram per sekund och  $t$  är tiden i sekunder. Uppskatta tiden tills detektorn aktiverar om det kan antas att brandgaserna fördelas jämt i utrymmet.

### Lösning

Först bestäms hur stor massa polyuretanskum som måste brinna för att den optiska densiteten per meter ska bli  $0,05\text{m}^{-1}$ . För polyuretanskum gäller att  $D_0$  är  $0,22 \text{ m}^2/\text{g}$ . Utrymmets volym blir  $3 \cdot 4 \cdot 2 = 24\text{m}^3$ . Enligt ekvation 7.5 blir då massan

$$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m} \Rightarrow m = D_L \cdot \frac{V}{D_0} = 0,05 \cdot \frac{24}{0,22} \approx 5,4545 \text{ g}$$

För att bestämma tiden då 5,5 gram bränsle brunnit måste uttrycket för massavbrinningen integreras med tiden mellan värden 0 och  $t$  enligt

$$m = \int_0^t \dot{m} dt = \int_0^t 10^{-4} \cdot t^2 dt = \left[ 10^{-4} \cdot \frac{t^3}{3} \right]_0^t = 10^{-4} \cdot \frac{t^3}{3}$$

Om  $m$  därefter sätts lika med 5,4545 gram erhålls aktiveringstiden enligt

$$5,4545 = 10^{-4} \cdot \frac{t^3}{3} \Rightarrow t^3 = \frac{5,4545 \cdot 3}{10^{-4}} \Rightarrow t = \left( \frac{5,4545 \cdot 3}{10^{-4}} \right)^{1/3} \approx 55 \text{ s}$$

d v s aktiveringstiden är kring en minut.

### Svar

Aktiveringstiden uppskattas till ungefär en minut.

## Referenser

- Alpert, R. L. (1972) Calculation of response time of ceilingmounted fire detectors, *Fire Technology*, 8(3), 181-195
- Ampac Industries (2002) *Flame and gas detection handbook*, hämtad 2002-06-04 från <[www.iceweb.com.au/Technical/flame\\_and\\_gas.html](http://www.iceweb.com.au/Technical/flame_and_gas.html)>
- Barret, R. & Middleton, J.F. (1972) Optimum design of infra-red flame detectors, *BRE Symposium No. 6 – Automatic fire detection, Proceedings of the Symposium held at the Connaught Rooms, London, 8-10 March*, 116-124
- Beyler, C. L. (1984) A design method for flaming fire detection, *Fire Technology*, 20(4), 5-15
- Beyler, C. L. (1986) Major species production by diffusion flames in a two-layer compartment fire environment, *Fire Safety Journal*, 10(1), 47-56
- Blomqvist, J. & Isaksson, S. (2002) Larm och släcksystem, *Brandskyddshandboken*, Rapport 3117, Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola
- Boverket (2006) *Regelsamling för byggande - Boverkets byggregler*, BBR, BFS 1993:57 med ändringar t.o.m. 2006:12, Karlskrona: Boverket
- Brandlarmsystemet – det upptäckande brandskyddet (1999) *Detektor*, 11(7), 32-37
- Bukowski, R. W. & Averill, J. D. (1998) *Methods for Predicting Smoke Detector Activation*, Gaithersburg: NIST, Building and Fire Research Laboratory
- Butcher, E. G. & Parnell, A. C. (1979) *Smoke control in fire safety design*, London: E. & F. N. Spon
- Cerberus brandlarmsystem 98/99* (1998) Cerberus (CD)
- Cleary, T., Chernovsky, A, Grosshandler, W. & Anderson, M., Particulate Entry Lag in Spot-Type Smoke Detectors, *Fire Safety Science – Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Symposium*, International Association for Fire Safety Science, Boston, 779-790
- Collier, P. C. R. (1996) Fire In a Residential Building: Comparison Between Experimental Data and a Fire zone Model, *Fire Technology*, 32(3), 195-218
- Davis, W. D. & Notarianni, K. A. (1996) *NASA Fire Detector Study*, NISTIR 5798
- Detriche, Ph., Lanore, J. C., (1980) An acoustic study of pulsation characteristics of fires, *Fire Technology*, 16 (3), 204-211
- Drysdale, D. (1999) *Fire Dynamics*, West Sussex: John Wiley & Sons
- Evans, D. D. (1995) Ceiling Jet Flows, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Quincy: National Fire Protection Association
- Försäkringsförbundet (1992) *Regler för automatisk brandlarmanläggning – RUS 110:5*, Stockholm: Försäkringsförbundet, Förlaget
- Grosshandler, W. & Braun, E., *Early detection of room fires through acoustic emission*, NISTIR 5269, Gaithersburg: NIST, Building and Fire Research Laboratory
- Guttok, D. T. & Roby, R. J. (1995) Effects of Combustion Conditions on Species Production, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Quincy: National Fire Protection Association

- Hamins, A., Yang, J. C. & Kashiwagi, T. (1992) An experimental investigation of the pulsation frequency of flames, *24th Symposium (International) on combustion*, The Combustion Institute, Pittsburg, 1695-1702
- Heskestad, G. & Delichatsios, M. (1977) *Environments of Fire Detectors - Phase I: Effects of Fire Size, Ceiling Height and Material, Volume II – analysis*, Technical report Serial No. 22427, RC 77-T-11, Norwood: Factory Mutual Research Cooperation
- Heskestad, G. & Delichatsios, M. (1979) The initial convective flow in fire, *17th Symposium (International) on combustion*, The Combustion Institute, Pittsburg, 1113-1123
- Holmstedt, G., Magnusson, S.E. & Thomas, P.H. (1987) *Detector environment and detector response – A survey, Report LUTVDG/(TVBB – 3039)*, Lund: Department of Fire Safety Engineering, Lund University
- Karlsson, B. & Quintiery, J. G. (2000) *Enclosure Fire Dynamics*, Boca Raton: CRC Press LLC
- Moussa, N. A., Toong, T. Y. & Garris, C. A. (1977) Mechanism of smouldering of cellulosic materials, *16<sup>th</sup> Symposium (International) on combustion*, The Combustion Institute, Pittsburg, 1447-1457
- Mulholland, G. W. (1990) *Position paper regarding CO yield*, Appendix in Nelson, H. E. , *FPETOOL: Fire protection engineering tools for hazard estimation*, NISTIR 4380, Gaithersburg: NIST, Building and Fire Research Laboratory
- Mullholland G. (1995) Smoke Production and Properties, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Quincy: National Fire Protection Association
- NFPA (1996) *NFPA 72 – National Fire Alarm Code*, Quincy: National Fire Protection Association
- NKB (1994) *Funktionsbestemte Brandkrav og Teknisk Vejledning for beregningsmæssig eftervisning*, Köpenhamn: Nordiska kommittén för byggbestämmelser, Branduskottet
- Rasbash, D. J. & Phillips, R. P. (1978) Quantification of smoke produced at fires, *Fire and Materials*, 2(3), 102-109
- Robert, P. & Schiffniti, P. E. (2001) Fire Detection Modeling – The Research-Application Gap, *12<sup>th</sup> International Conference on Automatic Fire Detection*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 529-560
- Scott/Bacharach Gas Detection Products (2002) *A Guide to Selecting the Right Flame detector For Your Application*, hämtad 2002-06-04 från <[www.scottinstruments.com/custom\\_file\\_uploads/](http://www.scottinstruments.com/custom_file_uploads/)>
- Seader, J. D. & Einhorn, I. N. (1977) Some physical, chemical, toxicological, and physiological aspects of fire smokes, *16<sup>th</sup> Symposium (International) on combustion*, The Combustion Institute, Pittsburg, 1423-1445
- Schiffniti, R. P., Meacham, B. J. & Custer, R. L. P. (1995) Design of Detection Systems, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Quincy: National Fire Protection Association
- SIS (2001) *SS-EN 54-7 - Brand och räddning - Branddetekterings- och brandlarmsystem - Del 7: Rökdetektorer av punkttyp som utnyttjar spritt ljus, transmitterat ljus eller jonisation*, Stockholm: SIS Förlag AB

- 
- SIS (2003) *SS-EN 54-5 - Brand och räddning - Branddetekterings- och brandlarmsystem - Del 5: Värmedetektorer*, Stockholm: SIS Förlag AB
- Svenska Brandförsvarsföreningen (2001) *Regler för automatisk brandlarmanläggning – SBF 110:6*, Stockholm: Brandförsvarsföreningens Service AB
- Svenska Brandförsvarsföreningen (1998) *Svenska Brandförsvarsföreningen rekommendation 1998 - Utrymningslarm*, Stockholm: Brandförsvarsföreningens Service AB
- Tewarson, A. (1995) Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Quincy: National Fire Protection Association