

# **Bostadsbränder och sprinkler**

## **En koppling till brandteknisk dimensionering**

*Fredrik Nystedt*

---

**Department of Fire Safety Engineering  
Lund University, Sweden**

**Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet**

**Rapport 3108, Lund 2001**



# **Bostadsbränder och sprinkler**

**en koppling till brandteknisk dimensionering**

**Fredrik Nystedt**

**Lund 2001**

Bostadsbränder och sprinkler – en koppling till brandteknisk dimensionering  
Residential Fires and Sprinkler Systems – a link to fire safety engineering

Fredrik Nystedt

**Report 3108**

**ISSN: 1402-3504**

**ISRN: LUTVDG/TVBB--3108--SE**

**Number of pages:** 54

**Illustrations:** Fredrik Nystedt

**Keywords:** Fire safety engineering, residential fires, residential sprinklers, fire dynamics

**Sökord:** Bostadsbränder, boendesprinkler, brandteknisk dimensionering, branddynamik

**Abstract:** The aim of this study was to develop a model for the quantification of the occupant risk in residential fires. The model should make it possible to quantitatively evaluate which effect the presence of a residential sprinkler has on the fire development. Statistics on causes and outcomes of residential fires were used as background material for the model development. A literature review was carried out to find out which effect different fire safety measures has on the building fire safety. The model consists of a number of hand-calculation expressions on fire dynamics, which are linked in a spreadsheet. The model consists of sub models on fire development, effect of sprinkler, detector activation, smoke production, and human response. The statistical distributions are given for all input variables as well as for model uncertainty. The outcome is a probabilistic measure of the time to incapacitation and/or death occurs.

© **Copyright:** Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2001.

---

Brandteknik  
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  
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><u>1</u></b>	<b><u>INTRODUKTION</u></b> .....	<b>1</b>
<u>1.1</u>	<u>Inledning</u> .....	1
<u>1.2</u>	<u>Bakgrund</u> .....	1
<u>1.3</u>	<u>Syfte och målsättning</u> .....	2
<u>1.4</u>	<u>Metod</u> .....	2
<u>1.5</u>	<u>Sannolikhets- och statistikteori</u> .....	3
<u>1.6</u>	<u>Rapportöversikt</u> .....	4
<b><u>2</u></b>	<b><u>DÖDSBRÄNDER</u></b> .....	<b>5</b>
<u>2.1</u>	<u>Statistik</u> .....	5
<u>2.2</u>	<u>Katastrofbränder</u> .....	7
<u>2.3</u>	<u>Nollvison</u> .....	8
<u>2.4</u>	<u>Effekt av brandskyddsåtgärder</u> .....	8
<b><u>3</u></b>	<b><u>BOENDESPRINKLER</u></b> .....	<b>11</b>
<u>3.1</u>	<u>Historik</u> .....	11
<u>3.2</u>	<u>Systemutformning</u> .....	12
<u>3.3</u>	<u>Påverkan på brandförlopp</u> .....	14
<u>3.4</u>	<u>Erfarenheter</u> .....	16
<u>3.5</u>	<u>Tillförlitlighet</u> .....	17
<u>3.6</u>	<u>Motiv till boendesprinkler</u> .....	17
<b><u>4</u></b>	<b><u>BOSTADSBRANDEN</u></b> .....	<b>21</b>
<u>4.1</u>	<u>Brandscenarier</u> .....	21
<u>4.2</u>	<u>Brandförlopp</u> .....	22
<u>4.3</u>	<u>Kritisk påverkan för människan</u> .....	25
<b><u>5</u></b>	<b><u>EN MODELL FÖR BERÄKNING AV BRANDFÖRLOPP</u></b> .....	<b>29</b>
<u>5.1</u>	<u>Allmänt</u> .....	29
<u>5.2</u>	<u>Uppbyggnad</u> .....	29
<u>5.3</u>	<u>Indata</u> .....	30
<u>5.4</u>	<u>Teknisk beskrivning</u> .....	30
<u>5.5</u>	<u>Hantering av osäkerheter</u> .....	38
<u>5.6</u>	<u>Utdata</u> .....	40
<b><u>6</u></b>	<b><u>TILLÄMPNINGSEXEMPEL</u></b> .....	<b>43</b>
<u>6.1</u>	<u>Förutsättningar, antaganden och indata</u> .....	43
<u>6.2</u>	<u>Analys</u> .....	45
<u>6.3</u>	<u>Slutsatser</u> .....	47
<b><u>7</u></b>	<b><u>DISKUSSION</u></b> .....	<b>49</b>
<u>7.1</u>	<u>Dödsbränder</u> .....	49
<u>7.2</u>	<u>Boendesprinkler</u> .....	49
<u>7.3</u>	<u>Beräkningsmodellen</u> .....	49
<b><u>8</u></b>	<b><u>REFERENSER</u></b> .....	<b>51</b>



## Sammanfattning

Denna rapport har utarbetats inom ramen för det av VINNOVA finansierade projektet "Boendesprinkler AIS-7". Projektet är nationellt med målsättning att bland annat skapa ett väl fungerande aktivt personskydd i bostäder till en rimlig kostnad. I projektet arbetar forskare tillsammans med intressenter från industrin med att ta fram ett svenskt koncept för boendesprinkler.

Rapporten består av en kunskapsöversikt av bostadsbränder och boendesprinkler. Målsättningen är att analysera befintliga kunskap och erfarenhet när det gäller bostadsbränder och sprinkler. Syftet är att skapa en gedigen grund för fortsatt utveckling av boendesprinklersystemen. Utifrån analysen skall en ingenjörmodell för brandförloppsberäkningar tas fram.

Bostadsbränder är ett problem. År 2000 omkom 98 personer i 92 bostadsbränder. Antalet döda har förhållit sig relativt konstant de senaste åren. Brandrisken i hemmiljön har förvärrats under 1900-talets senare hälft. För fyrtio år sedan var det ovanligt att ett värmeutvecklingen från ett enstaka brinnande föremål kunde orsaka en fullt utvecklad rumsbrand. Idag används helt andra material, vilka avger mer värme i en snabbare hastighet. Den tid som en person har på sig att utrymma sin bostad är därmed kortats ytterligare.

Rökning är orsakar omkring en tredjedel av dödsbränderna. Även elektriska brandorsaker vållar många dödsbränder. Det har visat sig att närmare 80% av personerna redan var döda då räddningstjänsten kom till platsen. Den vanligast dödsorsaken är förgiftning. Vid de flesta dödsbränder saknas fungerande brandvarnare. En brandvarnare skulle reducera risken med upp till 50%, medan det i tidigare studier har visats att boendesprinkler tillsammans med brandvarnare skapar en reduktion på 75 till 80%.

Boendesprinklerteknologin utvecklades i USA i början av 1970-talet. Systemet utvecklades med syftet att sänka kostnaden för sprinkler genom en avvägning mellan kostnad och tillförlitlighet. Personsäkerhet var det främsta målet och egendomsskydd kom i andra hand. Systemen utformades så att branden kontrolleras för en tid som är tillräcklig för att människorna skall hinna utrymma.

En beräkningsmodell har utvecklats för att kunna göra kvantitativa utvärderingar av brandförloppet i sprinklade och osprinklade byggnader. Modellen består av ett antal handberäkningsuttryck för effektutveckling, brandgastemperatur, rökfyllnad, detektoraktivering, släckeffektivitet, toxisk påverkan, etc. Modellens uppbyggnad gör det möjligt att hantera variation och osäkerheter i både indata och beräkningsuttryck. Resultatet utgörs av tid till en viss skada vilken kan vara antingen medvetlöshet eller död. Resultatet fås genom att genomföra en statistisk simulering av modellen. Ett tillämpningsexempel visar att boendesprinkler har en stor påverkan på säkerheten. Tiden tills dess att medvetlöshet inträffar ökar med några minuter och sannolikheten att dödliga förhållanden uppkommer reduceras kraftigt.





# 1 Introduktion

## 1.1 Inledning

Nedanstående citat är hämtat från Räddningsverkets vision för den brandförebyggande verksamheten.

*”Riskerna för bränder skall fortlöpande minskas. Antalet döda och svårt skadade liksom antalet allvarliga skador på oersättlig miljö och egendom skall gå mot noll.”*

Det är därför rätt tidpunkt att introducera sprinkler som ett aktivt säkerhetssystem tillsammans med, eller som alternativ till, befintliga passiva system. Kanske är det så att boendesprinkler är nästa steg när det gäller säkerhetsmedvetande som följer efter kampanjer om ”bilkörning och alkohol”, ”bilbältesanvändning”, ”jordfelsbrytare” och ”brandvarnare”?

Denna rapport har utarbetats inom ramen för det av VINNOVA finansierade projektet ”Boendesprinkler AIS-7”. Projektet är nationellt med nedanstående mål.

- Att skapa ett väl fungerande aktivt personskydd i bostäder till en rimlig kostnad.
- Att introducera och förklara teknikens möjligheter, fördelar och värde för fackmän och boendekonsumenter.
- Att utarbeta en handbok med råd och riktlinjer.

I projektet arbetar forskare tillsammans med intressenter från industrin med att ta fram ett svenskt koncept för boendesprinkler. Deltagare i projektet utöver LTH är bla Trätek, SP, byggföretag, brandkonsulter, sprinklerinstallatörer och byggmaterialproducenter. I USA är konceptet ”residential sprinklers” väl utvecklat, men de amerikanska systemen kan ej direkt överföras till svenska. En analys av likheter och olikheter erfordras. Riktlinjer kring tillämpning, tekniska system och tillförlitlighet behöver utarbetas. Frågor kring lagstiftning behöver också ses över.

Bostadssprinkler är den vanliga översättningen av engelskans ”residential sprinkler”. I detta projekt väljs att benämna sprinklersystem för bostäder med boendesprinkler enbart för att påvisa ett bredare användningsområde. Tänkbara användningsområde för boendesprinkler är enbostadshus, småhus, flerbostadshus, särskilda bostäder för äldre, särskilda boendeformer för studerande och ungdom, vårdanläggningar, alternativt boende och hotell.

## 1.2 Bakgrund

Bostadsbränder är ett problem. År 2000 omkom 98 personer i 92 bostadsbränder. Antalet döda har förhållit sig relativt konstant de senaste åren. Brandrisken i hemmiljön har förvärrats under 1900-talets senare hälft. För fyrtio år sedan var det ovanligt att ett värmeutvecklingen från ett enstaka brinnande föremål kunde orsaka en fullt utvecklad rumsbrand. Idag används helt andra material, vilka avger mer värme i en snabbare hastighet. Den tid som en person har på sig att utrymma sin bostad är kort. Detta beror bland annat på att bränder utvecklas snabbt i små rum som innehåller brännbara möbler. När dessa ogynnsamma brandförlopps-karakteristiska sätts i relation till att människan ofta är som mest sårbar då bränder utbryter är brandproblemet ett faktum.

Det finns ett antal vägar att gå för att skapa mer brandsäkra hem. En av dessa vägar är att satsa mycket på förebyggande arbete i form av utbildning. Människor skall vara medvetna om brandrisker i hemmet, vad de kan göra för att förhindra bränder och hur de skall göra om en brand uppkommer. Det finns dock en grupp människor som är ovilliga/oförmögna att delta i utbildningsaktiviteter. Därför behövs även andra åtgärder för att minska brandrisker i hemmet. En annan väg är då att bygga säkrare hem. Genom att ställa hårdare krav i bygglagstiftning beträffande personskydd i bostäder kan man skapa ett bättre skydd för fler människor.

Vid två tredjedelar av dödsbränderna saknades en fungerande brandvarnare. Många kommuner där bland Malmö börjar nu att skärpa kraven på att alla bostäder skall förses med brandvarnare. Frågan är dock hur långt en brandvarnare räcker. Oavsett om brandvarnaren fungerar eller inte så inträffar ett antal dödsbränder där människorna är oförmögna att ta sig ut. Dessa fall handlar om bland annat äldre rörelsehindrade människor och små barn. Det finns även flera fall då bränder uppkommer i den omkomnes kläder samt att den som omkommer är alkoholpåverkad. Kanske är det så att boendesprinkler är det koncept som krävs för att förstärka skyddet av dessa särskilt utsatta grupper.

### **1.3 Syfte och målsättning**

Rapporten består av en kunskapsöversikt beträffande bostadsbränder och boendesprinkler. Målsättningen är att analysera befintliga kunskap och erfarenhet när det gäller bostadsbränder och sprinkler. Syftet är att skapa en gedigen grund för fortsatt utveckling av boendesprinklersystemen. Utifrån analysen skall en ingenjörsmodell för brandförloppsberäkningar tas fram. Rapporten skall försöka besvara nedanstående frågor.

- Vad karakteriserar en dödsbrand?
- Varför omkommer människor?
- Vilken effekt har olika skyddssystem?
- Vad har influerat utvecklingen av boendesprinkler?
- Vilken prestanda har dagens boendesprinkler?
- Hur kan det tidiga brandförloppet karakteriseras och beräknas?
- Hur kan man uppskatta hur människan påverkas av en brand?

Genom att besvara ovanstående frågor skapas en bra grund för fortsatt arbete med att värdera boendesprinklernas effektivitet, studera risknivåer, analysera olika tekniska byten samt uppskatta systemens kostnadseffektivitet.

### **1.4 Metod**

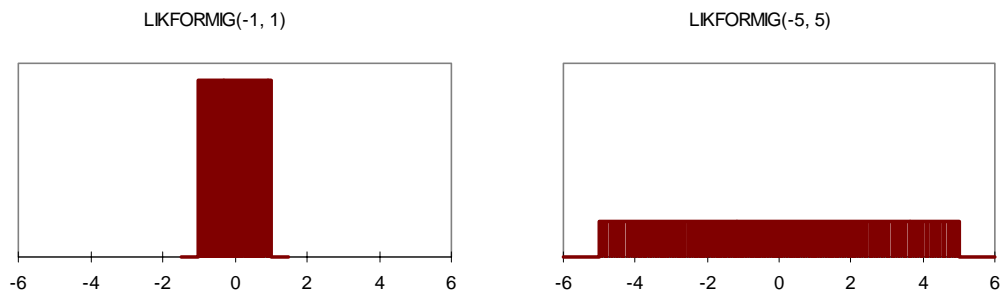
Inledningsvis görs en litteraturstudie för att analysera dödsbränder i detalj samt boendesprinklersystemens uppbyggnad. Denna litteraturstudie utgör sedan basen för den koppling mot brandteknisk dimensionering som görs i studien av brandförlopp och framtagande av en beräkningsmodell. Modellen utgör från enkla handberäkningsuttryck och beskriver hur dessa skall kombineras för att kvantifiera brandförloppet i en lägenhet med eller utan boendesprinkler.

## 1.5 Sannolikhets- och statistikteori

Vid beskrivningen av ingenjörsmodellen används genomgående ett antal statistiska och sannolikhetsteoretiska begrepp, vilka förklaras i detta kapitel. För mer information hänvisas till Blom (1989) och Vose (2000).

*Väntevärdet*,  $\mu$  uttrycks även som medelvärdet och är det värde som utgör tyngdpunkten i en statistisk fördelning längs x-axeln. Väntevärdet är ett lägesmått.

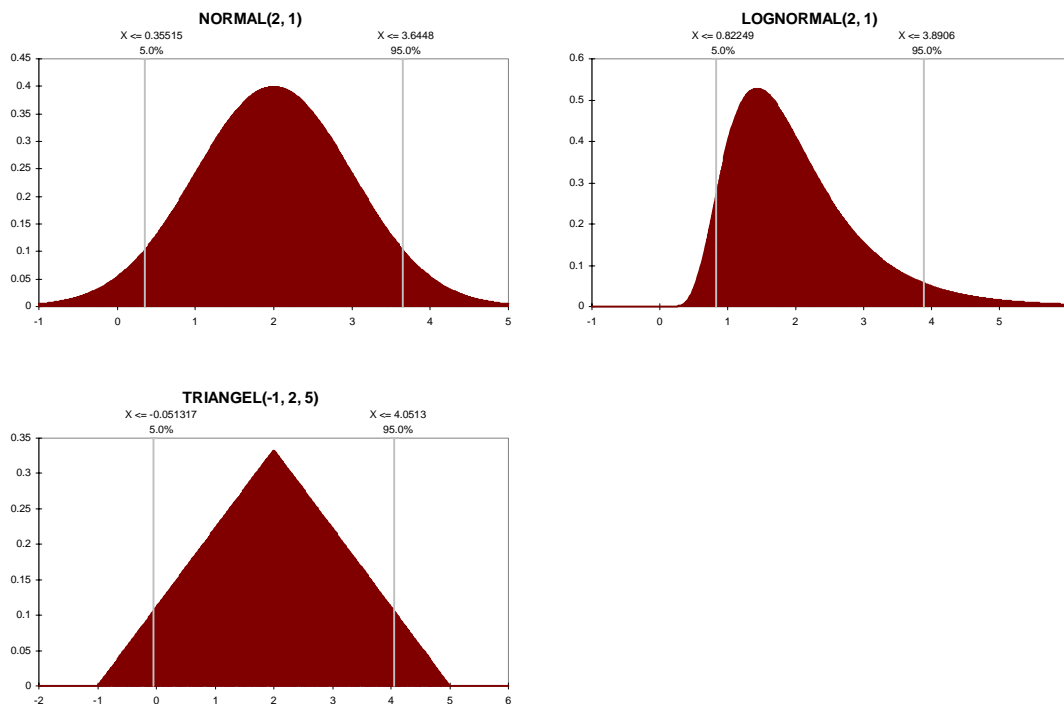
*Standardavvikelsen*,  $\sigma$  är ett mått på en fördelnings spridning. Osäkerheten i en variables värde uttrycks med dess standardavvikelse. Två variabler kan ha samma väntevärde men olikartade fördelningar, se Figur 1.1 nedan.



Figur 1.1 Om man jämför två likformiga fördelningar där den ena går från  $-1$  och  $1$  och den andra från  $-5$  och  $5$  inses att båda har väntevärdet  $0$ , men det är uppenbart att den senare har en mer utspridd fördelning än den förra.

*Variationskoefficienten*, VK, utgörs av kvoten mellan standardavvikelsen och väntevärdet, dvs  $VK = \sigma/\mu$ . Variationskoefficienten anges ofta i procent.

*Statistiska fördelningar* används för att beskriva osäkerheten i indata. Frantzich (1998) anger att det första som måste göras när dessa fördelningar skall skattas är att definiera fördelningens största och minsta värde. Därefter uppskattas väntevärde och varians. Slutligen skall en fördelning väljas som ger bästa tänkbara representation av variabeln. Vanliga fördelningar som används vid brandriskanalyser är *normalfördelningen*, *lognormalfördelningen* och *triangelfördelningen*. En grafisk illustration av dessa fördelningar visas i Figur 1.2.



Figur 1.2 Exempel på normalfördelning, lognormalfördelning och triangel-fördelning.

Det vanligaste sättet att skriva fördelningarna i Figur 1.2 i löpande text är FÖRDELNING (medelvärde, standardavvikelse). Fördelningarna anger inom vilka intervall som variablerna varierar och hur stor sannolikheten är för varje värde inom intervallen.

## 1.6 Rapportöversikt

I kapitel 2 studeras *dödsbränder* och deras karakteristiska. Studien utförs med syfte att skapa en grund för den ingenjörsmo- dell som skall utvecklas senare. Riskbilden för olika brandskyddssystem studeras.

Tekniken och möjligheterna med *boendesprinkler* beskrivs i kapitel 3. De ursprungliga tankarna beträffande ”residential sprinklers” presenteras. Både internationella och nationella erfarenheter redovisas.

*Bostadsbranden* med fokus på brandscenarier och brandförlopp och hur människor påverkas diskuteras i kapitel 4.

I kapitel 5 presenteras en *beräkningsmodell* som kan användas för att på ett kvantitativt sätt utvärdera brandförloppet i en lägenhet. En *tillämpning* av modellen visas i kapitel 6.

## 2 Dödsbränder

### 2.1 Statistik

Statistiska uppgifter över inträffade dödsbränder kan ge värdefull kunskap som kan ligga till grund för åtgärder för att förebygga nya olyckor. Detta kapitel innehåller statistik om dödsbränder för ett flertal länder. Det är endast bränder i bostäder som behandlas här. Andra bränder som inträffar till exempel vid trafikolyckor tas ej med.

#### 2.1.1 Antal, åldersfördelning och status

I Sverige har antalet omkomna i bränder i bostäder varit kring 80 per år under de senaste tio åren (Räddningsverket, 2000). Tabell 2.1 visar hur bostadsbränderna fördelar sig på de olika boendeformerna.

Tabell 2.1 Fördelning av dödsbränderna i bostäder (Räddningsverket, 2000).

Plats	Antal bränder	Antal omkomna
Flerfamiljshus	33	33
Villor	29	30
Radhus/kedjehus	1	1
Fritidshus	4	4
Äldreboende	15	15
Summa	82	83

I Tabell 2.1 kan man utläsa att det i princip endast omkommer en människa per dödsbrand i bostäder. En japansk studie (Sekizawa, 1988) härleder en del intressanta samband beträffande dödsbränder i Japan, vilka listas nedan.

- 48% av de omkomna var över 65 år och 9% var under sex år gamla.
- Sängliggande människor över 65 år löper 40 gånger så stor risk att omkomma i brand än genomsnittet.
- Mer än 70% av de döda har någon form av handikapp i fråga om möjlighet att utrymma.
- Hälften av människorna sover eller är berusade när de omkommer.
- Hälften av de omkomna är ensamma vid brandtillbudet.

I de nordiska länderna är andelen män överrepresenterade (c:a 70% i dödsbrandstatistiken) medan männens andel i England och Wales är endast 40% (Westman, 1979, Keski-Rahkonen m fl, 2001). Någon förklaring till detta kan inte finnas. I USA (SOU, 1978) kan man inte finna några direkta könsskillnader.

#### 2.1.2 Startutrymme och brandorsak

Hälften av dödsbränderna i Sverige inträffar under månaderna december till mars (Westman, 1979). Antalet omkomna på kvällen och natten är högre än under dagen. Här är det möjligt att se några tänkbara förklaringar. Under vinterhalvåret är inte bara dödsbränderna fler utan alla bränder ökar i frekvens. Den ökade användningen av levande ljus kan vara en tänkbar orsak. För att man skall kunna omkomma i sin lägenhet vid brand så krävs att man är närvarande. Därför är antalet dödsbränder högre på kvällen och natten. Att man dessutom är sovande på natten minskar ens möjligheter till trygg utrymning.

Tabell 2.2 Antal dödsbränder i bostad per startutrymme 1999 (Räddningsverket, 2000).

Startutrymme	Antal bränder
Sovrum	24
Vardagsrum	19
Kök	22
Toalett	4
Hall	1
Balkong	1
Övrigt	5
Okänt	6
Summa	82

Tabell 2.3 Antal dödsbränder per startföremål 1999 (Räddningsverket, 2000)

Startföremål	Antal bränder
Kläder	24
Sängmaterial	18
Brandfarlig vara	15
Mat	4
Stol	2
Soffa	2
Byggnadskonstruktion	1
Övrigt	22
Okänt	14
Summa	102

Rökning är orsakar omkring en tredjedel av dödsbränderna. Även elektriska brandorsaker vållar många dödsbränder. Dessa orsakas ofta av glappkontakt i äldre eller hemmagjorda installationer. Bland äldre orsakar misstag i samband med vedledning en del dödsbränder. Glömd spis eller av misstag påslagen platta är vanligt återkommande dödsbrandsorsak framförallt bland äldre kvinnor. Levande ljus leder ofta till brand speciellt kring jultid.

### 2.1.3 Dödsorsak

För att i detalj kunna avgöra vilka brandskyddssystem som är lämpliga är det av intresse att veta dels varför människorna ej hann utrymma och dels vad de omkom av. En sammanställning av orsaken till misslyckad utrymning har gjorts av Sekizawa (1988) och redovisas i Tabell 2.4.

Tabell 2.4 Orsak till död (Sekizawa, 1988)

Fysisk funktion	Orsak till död					
	Fördröjd detektion	Svårighet att utrymma	Misslyckad utrymning	Brand i kläder	Annat	Totalt %
Sängliggande	13,7	55,8	18,3	9,1	3,1	13,3
Rörelsehindrade	20,0	21,2	26,3	15,6	16,9	19,3
Åldringar med sjukdom (≥65)	21,1	10,6	12,0	23,2	33,1	3,9
Åldringar (≥65)	28,2	5,4	12,8	16,4	37,3	18,9
Spädbarn (5≥)	15,0	68,3	5,0	1,9	9,8	8,8
Person med sjukdom	36,6	16,0	8,2	7,7	31,4	5,3
Normal	43,0	4,9	13,2	3,8	35,2	30,5
Summa %	28,2	21,3	15,3	9,9	25,2	100 %

I en studie av gjord av SBF (1995) visar att 81% av personerna redan var döda då räddningstjänsten kom till platsen. De flesta människor dör av den giftiga röken (70%) och resterande del av brännskador. Dessa siffror stämmer väl överens med brittisk

(Chandler, 1969) och amerikansk statistik (NFPA, 2000). I svensk statistik för 1999 (Räddningsverket, 2000) anges att den vanligaste dödsorsaken är brännskador medan förgiftningen endast utgör 30% av dödsorsakerna. Det anges ingen förklaring till detta divergerande resultat. Även Purser (1995) ger stöd åt teorin att det är förgiftning som är den klart dominerande dödsorsaken.

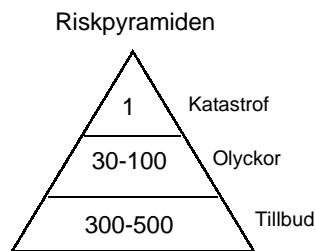
Många dödsbränder kunde ha undvikits om grundläggande brandskyddsriktlinjer hade följts. I SBF:s studie över dödsbränder 1983-1994 framgick att det endast fanns fungerande brandvarnare i 6% av dödsbränderna. Liknande erfarenheter finns i USA. NFPA (2000) redovisar att brandvarnare saknas/fallerat i de flesta dödsbränder. Ytterligare orsaker till att utrymningen ej genomförts är att personerna är berusade eller rörelsehindrade pga ålder/sjukdom.

## 2.2 Katastrofbränder

En människas riskuppfattning är i hög grad relaterad till den konsekvens som en viss risk innebär. Det är uppenbart att 60 bränder med en död per brand anses mer acceptabelt än en brand med 60 omkomna. När olika risker värderas och jämförs används vanligen två riskmått (Olsson, 1999). Dessa är individrisk och samhällsrisk. Individrisken definieras som sannolikheten att en person omkommer till följd av en viss riskkälla (tex brand i byggnad). Individrisken tar vanligen inte hänsyn till om någon verkligen finns närvarande och uttrycks vanligen som sannolikhet för viss skada per år. Individrisken har samma storlek oavsett dag och tidpunkt. Samhällsrisk är däremot ett mått på hur en riskkälla påverkar en grupp av människor. Ett vanligt sätt att beskriva samhällsrisk är att använda FN-kurvor eller riskprofiler.

Eftersom de flesta bränder med dödlig utgång är begränsade till en död per brand så kan individriskmättet anses vara representativt för brand i byggnad. För vissa bränder i lokaler där det finns många människor eller där människorna har svårt att utrymma finns det en större risk att fler än en människa omkommer vid brand. För att kunna utvärdera beräknade risker i sådana lokaler krävs ett mått på samhällsrisk. Samhällsrisk kan med andra ord uttryckas som risken att en katastrof uppstår. Frågan som återstår är då att bestämma hur en brand med katastrofal utgång skall definieras.

När man studerar statistiken över dödsbränder från Räddningsverkets (2000) är det endast vid enstaka trafikolyckor som fler än två människor har omkommit i samma brand. Chandler (1969) anger att fler än en två döda påträffas vid c:a 3% av alla dödsbränder i England under 1960-1967. I USA definieras en katastrofbrand som den brand där tre eller fler människor omkommer. 1999 inträffade det 44 sådana bränder i USA (McCarthy; 2000). Det totala antalet dödsbränder är c:a 3000. Sannolikheten för en katastrofbrand blir då knappt 2%. Statistiken gammal som ny visar att det går c:a 50 vanliga dödsbränder per katastrofbrand. En relation som verkar trolig och överensstämmer med den vedertagna riskpyramiden i Figur 2.1. där man delar in konsekvenser efter storlek som tillbud, olyckor och katastrofer.



Figur 2.1 Samband mellan frekvens och omfattning av konsekvens

Det finns även vedertagna kriterier för acceptabel risk. I Norge (Mostue, 1999) anges ett riskmått som sannolikheten att fler än fem människor omkommer och i Storbritannien (BSI, 1997) finns ett mått som gäller för fler än tio omkomna.

Sammanfattningsvis kan man i princip säga att alla bränder där fler än en människa omkommer kan betecknas som katastrofbränder. Motivet till detta är att det sker så pass sällan. År 1999 skede det en gång för brand i byggnader (Räddningsverket, 2000). Ytterligare en slutsats är att då bostadsbränder studeras är det tillräckligt att beräkna individrisken. Sannolikheten att minst en människa omkommer är i princip lika med sannolikheten att en eller fler dör.

### 2.3 Nollvision

En nollvision innebär att det långsiktiga målet med säkerhetsarbetet skall vara att ingen dödas eller skadas svårt till följd av en viss riskkälla. Inom trafiken har man nyligen antagit en nollvision där antalet döda och svårt skadade successivt skall reduceras mot noll. Räddningsverket har enligt Mattsson (2000) visat sympati för uppfattningen om en nollvision beträffande brandskyddet. Det årliga antalet döda om c:a 100 personer skall med tiden sänkas till noll. Även om Mattsson framför kritik mot användandet av nollvisioner så kan en sådan åtminstone visa på en vilja att göra något åt ett stort problem. En vision bör därför åtföljas av ett antal konkreta mål. Dessa mål kan göras konkreta och verka för att kontinuerligt reducera antalet döda i bränder. Det viktigaste i detta arbete är att förhindra brands uppkomst. Varje år genomförs intensiva kampanjer för att upplysa om olika brandrisker. Svenska Brandförsvarsförbundet och Räddningsverket är två betydelsefulla aktörer. Om en brand trots allt uppkommer bör man ha som mål att dess skadeverkningar skall begränsas. Brandvarnare och boendesprinkler är exempel på system som verkar för detta mål. I samband med den senaste revideringen av byggreglerna (BBR, 1998) inkluderades en ny skrivning som säger att nya bostäder skall förses med anordning för tidig upptäckt av brand. Malmö Stad arbetar intensivt i samarbete med det kommunala bostadsföretaget att introducera brandvarnare i samtliga lägenheter. Kanske får vi inom några år se krav på boendesprinkler i vissa bostadsformer för att ytterligare reducera brandrisken.

### 2.4 Effekt av brandskyddsåtgärder

Effekten av brandvarnare analyseras av Hygge (1991). Han konstaterar att brandvarnare har en positiv effekt, men vanligt förekommande påstående som halverad dödsrisk etcetera saknar grund i statistiken. Hygge påvisar även att det går c:a 3-4 svårt skadade och 9-10 lätt skadade på varje dödsfall vid bostadsbränder. Detta bekräftar av Ruegg m fl (1984). I Tabell 2.5 sammanställs hur olika brandskyddssystem påverkar kvoten mellan döda och skadade vid bränder.



Tabell 2.5 Antal skadade per dödsfall vid bränder relaterat till skyddssystem

Skyddssystem	Antal döda per skadad
Inget	0,30
Brandvarnare	0,15
Sprinkler	0,18
Brandvarnare och sprinkler	0,10

Tabell 2.5 visar att ju mer avancerade skyddssystem som installeras i bostäder ju större skillnad blir det på antalet skadade per dödsfall. Brandvarnare fördubblar kvoten och i kombination med sprinkler så tredubblas. Räddningsverkets statistik över brand i byggnad påvisar ett förhållande på 1 till 8 mellan antalet lindrigt skadade och antalet dödsfall. Brittisk statistik (BSI, 1997) anger 20 skadade per död i bostadsbränder. Anledningen till variationen kan bero på hur man vid statistikrapporteringen tolkar att någon är ”lindrigt” eller ”svårt” skadad.

Enligt McCarthy (2000) har det under 1999 inte omkommit någon människa i en sprinklad brand. Detta bekräftas av statistik från NFRIS (Arvidson, 1998) där få dödsfall inträffade i sprinklade lägenheter. I ett antal sällsynta fall har en människa omkommit i sprinklade bostäder. Den främsta anledningen till detta är att personen är rörelsehindrad och att det brinner i den omkomnes kläder. Några tragiska exempel på feldimensionering av boendesprinklersystem finns där en brand har gett dödlig utgång. Ett exempel är branden i en vårdanläggning i Bessemer, USA. Enligt Arvidson (1998) gjorde en felaktig rördimension att sprinklern inte kunde leverera tillräcklig vattenmängd och fyra människor omkom.

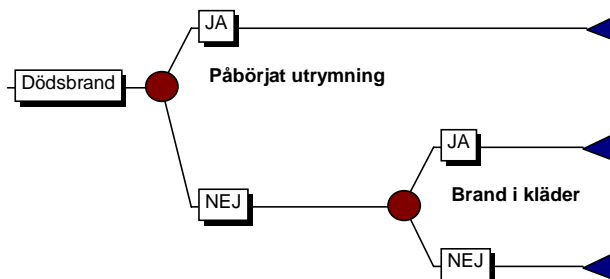
I samband med en studie om boendesprinklersystemens kostnadseffektivitet (Ruegg m fl, 1984) genomfördes en analys för att uppskatta effekten av sprinkler på antalet skadade och döda vid bränder. Analysen genomfördes genom att använda testdata från simulerade bostadsbränder, expertbedömningar och statistik. Resultatet sammanfattas i Tabell 2.6.

Tabell 2.6 Uppskattad effekt av boendesprinkler i en- och tvåfamiljsbostäder (Ruegg m fl, 1984)

Effekt av sprinkler, antalet döda	Brandvarnare	Boendesprinkler utan brandvarnare	Boendesprinkler med brandvarnare
Uppskattad reduktion av dödstalet per tusen bränder relativt när ingen sprinkler eller detektor finns närvarande	48%	69 %	82 %
Uppskattad reduktion av dödstalet per tusen bärnder relativt när detektorer finns närvarande	-	-	63%

Ruegg m fl (1984) påvisar vilken effekt brandvarnare skulle ha haft om de hade blivit obligatoriska före sprinklersystemen. Deras uppskattning påvisar en reduktion av antalet döda med 48%, vilket har en god överensstämmelse med Räddningsverkets statistik. Att komplettera med ett sprinklersystem skulle sänka dödsrisken till 82%. NFPA har också studerat sprinklers effektivitet för att reducera antalet dödsbränder. Uppskattningar på en reduktion av antalet döda till 65% gick att finna i statistiken. Uppskattningen baseras på ett underlag om 21 dödsfall i 6300 bränder med sprinkler och 3124 döda i 325600 bränder utan sprinkler under en tioårsperiod.

Enligt statistiken (Räddningsverket, 2000) så har c:a hälften av alla brandoffer legat på golvet vid upptäckt. Detta kan tolkas som att de har varit medvetna om branden, men inte kunnat rädda sina liv. Det är troligt att de upptäckt branden för sent. Vidare så brann det i den omkomnes kläder i ungefär 25% av bränderna. Denna information sammanfattas i ett händelsetråd, vilket visas i Figur 2.2 nedan.



Figur 2.2 Händelsetråd över några tänkbara scenarier vid en dödsbrand

Om det uppstår 100 dödsbränder med en död per brand på ett år så har enligt sammanställningen av Räddningsverkets statistik 50 försökt utrymma och 50 misslyckats. Av de som misslyckats har det brunnit i kläderna hos 25 och de resterande 25 har ej utrymt av okänd anledning. I Tabell 2.6 visas effektiviteten hos olika brandskyddssystem. Statistiken från Räddningsverket kan användas för att konstatera nedanstående relationer.

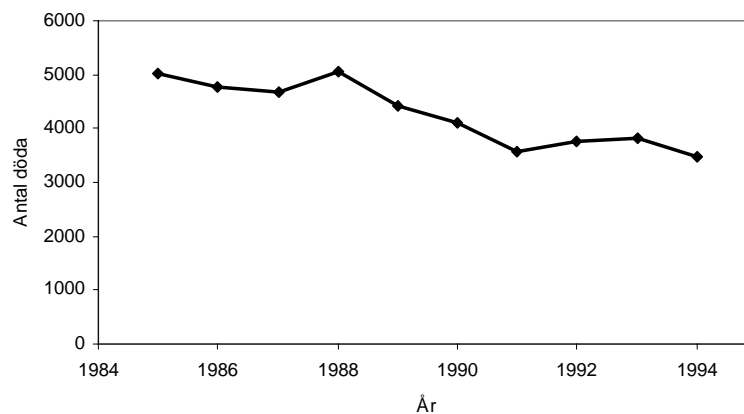
- En brandvarnare räddar 50 av de som annars skulle ha omkommit
- Sprinkler räddar ytterligare 25.
- Maximalt 25 personer kan ej räddas då de inte kan utrymma på grund av rörelsehinder och/eller att deras brinner i deras kläder.

Det finns en viss konservatism i det sistnämnda påståendet i och med att information som säger hur effektiv en sprinkler är att slå ner brand i kläder saknas. Dock kan man utgå från att personerna blir svårt brännskadade även om de inte omkommer. Överensstämmelsen med Ruegg m fl (1984) är dock god.

## 3 Boendesprinkler

### 3.1 Historik

Konceptet med boendesprinkler (residential sprinklers) utvecklades i början av 1970-talet i USA. Man ville man komma till rätta med det stora antal dödsoffer som brand i byggnad orsakar. Konceptet "America Burning" innebar förbättrad statistikinsamling, utveckling av brandvarnare och introduktion av boendesprinkler. Konceptet var framgångsrikt och antalet döda i bränder reduceras under de kommande åren. Figur 3.1 visar antalet döda i bränder mellan 1985-1994.



Figur 3.1 Antal döda i bränder i USA under perioden 1985-1994 (Arvidson, 1998)

Den senaste standarden som behandlar boendesprinkler är NFPA 13R (NFPA, 1999). Forskningen som ligger bakom standarden berör främst experiment där olika system testas mot en särskild kravbild. Kung (1975) redovisar tester som Factory Mutual Research utförde för att studera hur sprinklers kontrollerar bränder i boendemiljö. För att utvärdera de olika sprinklersystemen sattes följande kriterier upp.

- Begränsa den maximala taktemperaturen till 315 °C
- Begränsa den maximala temperaturen på 1,6 m höjd ovan golv till 93 °C
- Uppfylla ovanstående kriterier med maximalt två utlösta sprinkler.

Genom att klara av det första kriteriet ges en indikation på att övertändning inte kommer att inträffa. Det andra kriteriet syftar till att skapa en säker miljö för utrymmande människor. Syftet med det sista kriteriet är att påvisa de två första kan hanteras med en begränsad vattenkälla. Arvidson (2001) anger att de minsta vattenflöden och maximala täckningsytor som blev resultatet av sprinklerförsök i Los Angeles år 1979 fortfarande lever kvar i dagens NFPA 13R. Dock har det getts möjlighet att använda nya typgodkända sprinkler med lägre vattenflöden och större täckningsytor. Det finns därför en osäkerheten huruvida sprinklersystemen klarar av de grundläggande krav som ställdes vid introduktionen på 1970-talet (Arvidson, 2001).

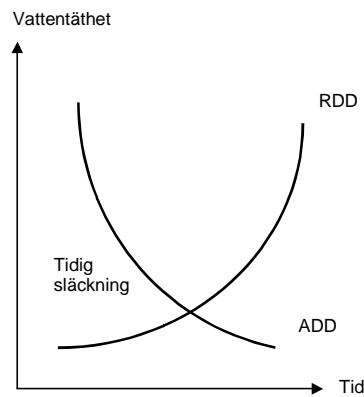
### 3.2 Systemutformning

Bostadssprinkler är enligt (SBF, 1997) en typ av sprinkler som uppfyller de krav som anges i NFPA 13. Formellt sätt så behöver inte sprinklern vara av typen fast-response ( $RTI < 50 \text{ ms}^{1/2}$ ), men i praktiken kan den inte klara av provet utan att vara det. Sprinklern skall dessutom vara underställd undersökningar där dess förmåga att höja personskyddet i brandrummet har fastställts. Skillnaderna mellan ett traditionellt sprinklersystem och ett system med boendesprinkler berör främst erforderlig vattentäthet, maximal verkningsyta, dimensionerande antal sprinkler och att alla utrymmen ej behöver sprinklas.

Filosofin och principerna bakom NFPA 13R är baserade på grundtanken att göra systemet praktiskt användbart och ekonomiskt fördelaktigt. Följande tankar utgjorde basen för utvecklingen av konceptet.

- Kostnaden är en betydelsefull faktor. Det var nödvändigt att hitta ett system som var effektivt och kunde installeras till betydligt lägre kostnad än de traditionella NFPA 13 systemen för att få en acceptans för boendesprinkler. Följden blev något lägre tillförlitlighet och större restriktioner i tillämpningsområde än systemen i NFPA 13.
- Personsäkerhet är det främsta målet, medan egendomsskydd kommer i andra hand.
- Systemen skall utformas så att branden kan kontrolleras för en tid som är tillräcklig för att människorna skall hinna utrymma. Detta kan översättas med en vattenkapacitet på 10 min i kombination med utrymningslarm.
- Rörinstallationer, komponenter och upphängningsanordningar måste vara kompatibel med de tekniker och metoder som används vid byggande av bostäder. Kombinerade sprinkler- och VA-rör är acceptabla ur brandskyddssynpunkt.
- Brandstatistik kan användas för att härleda vilka utrymmen som kan undantas från sprinklerplacering. Man menar att utrymmen som inte bidrar med någon större sannolikhet till antalet dödsbränder ej behöver förses med sprinkler.

Boendesprinklerkonceptet är baserat på en brandbelastning om c:a  $200 \text{ MJ/m}^2$ . Om brandbelastningen överstiger detta värde kan man inte förvänta sig att systemet löser sin uppgift. För att systemet skall vara effektivt krävs att de sprinkler som befinner sig närmast branden aktiveras innan dess att branden blir så omfattande att den överskrider sprinklerns förmåga att släcka eller kontrollera branden. I dessa sammanhang är det vanligt att föra in begrepp som RDD (Required Delivered Density) och ADD (Actual Delivered Density). RDD är den minsta vattenmängd som krävs för släckning och ADD är den vattenmängd som systemen levererar. För släckning krävs att  $ADD > RDD$ , vilket illustreras i Figur 3.2.



Figur 3.2 Samband mellan ADD och RDD

### 3.2.1 Vattentillförsel

Alla boendesprinklersystem skall ha minst en automatisk vattentillförsel. Om man använder ett vattenmagasin skall vattenmängden beräknas i enlighet med dimensioneringskriterierna i kapitel 3.2.3. Tillåtna vattenkällor är bland annat anslutning till kommunal huvudvattenledning, högvattenmagasin och magasinerat vatten med automatisk pump.

### 3.2.2 Systemkomponenter

Om sprinklersystemet använder en kommunal huvudvattenledning som vattenkälla skall det finnas en gemensam huvudavstängningsventil för hushållssystemet och sprinklersystemet. Sprinklersystemet kan förses med en avstängningsventil om den är larmad eller låst i öppet läge. VA-verket kan ställa krav på backventiler för att tillåta en anslutning till det allmänna nätet. Att använda en gemensam avstängningsventil för hushåll och sprinkler innebär med automatik att tillförlitligheten på vattentillförseln höjs. Det är då inte möjligt att sprinklersystemet är avstängt samtidigt som det kommer vatten i kranar och toaletter. På så vis försäkras man sig mot oupptäckta vattenavbrott.

Rören i sprinklersystemet kan antingen utgöras av traditionella stålrör eller av plaströr. Ett exempel på tygodkänt plaströr är CPVC. Plaströren medger minskade installationskostnader och lägre vikt. Nackdelarna gentemot stålrör är fler upphängningar samt miljöaspekter. Miljömässigt anses rören bättre än PVC-rör som förbjudits i många sammanhang. CPVC miljöpåverkan är dock inte fullständigt klarlagd.

Tygodkända sprinkler skall användas inne i bostaden. Det finns två provningsmetoder på marknaden för att tygodkänna sprinkler. Den ena är UL 1626 som utvecklats av Underwriters Laboratories, Inc (1990). Och den andra är FM 2030 som utvecklats av Factory Mutual Research Corporation (1983). Boendesprinkler skall normalt inte använda torrörsystem.

### 3.2.3 Dimensioneringskriterier

Vattenflödet i system skall vara minst 68 l/min till varje enskild sprinkler som utlösts och minst 49 l/min per sprinkler då alla inom en verkningsyta utlösts. Systemet dimensioneras efter maximalt fyra sprinkler i en verkningsyta. Vattenmängden skall räcka i minst 30 min. Sprinklers täckningsyta skall inte överstiga 13,4 m<sup>2</sup> och det

maximala avståndet mellan sprinklerhuvudena får inte överstiga 3,7 m. Den dimensionerande vattentätheten blir enligt specifikationerna ovan 5 mm/min.

Det finns även en undantagsregel i NFPA 13R som ofta används. Om en sprinkler har godkänts för lägre flöden och större täckningsytor så får den också användas. I praktiken blir flödet sällan mer än 30-35 l/min och täckningsytor går upp mot 25 m<sup>2</sup>.

### **3.2.4 Placering av sprinkler**

Placering av sprinkler är baserad på dödsbrandstatistiken i USA. Då denna analyserats framgick det att bränder med dödlig utgång främst uppstår i vissa utrymmen, medan i andra utrymmen uppkommer de mer sällan eller aldrig. Vid framtagning av dimensioneringsregler har således de utrymmen där dödsrisken är mycket låg undantagits från krav om sprinkling. Exempel på sådana utrymmen är badrum, klädkammare, skafferi och vindsutrymme.

### **3.2.5 Underhåll**

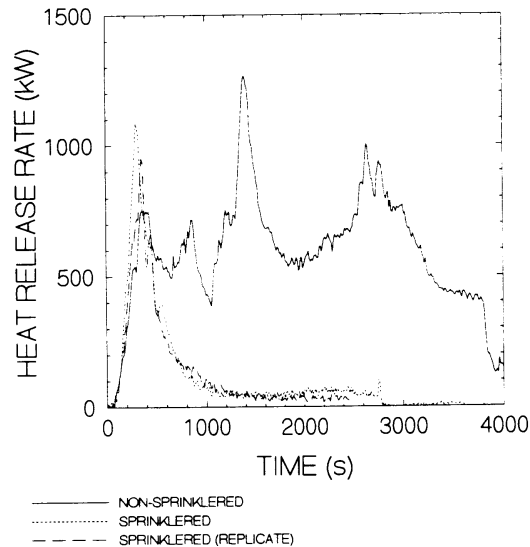
Det är fastighetsägarens ansvar att sprinklersystemet hålls i funktionsdugligt skick. Besiktning, provning och underhåll skall ske enligt uppställda rutiner. I rekommendationerna (SBF, 1997) anges att i ett månatligt underhåll bör åtminstone omfatta nedanstående punkter.

- Okulär besiktning av alla sprinkler för att se till att inget hindrar vattenspridningen
- Kontroll av alla ventiler för att se om de är öppna
- Kontroll av alla anordningar som styr vattenflödet
- Kontroll av alla larmsystem och överföringar om sådana finns installerade.
- Kontroll av pumparnas funktion
- Kontroll av vattennivån i tankarna

För sprinkler i bostäder kan ovanstående kontrollpunkter anses vara för omfattande och förknippade svåra att genomföra. Det är därför viktigt att hitta system och underhållsrutiner som säkerställer en hög tillförlitlighet, trots att omfattande kontroller ej utförs. Sådana anvisningar utarbetas för närvarande inom projektets ramar (se kapitel 1.1).

## **3.3 Påverkan på brandförlopp**

Boendesprinklernas uppgift är att släcka eller kontrollera en brand så att den inte sprider sig utanför startrummet. Detta skall ske så snabbt att det inte hinner uppstå förhållanden som är kritiska för utrymning (se kapitel 4.3). I ett antal experimentella försök har Madrzykowski & Vettori (1992) studerat sprinklernas påverkan på brandförloppet i syfte att ta fram en algoritm för dess effektivitet. I Figur 3.3 visas hur sprinklern påverkar brandens förlopp.



Figur 3.3 Illustration av sprinklernas påverkan på brandförlopp (Madrzykowski & Vettori, 1992).

Sekizawa m fl (1997) utreder hur brandmiljön i rummet påverkas efter det att sprinklern aktiverats. I deras studie framgår det att sprinkleraktiveringen orsakar att all luft i rummet blandas om och den ursprungliga tvåzonsskiktningen upphör. I de flesta fall ökar den optiska tätheten och kolmonoxidhalten efter sprinkler aktiverats. Detta beror dels på omrörningen och dels på att förbränningseffektiviteten minskar med ökande produktion av oförbrända gaser som följd.

Schönberg (2000) har genomfört tio fullskaleförsök för att undersöka om boendesprinkler kan minska koncentrationerna av brandgaser så mycket att liv räddas. Resultatet från försöken med sprinkler visar att det bildas betydligt lägre koncentrationer av kolmonoxid och koldioxid än då sprinklern inte fungerar. Även syrekoncentrationerna är högre samtidigt som temperaturen i brandrummet sänks snabbt efter sprinkleraktivering. Schönberg påpekar även att strålningen från brandgaslagret eventuellt kan ge upphov till brännskador samtidigt som sikten i brandrummet blir väldigt begränsad efter det att sprinklern aktiverats

Sprinklersystemet har även en klar positiv påverkan på det passiva brandskyddets möjlighet att lösa sin uppgift. Genom att släcka eller begränsa branden sänks temperaturen i rummet. Därmed minskar också den termiska last som konstruktionen utsätts för. Sprinklern påverkar även de passiva konstruktionerna som branddörrar och fönster genom att kyla dem så att ställda krav kan uppfyllas under längre tid. I vissa handböcker tillåts att lättnader görs i passivt brandskydd då sprinkler installeras. Boendesprinklers primära funktion är att släcka branden i ett tidigt skede. Detta åstadkoms med snabb sprinkleraktivering. Vissa anser därför att boendesprinkler borde kunna ersätta passivt brandskydd rakt ut. Man måste emellertid vara helt klar över att konsekvenserna blir mycket allvarligare då anläggningen inte lyckas släcka branden (NKB, 1996). Tyvärr kan man inte vara så enkel i sitt resonemang som NKB (1996) förespråkar. För att avgöra hur stor reduktion man kan göra på passiva krav vid sprinklerinstallation krävs en ordentlig riskanalys med studie av både sannolikhet och konsekvens för olika utfall.

## 3.4 Erfarenheter

### 3.4.1 Internationella erfarenheter

Ford (1997) redovisar erfarenheterna av tio års erfarenhet med boendesprinkler i Scottsdale, USA. Staden införde ett lagkrav på sprinkler i bostäder 1985 och detta har påverkat säkerhetsnivån, brandskadekostnader och sprinklerutvecklingen på ett positivt sätt. I nedanstående punkter sammanfattas erfarenheterna från Scottsdale.

- Installationskostnaden för sprinklersystemen har reducerats från 120 kr/m<sup>2</sup> till dagens nivå på 62 kr/m<sup>2</sup>.
- Brandskadekostnaden i en osprinklad byggnad är i genomsnitt 168 000 kr. Motsvarande värde i sprinklad byggnad är 20 000 kr.
- I 92% av fallen släcktes branden en maximalt två sprinklerhuvuden.
- Vattenåtgången är c:a 18 000 l för en brand i osprinklad byggnad och 1300 l i en sprinklad.

Anledningen till minskad kostnad är enligt Ford (1997) att standarder finns etablerade, ökad konkurrens, större efterfrågan och ökad effektivitet bland installatörerna. I studien ges enbart genomsnittsvärden på skadekostnaderna. Det går därför inte att se hur fördelningen av storskador ser ut.

### 3.4.2 Svenska erfarenheter

1997 gav Svenska Brandförsvarsförbundet ut en översättning av den amerikanska standarden NFPA 13R. Rekommendationen (SBF, 1997) behandlar sprinklersystem i bostadshus med högst fyra våningar. Tidigare har byggherren varit hänvisade till branchens riktlinjer för automatisk vattensprinkleranläggning (SBF 120, 2001). De nya rekommendationerna skiljer sig på flera punkter från SBF 120. De främsta skillnaderna är att vissa utrymmen ej behöver sprinklas, att systemet dimensioneras efter endast fyra aktiverade sprinklerhuvuden och att ingen separat sprinklerservis behövs.

Det finns idag inga krav på boendesprinkler i byggreglerna (BBR, 1998). Dock finns det vissa avsteg som är möjliga då sprinkler installeras. Dessa avsteg kan tex beröra reducerad brandteknisk klass på vissa byggnadsdelar och att brandceller i fler än två plan tillåts. Det är även möjligt att öka maximalt tillåtet gångavstånd till utrymningsväg. Trots att det inte finns några formella krav för användning av boendesprinkler finns det ett antal byggnader runt om i landet som har system som liknar de beskrivna i NFPA 13R. De flesta installationer av boendesprinkler i Sverige finns i bostäder för äldre eller sjukhem. Anledningen till att boendesprinkler installerats är i de flesta fall att räddningstjänsten har bedömt det vara nödvändigt att installera ett skyddssystem för att kunna säkerställa trygg utrymning. På senare år har det även tillkommit ett antal byggnader där installationen av ett sprinklersystem har varit nödvändig för att kunna uppfylla byggreglernas funktionskrav. Det handlar om byggnader med alternativa utformningar av fasadmaterial, planlösning samt avstånd till granntomt. Sprinklersystemet har då blivit en nödvändighet för att säkerställa utrymning och skyddet mot brandspridning.

I många av installationerna har man endast punktsprinklat vissa utrymmen. I äldreboende handlar det om uppehållsrum, kök, matsal samt övriga gemensamhetsutrymmen. För dessa äldreboende innebär det att man inte sprinklar de



utrymmen där risken att omkomma är som störst. Syftet med sprinklerinstallationen har inte varit att öka säkerheten utan enbart att komma runt vissa krav i byggreglerna. Exempel på sådana krav är brandavskiljningskrav mellan rum och korridor samt att utrymningsvägar skall hållas fria från brännbart material, dvs lös inredning. Arvidson (1998) påpekar att det finns en uppenbar risk för begreppsförvirring och dåliga lösningar då även dessa lösningar benämns för bostadssprinklersystem.

### 3.5 Tillförlitlighet

Det finns en rad faktorer som kan påverka tillförlitligheten för ett system med boendesprinkler. Felkällor kan härledas till antingen feldimensionering, problem med vattentillförseln eller felfungerande sprinklerhuvuden. NFPA anger att boendesprinkler misslyckas att operera effektivt i ungefär 8% av fallen på grund av felaktig installation och brister i underhåll. Vanliga orsaker till fel är att vattentillförseln är avstängd, sprinklerhuvudet övermålat eller att möbler har placerats så att sprinklernas effektivitet begränsas. I Tabell 3.1 sammanställs olika typer av felorsaker.

Tabell 3.1 Orsaker till olika typer av fel (Finucane m fl, 1989)

Sprinklern fungerar ej tillfredsställande	Sprinklern kan ej komma åt branden	Felaktig dimensionering
Felaktig vattentillförsel	Ofullständig täckning	För snabbt brandförlopp
Frusna vattenledningar	Långsam aktivering	Fel riskklass
Felaktiga ventiler	Felaktig byggnadsutformning	
För lågt tryck	Brandpåverkan	
Felaktigt underhåll		

Man kan även använda sig av så kallad felträdsteknik för att studera sannolikheten att sprinklersystemet inte kan lösa sin uppgift. Här krävs då indata i form av felfrekvenser och felsannolikheter för de olika komponenter som ingår i systemet.

### 3.6 Motiv till boendesprinkler

Projektet "America Burning" (Ford, 1997) identifierade ett antal områden som krävde omfattande insatser för att komma åt USAs brandproblematik. Bland annat konstateras att det måste läggas mer resurser på förebyggande verksamhet, folket behöver träning i brandskydd och det byggnadstekniska brandskyddet måste förbättras. Under devisen "there is no honor fighting a fire that could have been prevented" definierades två olika typer av brandskydd – reaktivt respektive proaktivt brandskydd.

Det reaktiva brandskyddet består av passivt brandskydd i byggreglerna och den traditionella räddningstjänsten. Man ställer en förhoppning till att hjälp skall anlända tillräckligt snabbt för att ha en positiv verkan på skadeförloppet. Det proaktiva brandskyddet utgörs av tekniker som verkar för att direkt öka möjligheterna för människor att undkomma en brand i kombination med ett omfattande utbildningsprogram. Exempel på ovanstående tekniker är boendesprinkler och brandvarnare.

#### 3.6.1 Tekniska byten

I USA (RFSI, 2000) motiverar man en sprinklerinstallation med olika typer av lättnader. Det handlar omfattar allt från bygglån, försäkringar till olika alternativa utformningar av brandskyddet och tekniska byten. Lättnaderna berör olika intressenter och fokus ligger

på markägaren, byggaren, installatören och ägaren. Tabell 3.2 sammanfattar dessa lättnader.

Tabell 3.2 Lättnader som erhålls vid sprinklerinstallation i USA (RFSI, 2000)

Lättnad	Berör			
	“Developer”	“Builder”	“Installer”	“Owner”
Reducerad markkostnad	X	X		
Lågkostnadslån	X	X		X
Ökad bebyggelsestäthet	X			
Reducerat brandvattenflöde	X			
Ökat avstånd mellan brandposter	X			
Längre avstånd till brandstation	X			X
Minskad åtkomlighet till byggnader	X			
Smalare gator	X			
Färre parkeringsrestriktioner	X			
Längre återvändsgator	X			
Minskade vändplatsytor	X			
Reducerade tillståndsavgifter		X	X	
Reducerade brandkrav på byggnadsdelar		X	X	
Ökat avstånd till utrymningsväg		X	X	
Enkel vattentillförsel			X	
Ingen separat sprinklerservis			X	
Ingen VA-anslutningsavgift			X	X
Lägre försäkringspremier				X
Lägre riskklass				X
Reducerad fastighetsskatt				X

Reducerad markkostnad innebär att kommunen inte tar ut full avgift för att dra fram VA, el, bygga vägar, anlägga parker, etc då nya etableringar sker och bostäderna förses med boendesprinkler. Vissa kommuner i USA kan även låna ut pengar till låg ränta till de husägare som vill installera sprinkler i sin bostad. Boendesprinkler ger även en möjlighet att utforma den nya stadsdel annorlunda. Man tillåter kortare avstånd mellan byggnader, högre bebyggelsestäthet, längre återvändsgator, smalare vägar etc. Dessa reduktioner leder till att markägaren kan utnyttja sin mark effektivare och på så sätt få fler köpare. Det är även möjligt att exploatera nya områden som ligger utanför det rekommenderade avståndet till brandstation som översiktsplanen anger. För den enskilda husägaren ges en rad lättnader för att subventionera installationen av boendesprinkler. Husägaren får lägre försäkringspremier, minskad riskklass och lägre fastighetsskatt.

Sammanfattningsvis så påverkar boendesprinkler följande områden.

- Samhällsplanering
- Byggnadsutformning
- Byggekonomi

### 3.6.2 Myter och fakta om sprinkler

Användning av sprinklersystem har visat sig vara ett pålitligt skydd för personer och egendom i över 100 år. Men, det finns en del myter kring användning av sprinklersystem samt hur effektiva de är. Ford (1997) listar följande myter och besvarar dem.

#### *Vattenskador från en sprinkleraktivering förstör mer än vad själva branden gör*

Erfarenhet visar att vattenskador orsakade av en sprinkler är mycket mindre allvarliga än de vattenskador som orsakas av räddningstjänstens bekämpning av branden. Snabbutlösande sprinklers ger ett vattenflöde på 30-90 l/min i jämförelse med ett strålrör som ger 150-300 l/min.

#### *När det börjar brinna utlöser alla sprinklers*

Varje sprinklerhuvud aktiveras individuellt av branden. Bostadsbränder kontrolleras till 90% av endast en sprinkler. För brand i allmän byggnad kontrolleras bränderna till största delen av tre sprinklers.

#### *Enbart brandvarnare ger tillfredsställande säkerhet*

Brandvarnare räddar liv genom att påskynda utrymningen, men den kan inte göra något för att släcka en brand eller skydda de som inte kan utrymma själva, till exempel äldre eller små barn. Allt för ofta fungerar inte brandvarnare på grund av gamla batterier.

#### *Sprinklers är dimensionerade för egendomskydd och inte personsäkerhet*

Sprinkler ger en hög säkerhetsnivå. Statistik påvisar att det har aldrig inträffat en dödsbrand med fler än tre omkomna i en totalsprinklad byggnad. Egendomsskadorna är 85% lägre i en sprinklad byggnad jämfört med byggander utan sprinkler.

#### *En sprinkler kan utlösas utan orsak och orsaka vattenskador*

Endast värme kan utlösa en sprinkler och enbart en tillväxande brand kan generera så mycket värme så att detta sker. När det gäller felfunktion så är det endast en av 16 miljoner sprinkler som aktiveras utan att påverkas av brand. De rörinstallationer som förser systemet med vatten testas för tryck som är 2-3 gånger högre än normala krav på vattensystemen i byggnad.



## 4 Bostadsbranden

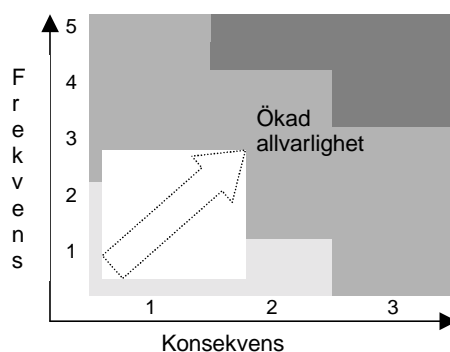
### 4.1 Brandscenarier

I NKB (1997) ges riktlinjer för val av brandscenarier. Med brandscenario menas det händelseförlopp som startar med brands uppkomst och avslutas då den släcks. Då antalet möjliga bränder som kan uppstå i en byggnad är i det närmaste oändligt så måste valet av brandscenarier baseras på någon form av grovanalys. Grovanalysen består av att utifrån statistik identifiera tänkbara brandorsaker, startutrymmen och startföremål. Dessa bränders konsekvens och sannolikhet värderas sedan grovt i en riskmatris genom att de tilldelas en frekvens- respektive konsekvensklass. De olika klasserna redovisas i Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Exempel på frekvens- och konsekvensklasser för brandscenarier.

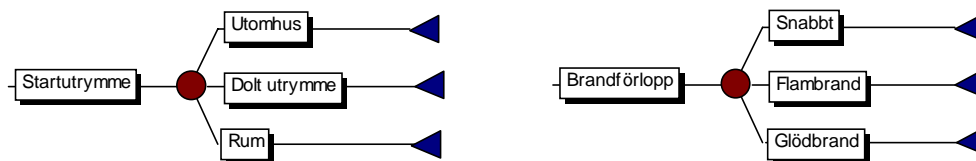
Klass	Frekvens	Konsekvens
1	Osannolik	Försumbar (ingen eller ringa skador)
2	Mindre sannolik	Farlig (mindre person- och egendomsskador)
3	Sannolik	Katastrofal (betydande person- och egendomsskador)
4	Mer sannolik	
5	Mycket sannolik	

Efter det att ett brandscenario tilldelats frekvens- och konsekvensklass enligt Tabell 4.1 kan det placeras i en riskmatris vilken visas i Figur 4.1.



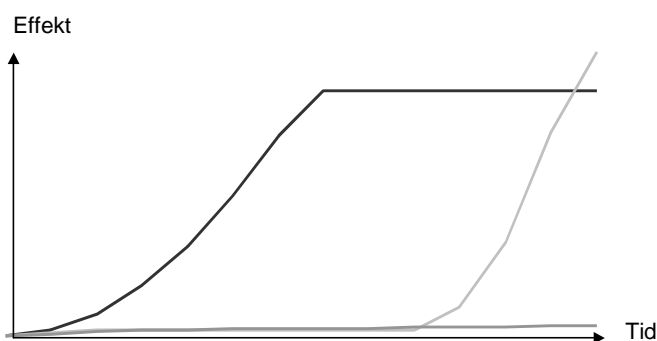
Figur 4.1 Riskmatris för gradering av brandscenarier. Frekvens- och konsekvensklass väljs enligt Tabell 4.1.

Gomberg m fl (1982) genomförde en detaljerad analys i vilken brand i bostäder grupperades i nio huvudsakliga scenarier. Dessa scenarier kan klassificeras med hjälp av startutrymme och brandförlopp. Möjliga startutrymmen är utanför bostaden, i bostaden fast i ett dolt utrymme och i ett rum. Brandförloppen delas in i tre grupper; glödbränder, flambränder samt bränder med snabba brandförlopp. Dessa karakteristiska bränder ger tillräcklig variation i brandförlopp för att kunna representera de vanligaste bränderna som leder till dödsfall. Figur 4.2 visar möjliga de huvudsakliga scenarierna.



Figur 4.2 Möjliga kombinationer av startutrymme och brandförlopp som utgör bostadsbrändernas huvudsakliga scenarier.

Flambränderna startar med vad som kan benämnas en förbrinntid. Under förbrinntiden påbörjas förbränningen och så småningom har branden tillräcklig styrka för att kunna tillväxa. Förbrinntiden är beroende av antändningskälla och vilket material som brinner. Ett fibröst material som antänds av exempelvis en glödande cigarettfimp har en förhållandevis lång förbrinntid. En pöl med bensin som antänds av en tändsticka har däremot ingen förbrinntid. Exempel på tillväxtkaraktistiska de olika brandförloppen visas i Figur 4.3.



Figur 4.3 Exempel på karakteristiska lägenhetsbränder. Svart linje motsvarar en brand med snabbt brandförlopp, ljusgrå linje representerar en flambrand och den mörkgrå linjen utgör en glödbrand.

Det är dock inte alla kombinationer av startutrymme och brandförlopp som är relevanta då dödsbränder skall analyseras kvantitativt. I statistiken (se kapitel 2.1.2) anges rökning, glömd spis, vedeldning och elektriska fel som vanliga orsaker till dödsbränder. Brand utomhus och glödbränder orsakar sällan dödsbränder. Glödbränderna är ofta ofarliga trots att de genererar oförbrända och toxiska gaser. Anledningen till detta är att koncentrationerna blir förhållandevis låga. Det dominerande brandscenariot för bostadsbranden är en flambrand som startar i ett rum.

## 4.2 Brandförlopp

### 4.2.1 Allmänt

Brand är en eld som är okontrollerad eller oönskad. Brandens utveckling och spridning beror på dess storlek i varje ögonblick. Brandens tillväxthastighet är proportionell mot dess storlek. När det brinner så går en stor del av den värme som utvecklas tillbaka till branden via strålning och konvektion. Resultatet blir att mer brännbara gaser avges och branden växer i intensitet. I det tidiga brandförloppet – innan någon egentlig tillväxt har tagit fart – pågår en pyrolys av det brännbara materialet. När denna pyrolys når en viss nivå så kan materialet antändas. För att trä skall kunna antändas gäller att  $2 \text{ g/m}^2\text{s}$

brännbara gaser måste avges (Ondrus, 1990). För plaster räcker med  $1 \text{ g/m}^2\text{s}$ . Minste erforderlig pyrolyshastighet för antändning utgör därför ett mått på materialets lättantändlighet.

Efter antändning och förbrinntid så påbörjas tillväxten. Förenklat innebär detta att branden hela tiden fördubblas i sin intensitet. Tillväxten har naturligtvis en övre gräns. Brandens maximala storlek kontrolleras antingen av bränsle- eller ventilationsförhållanden. Om en brand är bränslekontrollerad innebär det att det är mängden bränsle, dess kemiska och fysikaliska egenskaper samt dess konfiguration som styr brandens utveckling. En brand kan även styras av gällande ventilationsförhållanden, dvs storlek och förekomst av öppningar. En sådan brand är ventilationskontrollerad.

#### 4.2.2 Rumsbranden

Bengtsson (1999) ger en utförlig beskrivning av rumsbranden och dess brandförlopp. Delar av denna beskrivning återges nedan och syftar till att förklara vad som styr brandförloppet över tiden och att ge vissa centrala definitioner.

Rumsbranden är ett specialfall av såväl eld och brand som förbränning. Antag att vi har ett normalmöblerat TV-rum, dvs ett rum med en TV, en soffa, två fåtöljer, ett soffbord med en duk, en matta, några tavlor på väggarna, en taklampa samt två mindre läslampor. Det är i jultid och någon glömmer ett stearinljus på bordet. Efter någon timma har ljuset brunnit ner till ljusstaken, dekorerad med tygblommor. Tygblommorna fattar eld och elden sprider sig till ljusstaken. Detta är en så kallad *initialbrand*.

Från initialbranden stiger en *plym* av varma gaser och partiklar, *brandgaser*. Trots att brandgaser ofta kan vara mycket mörka och mycket varma, består dom till allra största delen av luft som värms upp av flammorna från initialbranden. Brandgaserna innehåller också gaser, som till exempel kolmonoxid, koldioxid, och sot. Plymen stiger uppåt, träffar taket, viker av och bildar en så kallad *takstråle*. Så småningom träffar takstrålen väggarna och den bromsas upp - ett övre varmt *brandgaslager* börjar bildas. Brandgaslagret är nästan osynligt till en början, men efterhand som sotpartiklarna fyller på blir det mörkare och mörkare. Denna process tar endast någon minut.

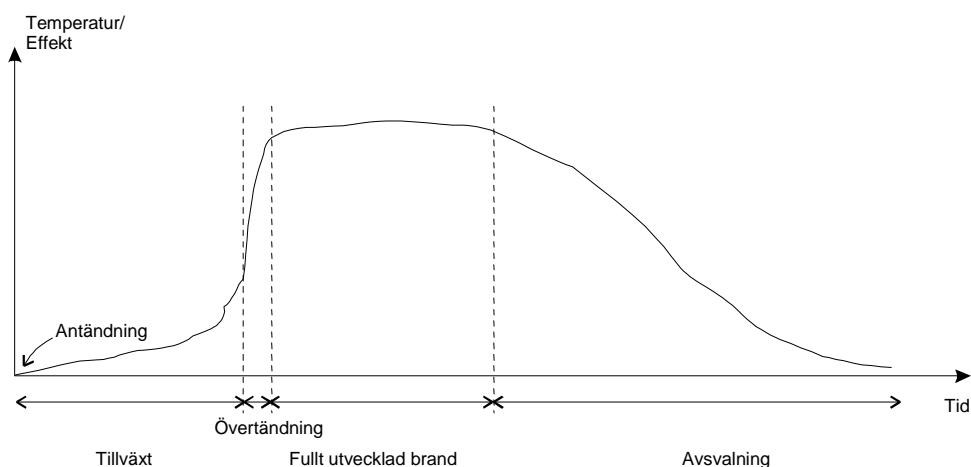
Om det nu finns tillräckligt med syre, dvs luft, i rummet för att initialbranden ska kunna växa kommer brandgaslagret att öka i tjocklek. Det blir också varmare och varmare. Tillsammans med flammorna från initialbranden, värms alla föremål och ytor upp och när yttemperaturen på föremålen närmar sig cirka  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  börjar de *pyrolysera*, vilket innebär att de sönderdelas och brännbara gaser bildas. Hela detta förlopp brukar kallas *det tidiga brandförloppet*. Det tidiga brandförloppet är normalt *bränslekontrollerat*, dvs effektutveckling och temperatur styrs av hur mycket bränsle som finns i rummet

Nästa steg kallas *övertändning*. Övertändning är en sammanhängande övergående period, där samtliga brännbara föremål eller ytor antänds. Övertändningsfasen i rummet ovan varar normalt under några sekunder upp till kanske en halv minut. Befinner man sig i rummet märker man att temperaturen snabbt stiger, brandgaslagret sjunker snabbt mot golvet och flammor börjar synas i brandgaserna.

Övertändningen följs av den *fullt utvecklade rumsbranden*. Den fullt utvecklade rumsbranden är normalt *ventilationskontrollerad*, dvs effektutveckling och temperatur styrs av ventilationsöppningarnas storlek och därmed hur mycket luft som kan strömma till branden. Övertändning kan därför beskrivas som övergångsskedet från bränlekontroll till ventilationskontroll. Den fullt utvecklade branden kan vara från någon minut till flera timmar.

Den fullt utvecklade rumsbranden följs av *avsvlningsfasen*. Denna kännetecknas av att bränslet i rummet börjar ta slut och såväl effektutvecklingen som temperaturen sjunker. Avsvlningsfasen kan vara från någon enstaka timma till flera timmar.

Ovanstående beskrivning kan illustreras med hjälp av Figur 4.4 nedan.

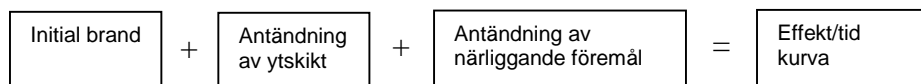


Figur 4.4 Beskrivning av rumsbrandens förlopp (Karlsson m fl, 2000)

Först antänds bränslet. Därefter sker tillväxtfasen och det varma brandgaslagret har en temperatur på 20-500 °C. Övertändning inträffar vanligen då brandgaslagrets temperatur är ungefär 600 °C. Temperaturen i brandrummet för den fullt utvecklade branden ligger i området 700-1200 °C. I själva avsvlningsfasen sjunker temperaturen och bränslet tar så småningom slut.

### 4.2.3 Dimensionerande brand

För att ta fram de dimensionerande brandförloppen används den principiella arbetsgången som presenteras i Figur 4.5 nedan.



Figur 4.5 Principiell arbetsgång vid framtagning av dimensionerande brandförlopp

Det finns sedan två olika alternativ för att finna effekt/tid-kurvan. Det första alternativet använder det angreppssätt som presenteras av Högländer m fl (1997) och Särdaqvist (1993). Angreppssättet bygger på att använda data från de brandprover som genomförts inom ramen för det europeiska projektet CBUF för att ta fram effektkurvorna. Möjlighet finns att ta med både lös inredning, ytskikt, golvbeläggning, gardiner, etcetera i beräkningarna.



Det andra alternativet för att finna effekt/tid-kurvan baseras på en vägledning som ges i NKB (1997). Före övertändning, dvs det stadium av brandförloppet som är av intresse när det gäller personsäkerheten kan brandens effektutveckling  $Q$ , över tiden  $t$ , beskrivas med hjälp av en tillväxtfaktor  $\alpha$ , enligt  $Q = \alpha t^2$

Beroende av materialet som brinner antar  $\alpha$  olika värden. Branden fortsätter att tillväxa tills dess att en viss maximal brandeffekt är uppnådd. Den maximala brandeffekten bestäms utifrån experimentella data som finns redovisade i tex Särdaqvist (1993) och SFPE (1995). Tabell 4.2 visar hur tillväxthastigheten kan variera för olika standardfall.

Tabell 4.2 Exempel på olika tillväxthastigheter (Karlsson m.fl, 2000).

Typ	Tillväxthastighet	Tid till 1 MW
Långsam	0,003 kW/s <sup>2</sup>	600 s
Medium	0,012 kW/s <sup>2</sup>	300 s
Snabb	0,047 kW/s <sup>2</sup>	150 s
Ultrasnabb	0,19 kW/s <sup>2</sup>	75 s

$\alpha t^2$ -branden kan inte användas förrän brandens tillväxtfas har påbörjats. Innan branden kommer till detta stadium så pågår en förbrinning under en viss tid. Förbrinntiden är den tid under vilka branden skapar sig tillräcklig styrka för att kunna utvecklas. Beroende av tändkälla så kan den pågå i allt från några sekunder till flera timmar. Val av maximal effekt har primärt enbart betydelse för tiden till kritiska förhållanden i rum som befinner sig bortom brandrummet. I själva brandrummet kommer kritiska förhållanden att ha inträffat långt innan maximal effekt uppnås.

### 4.3 Kritisk påverkan för människan

Ondrus (1990) listar huvudsakliga orsaker till skador på människor vid brand, vilka återges nedan.

- Värme som kan ge direkta brännskador och/eller värmechock
- Förekomst av kolmonoxid
- Syrebrist
- Förekomst av andra gaser som bildas på grund av värme
- Förekomst av rök
- Panik, chocktillstånd eller yttre (mekanisk) påverkan

#### 4.3.1 Värme

Värme är skadligt då den orsakar värmeskador, värmechock och vätskeförlust. Om en människa utsätts för en värmepåverkan, särskilt i kombination med hög luftfuktighet finns det en risk för medvetlöshet och dödsfall. Redan vid 70 °C inträffar cirkulationsrubbingar. Om temperaturen överstiger 150 °C är det mycket svårt att andas. Vid temperaturer kring 200 °C är toleranstiden endast ett fåtal minuter med mycket omfattande brännskador som följd.

#### 4.3.2 Kolmonoxid

Kolmonoxid bildas vid alla bränder, oavsett vad som brinner och i vilken fas branden befinner sig i. Kolmonoxid binds till blodet i föreningen COHb. En ökad halt av COHb leder till att en försämrad syretillförsel till kroppens vävnader. Kolmonoxiden tar upp den plats som vanligen syret binder vid på de röda blodkropparna. Kroppens förmåga att ta upp kolmonoxid är mycket hög. Andelen COHb i blodet ökar därför ständigt när

kolmonoxid inandas. Det är även andelen (%) COHb som styr vilken påverkan som kroppen utsätts för. Den vanligast orsaken till dödsfall vid brand är kolmonoxidförgiftning (se kapitel 2.1.3). I en patologisk studie (Anderson m fl, 1981) så fanns dödliga nivåer (> 50% COHb) i 54% av alla omkomna vid brand. Sju av tio hade blodkoncentrationer tillräckligt höga för att orsaka medvetslöshet (> 30% COHb). I Tabell 4.3 redovisas hur olika blodkoncentrationer av kolmonoxid påverkar människan (Purser, 1995).

Tabell 4.3 Påverkan av kolmonoxid (Purser, 1995).

Koncentration	Påverkan
15-20% COHb	Förvirring
30-40% COHb	Medvetslöshet
50-70% COHb	Död

Kolmonoxidgasen är alltså särskilt intressant på grund av nedanstående skäl.

- Den finns alltid närvarande vid brand
- Den försämrar utrymningsmöjligheterna då den orsakar förvirring och medvetslöshet
- Den är den främsta orsaken till dödsfall vid brand

För att kunna uppskatta tid till medvetslöshet är det viktigt att känna till vid vilken koncentration som medvetslöshet inträffar och hur stort upptaget av kolmonoxid är. Upptaget styrs av andningsfrekvensen och koncentrationen i rummet.

#### 4.3.3 Syrebrist

Efterhand som brandförloppet fortskrider så minskar syrehalten i rummet. När syrgashalten inträffar medvetslöshet då syretillförseln till hjärnan blir för låg. Tid till medvetslöshet styrs av personens aktivitet och koncentrationsminskningen. Personens aktivitet påverkar både syrebehovet och upptaget. Tabell 4.4 är hämtad från Ondrus (1990) och visar verkan av minskad syrehalt i inandningsluften.

Tabell 4.4 Effekt av minskad syrehalt i inandningsluften (Ondrus, 1990)

Syrgashalt (%)	Fysiologisk effekt
21	Ingen
17	Försämrad muskelsamverkan. Ökad andningshastighet
14	Farlig nivå för utrymning
12	Yrsel, huvudvärk, snabb trötthet
9	Medvetslöshet
6	Död inom 6-8 minuter

#### 4.3.4 Övriga giftiga gaser

Rök är en blandning av upphettade gaser, små vätskepartiklar och sot. I Tabell 4.5 visas effekten av andra brandgaser än kolmonoxid. I de vanligaste brandsituationerna är gaserna i Tabell 4.5 troligen mer av bidragande karaktär än den direkta orsaken till dödsfall. Det finns även fall då man de olika gaserna samverkar och påskyndar tiden till medvetslöshet. Ett exempel är att koldioxid ökar andningshastigheten och påskyndar upptaget av andra toxiska gaser. Vid en CO<sub>2</sub>-koncentration under 3% sker ingen direkt påverkan. Vid 3 % fördubblas andningsvolymen och vid 5% är den tredubblad. Detta innebär att tiden till medvetslöshet minskar med 50% respektive 67%.

Tabell 4.5 Verkan av brandgaser på människan (Ondrus, 1990)

Gas	Effekt
<i>Koldioxid (CO<sub>2</sub>)</i> Produceras i alla bränder	Giftig i höga koncentrationer. Stimulerar ökad inandning
<i>Cyanväte (HCN)</i> Kan bildas vid ofullständig förbränning av tex ull, nylon, polyuretan.	Leder till snabb kvävningssdöd. Vanligt med toxiska doser hos brandoffer
<i>Kvävedioxid (NO<sub>2</sub>)</i> Produceras i vid brand i textilier och cellulosaprodukter	Kraftigt irriterande för lungorna och kan orsaka omedelbar död

### 4.3.5 Rökutveckling

Rök påverkar sikten i ett rum och därmed förmågan att hitta ut. Studier (Purser, 1995) visar att vid en siktnedsättning med 5 dB/m, vilket motsvarar 2 m sikt, uppträder människor som om de vistas i ett mörkt rum. Ett dimensionerande värde på siktnedsättning vid brandteknisk dimensionering är 1 dB/m eller 10 m sikt (BBR, 1998). Rök irriterar ögon, hud och lungor, men det är framförallt siktnedsättningen som har betydelse för utrymningssäkerheten. Siktnedsättningen är beroende av det material som brinner. I Tabell 4.6 visar vilka rökproducerande egenskaper som olika bygg- och inredningsmaterial har.

Tabell 4.6 Rökproduktion för olika material (Ondrus, 1990)

Material	Rökproduktion (m <sup>2</sup> /g)
Porös träfiberskiva	0,6
Spånskiva	0,37
Hård träfiberskiva	0,35
Plywood	0,17
Papper	0,22
Hård PVS	1,7
Hårt polyuretan	4,2
Mjukt polyuretan	0,96
Gipsskiva	0,046

Trämateriäl genererar relativt lite rök i förhållande till plaster. Ondrus (1990) visar att då en kudde av mjukt polyuretan (0,5 kg) har brunnit upp i ett rum med en volym på 50 m<sup>3</sup> är den fria sikten endast 1 m. Om motsvarande mängd plywood hade brunnit i stället blir sikten 7 m.



## 5 En modell för beräkning av brandförlopp

### 5.1 Allmänt

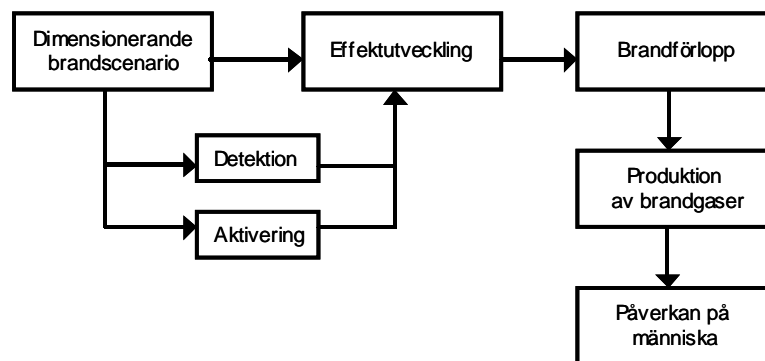
En modell har tagits fram för att kunna göra kvantitativa utvärderingar av brandförloppet i sprinklade och osprinklade byggnader. Modellen består av ett antal handberäkningsuttryck för effektutveckling, brandgastemperatur, rökfyllnad, detektoraktivering, släckeffektivitet, toxisk påverkan, etc. Följande krav ställs på modellen.

- Modellen skall vara enkel och transparent i sin uppbyggnad
- Det skall vara möjligt att hantera osäkerheter i ingående variabler
- Det skall vara möjligt att uppskatta effekten av olika tekniska byten som påverkar brandförloppet

För att leva upp till ovanstående krav utvecklas en modell som kan användas i ett kalkylprogram med tillhörande insticksprogram för riskanalys.

### 5.2 Uppbyggnad

Utdata från modellen utgörs av tid till medvetlöshet och dels tid till dödsfall. I Figur 5.1 visas de submodeller som modellen består av.



Figur 5.1 Beskrivning av modellen och sambandet mellan submodellerna

#### 5.2.1 Dimensionerande brand

Dimensionerande brand styrs av brandbelastningen i rummet. Denna påverkar tillväxtkaraktäristiska, maxeffekt, produktion av toxiska gaser. I den dimensionerande branden kan lös inredning, ytsikt, närliggande föremål inkluderas. Den dimensionerande branden beskrivs av brandens teoretiska effekt/tid-kurva.

#### 5.2.2 Effektutveckling

Den teoretiska effekt/tid-kurvan som representerar den dimensionerande branden modifieras i denna submodell. Hänsyn tas till närvaro av boendesprinkler och vilka ventilationsförhållanden som råder.

### **5.2.3 Brandförlopp**

I submodellen beräknas brandgastemperaturen, massavbrinningshastigheten och rökfyllnaden. Samtliga paramterar är en funktion av tiden.

### **5.2.4 Detektion**

Detektion är en submodell som avgör när brandvarnaren aktiveras. Denna tidpunkt är inte viktig för brandförloppsberäkningen, men av stor betydelse då utrymningsförloppet studeras. Detektionstiden styrs av detektortyp, rökproduktion, och effektutveckling.

### **5.2.5 Aktivering**

Submodellen beräknar tiden tills dess att sprinklern aktiveras. Denna tid är betydelsefull för brandförloppet. Variabler som påverkar modellen är aktiveringstemperatur, RTI-värde, bulbplacering och effektutveckling.

### **5.2.6 Produktion av brandgaser**

Produktionen av brandgaser är viktig då den direkt styr vilken effekt man kan vänta sig på människan. Styrande faktorer är materialegenskaper, massavbrinningshastigheten och ventilationsförhållanden i brandrummet. Det är kolmonoxid och värme som studeras.

### **5.2.7 Påverkan på människa**

I submodellen uppskattas hur de brandgaser som genereras påverkar människan. Viktiga parametrar är koncentration, temperatur, andningsfrekvens och exponeringstid. Submodellen uppskattar tiden till medvetlöshet och dödsfall. Den ackumulerade effekten av både toxiska gaser och värme bestämmer denna tid.

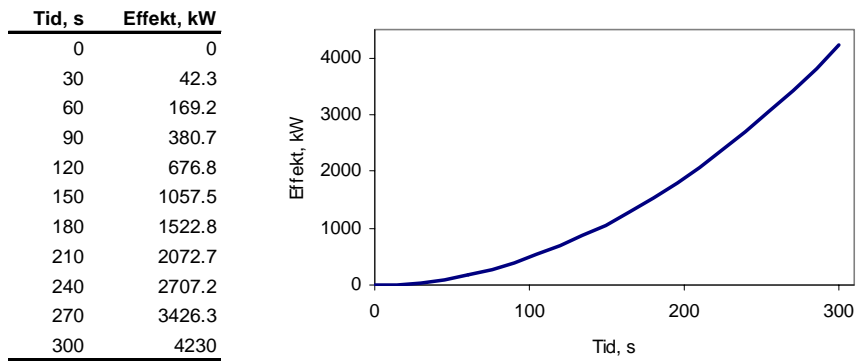
## **5.3 Indata**

Indata till de olika modellerna delas upp i olika klasser vilka berör byggnadens utformning, yttre- och inre miljö, brandkaraktäristiska och brandskyddet.

## **5.4 Teknisk beskrivning**

### **5.4.1 Dimensionerande brand**

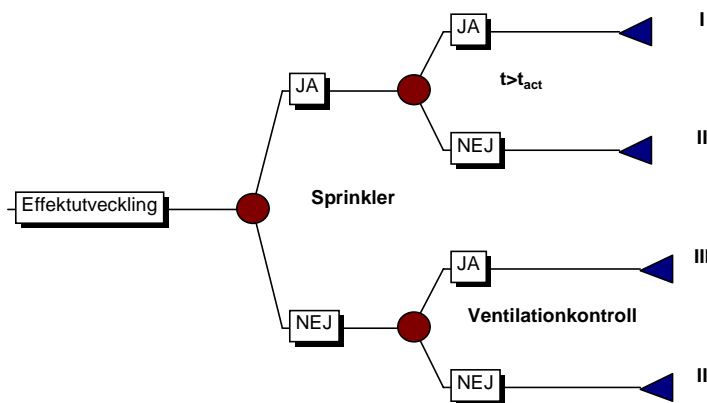
Den dimensionerande branden tas fram i enlighet med beskrivningen i kapitel 4.2.3. Brandens effekt skall finnas listad som en funktion av tiden (se Figur 5.2).



Figur 5.2 Exempel på indata för dimensionerande brand

### 5.4.2 Effektutveckling

Effektutvecklingen styrs av den dimensionerande branden och av närvaron av släcksystem. De olika scenarierna visas i Figur 5.3.



Figur 5.3 Möjliga scenarier vid analys av effektutvecklingen

För varje tidssteg i modellen beräknas effektutvecklingen enligt nedan.

#### Scenario I

Om sprinklern har aktiverats reduceras effektutvecklingen. Denna reduktion sker med hjälp av en algoritm framtagen av Evans (1993).

$$\dot{Q}(t - t_{act}) = \dot{Q}(t_{act}) \exp \left[ \frac{-(t - t_{act})}{3.0 \left( \dot{w}'' \right)^{-1.85}} \right] \quad 5.1$$

- Där
- $\dot{Q}(t)$  är effektutvecklingen vid en viss tidpunkt, kW
  - $t$  är den sökta tiden, s
  - $t_{act}$  är tidpunkten för aktivering, s
  - $\dot{w}''$  är sprinklerns vattentäthet, mm/s

### Scenario II

Om branden sprinklern ej hunnit aktiveras är branden fortfarande bränslekontrollerad. Effektutvecklingen är därför opåverkad, vilket visas nedan.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{dim}} \quad 5.2$$

Där  $\dot{Q}_{\text{dim}}$  är den dimensionerande brandens effektutveckling, kW

### Scenario III

För att avgöra om branden är ventilationskontrollerad krävs att den maximala effekten som kan utvecklas i rummet bestäms. Detta görs med ett uttryck från Karlsson m fl (2000). Uttrycket tar hänsyn till öppningsförhållanden och hur mycket syre som krävs för att generera en vid effekt.

$$\dot{Q}_{\text{max}} = 1518 A_o \sqrt{H_o} \quad 5.3$$

Där  $\dot{Q}_{\text{max}}$  är maximal effektutveckling, kW  
 $A_o$  är öppningens storlek, m<sup>2</sup>  
 $H_o$  är öppningens höjd, m

Om  $\dot{Q}_{\text{max}}$  är uppnått så är branden ventilationskontrollerad och effekten bestäms enligt nedan.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{max}} \quad 5.4$$

#### 5.4.3 Brandförlopp

I denna submodell skall massavbrinningshastigheten, brandgastemperaturen och rökfyllnaden beräknas. Detta sker enligt ekvationerna nedan.

Massavbrinningshastigheten beror på effektutvecklingen, förbränningseffektiviteteten och förbränningsvärmen.

$$m_f = \frac{\dot{Q}}{\chi \Delta H_c} \quad 5.5$$

Där  $m_f$  är massavbrinningshastigheten, kg/s  
 $\chi$  är förbränningseffektiviteten  
 $\Delta H_c$  är förbränningsvärmen, kJ/kg

Den totala mängden massa som brunnit beräknas för varje tidssteg som det tidigare värdet plus tillskottet för den aktuella tiden.

$$m_f = \sum_{i=0}^{t-1} m_{f,i} + \text{Medel}(m_{f,t-1}, m_{f,t}) \cdot \Delta t \quad 5.6$$

Där  $m_f$  är den totala mängden avbrunnen massa, kg



Brandgastemperaturen beror av rummets geometri, effektutvecklingen och omslutande konstruktioners material (McCaffrey m fl, 1981).

$$T_g = T_a + 6.85 \left( \frac{Q^2}{A_o \sqrt{H_o} h_k A_T} \right)^{1/3} \quad 5.7$$

$$h_k = \sqrt{\frac{k \rho c}{t}} \quad 5.8$$

Där  $T_g$  är den sökta brandgastemperaturen, °C  
 $T_a$  är rumstemperaturen innan brand, °C  
 $h_k$  är en värmeledningsvariabel, kW/(m<sup>2</sup>K)  
 $A_T$  är rummets totala omslutningsarea, m<sup>2</sup>  
 $k \rho c$  är ett materialspecifikt tal för olika värmeegenskaper, W<sup>2</sup>s/(m<sup>4</sup>K<sup>2</sup>)

Rökfyllnadshastigheten beräknas genom att använda effektutveckling, förbränningsvärme, förbränningseffektivitet och brandgastemperatur. Budnick m fl (1997) presenterar nedanstående ekvationer.

$$\dot{m}_s = 0.071 Q_p^{1/3} z_0^{5/3} \quad 5.9$$

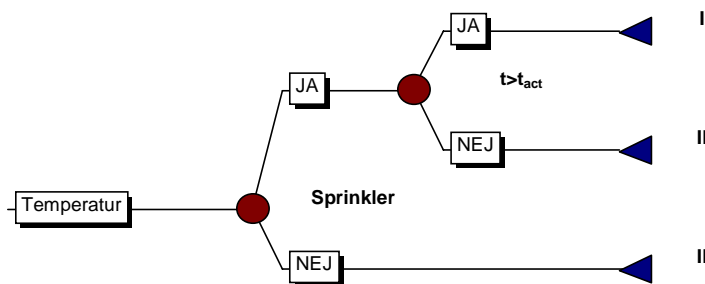
$$\rho_g = 353 / (273 + T_g) \quad 5.10$$

$$z_s = \frac{\dot{m}_s}{\rho_g A_f} \quad 5.11$$

$$z_s = \sum_{i=1}^{t-1} z_{z,i} - \text{Medel}(z_{s,t-1}, z_t) \cdot \Delta t \quad 5.12$$

Där  $\dot{m}_s$  är rökproduktionen, kg/s  
 $\rho_g$  är brandgasernas densitet, kg/m<sup>3</sup>  
 $z_s$  är rökfyllnadshastigheten, m/s  
 $A_f$  är rummets golvarea, m<sup>2</sup>

Exponeringstemperaturen är den temperatur som människan utsätts för vid brand. Den beror av sprinklernas eventuella aktivering och brandgaslagrets höjd. Beroende av olika händelser så kan scenarier i Figur 5.4 uppkomma vid beräkning exponeringstemperaturen.



Figur 5.4 Möjliga scenarier vid analys av brandgastemperaturen.

**Scenario I**

Om sprinklern har aktiverats så beräknas exponeringstemperaturen enligt nedan.

$$T_{exp} = \frac{T_{g,act} V_{act} + T_a (V - V_{act})}{V} \quad 5.13$$

Där  $T_{exp}$  är exponeringstemperaturen, °C

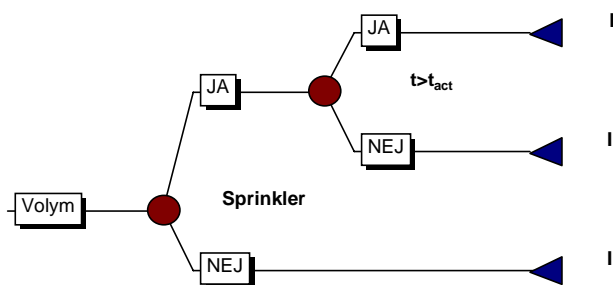
Uttrycket innebär att en ny exponeringstemperatur räknas ut genom efter det att total omrörning av brandgaserna har skett. Värmeinnehållet och volymen i respektive brandgaslager används för att ta fram den nya temperaturen.

**Scenario II**

Om sprinkler ej finns eller om den inte aktiverats är exponeringstemperaturen den samma som brandgastemperaturen.

$$T_{exp} = T_{gas} \quad 5.14$$

När en sprinkler aktiveras så kommer en omrörning att ske i rummet. För att kunna uppskatta koncentrationer och värmepåverkan är det viktigt att känna till brandgasernas volym. Olika scenarier som kan förekomma visas i Figur 5.5.



Figur 5.5 Möjliga scenarier vid analys av brandgasvolymen.

**Scenario I**

Om sprinklern har aktiverats är brandgasvolymen den samma som rummets totala volym.

$$V_g = V \quad 5.15$$

**Scenario II**

Om sprinkler ej finns eller om den inte aktiverats är volymen brandgaser beroende av brandgaslagrets höjd.

$$V_g = A_f (z_0 - z_s) \quad 5.16$$

#### 5.4.4 Detektion

Tidpunkten då en värmedetektor aktiveras är beroende av temperaturen och hastigheten på de brandgaser som sprider sig ut under taket. Hur rökdetektorer aktiveras är inte lika känt. Rökkoncentration, partikelstorlek, optiska egenskaper är några av de faktorer som påverkar när en rökdetektor aktiveras. Evans m fl (1985) visar dock att samma resonemang som för värmedetektorer kan tillämpas på rökdetektorer. Det som krävs är ett samband mellan optisk täthet i rummet och temperaturökningen i takstrålen. Om detta samband är känt så kan rökdetektorn modelleras som en värmedetektor med låg aktiveringstid och inget termisk motstånd, dvs RTI-värdet är lika med noll. Heskestad m fl (1977) visar ett samband mellan optisk täthet och temperaturökning, vilket visas i Tabell 5.1

Tabell 5.1 Samband mellan optisk täthet och temperaturökning.

Material	OD/ $\Delta T$ [ $m^{-1}C^{-1}$ ]
Trä	0.00118
Polyuretanskum	0.0236
Bomullstyg	0.000885
Polyvinylkorid	0.04425
Möbelstoppning	0.0767
Polyester	0.0177

Temperaturökningen i detektor beräknas med nedanstående ekvationer.

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{U^{1/2}}{RTI} (T_c - T_s) \quad 5.17$$

$$\Delta T_c = \frac{16.9 Q^{2/3}}{z_0^{5/3}} \quad \text{för } r/z_0 < 0.18 \quad 5.18$$

$$\Delta T_c = \frac{5.38(Q/r)^{2/3}}{z_0} \quad \text{för } r/z_0 < 0.15 \quad 5.19$$

$$U = 0.95 \left( \frac{Q}{z_0} \right)^{1/3} \quad \text{för } r/z_0 > 0.18 \quad 5.20$$

$$U = 0,195 \frac{Q^{1/3} z_0^{1/2}}{r^{5/6}} \quad \text{för } r/z_0 > 0.15 \quad 5.21$$

Där  $T_s$  är temperaturen i detektorn, °C

$U$  är hastigheten på brandgaserna längs taket, m/s

$T_c$  är temperaturen på brandgaserna längs taket, °C

$RTI$  är detektorns ”response time index”. Ett mått som karakteriserar detektorns värmeledningsegenskaper.

$z_0$  är takhöjden i brandrummet, m

$r$  är det horisontella avståndet från branden till detektorn, m

Heskestad m fl (1977) kartlägger vid vilken optisk täthet som en rökdetektor aktiveras. Genom att använda denna information i kombination med sambanden mellan optisk täthet och temperaturökning från Tabell 5.1 kan aktiveringstiden beräknas. Tabell 5.2 anger representativa optiska täthet vid aktivering.

Tabell 5.2 Optisk täthet som krävs för aktivering av rökdetektor

Material	Optisk täthet vid aktivering [ $m^{-1}$ ]	
	Joniserande detektor	Fotoelektrisk detektor
Trä	0.01524	0.4572
Polyuretanskum	0.1524	1.524
Bomullstyng	0.001524	0.24384
Polyvinylklorid	0.3048	3.048

### 5.4.5 Aktivering

Aktivering av sprinkler följer samma koncept som i kapitel 5.4.4. Indata till submodellen är sprinklernas RTI-värde och dess aktiveringstemperatur.

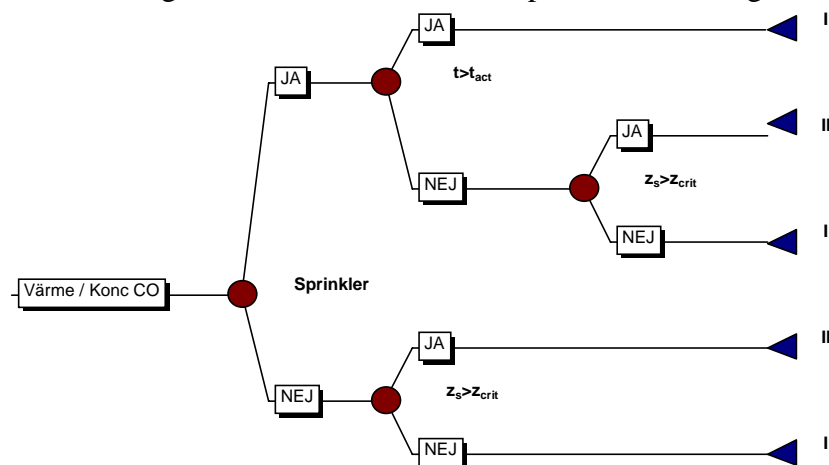
### 5.4.6 Produktion av brandgaser

Ventilationsförhållandena i rummet påverkar i stor utsträckning hur mycket kolmonoxid som bildas vid förbränningen. Om branden är bränslekontrollerad finns det gott om syre och förbränningen sker utan någon större produktion av kolmonoxid. Om branden däremot är ventilationskontrollerad ökar andelen oförbrända gaser vilket innebär ökad produktion av kolmonoxid. Från Karlsson m fl (2000) hämtas data om kolmonoxidproduktion, vilka visas i Tabell 5.3.

Tabell 5.3 Produktion av kolmonoxid som en funktion av ventilationsförhållanden.

Ventilationsförhållanden	Produktion av kolmonoxid [kg/kg]
Bränslekontrollerad	0.005
Ventilationskontrollerad	0.19

Det antas att branden är ventilationskontrollerad antingen då maxeffekten uppnås eller då brandgaslagret har nått brandkällan. Möjliga scenarier då produktion av brandgaser skall studeras visas i Figur 5.6. Observera att värmepåverkan även ingår i detta avsnitt.



Figur 5.6 Möjliga scenarier vid analys av värmepåverkan och koncentrationen av kolmonoxid.

**Scenario I**

Detta scenariot är giltigt antingen då sprinklern har aktiverats eller då brandgaslagret befinner sig under den för människan kritiska höjden. Ekvationen för koncentration CO hämtas från BSI (1997).

$$C_{CO} = 858000 \frac{Y_{CO} m_f}{V_g} \quad 5.22$$

$$C_T = T_{\text{exp}} \quad 5.23$$

Där  $C_{CO}$  är koncentrationen av kolmonoxid i inandningsluften, ppm  
 $Y_{CO}$  är produktionen av kolmonoxid (se Tabell 5.3)  
 $C_T$  är ”koncentrationen” av värmen som påverkar människan, °C

**Scenario II**

Om sprinklern inte har aktiverat och/eller om brandgaslagret befinner sig ovanför den kritiska nivån så är påverkan på människan i princip lika med noll. Definitioner på koncentration och värmepåverkan följer nedan.

$$C_{CO} = 0 \quad 5.24$$

$$C_T = T_a \quad 5.25$$

**5.4.7 Påverkan på människa**

Purser (1995) visar ekvationer som kan användas för att uppskatta påverkan på människan av brandgaser. Den påverkan som studeras här är effekten av kolmonoxid och värme. Konceptet bygger på att beräkna en så kallad ”Fractional Incapacitating Dose – FID”. FID kan anta värden mellan noll och ett. Tyvärr är funktionen enbart kontinuerligt växande. Detta innebär att FID-värdet inte minskas även om personen utsätts för en brandgasfri miljö. Ekvationerna nedan kan användas för att uppskatta vid vilken tidpunkt som personen blir medvetslöshet på grund av kolmonoxidpåverkan, dvs att FID = 1.

$$\% CO_{Hb} = 3.317 \cdot 10^{-5} C_{CO}^{1.036} (RMV)t \quad 5.26$$

$$F_{I_{CO}, L_{CO}} = \frac{\% CO_{Hb}}{D_{I_{CO}, L_{CO}}} \quad 5.27$$

Där  $\% CO_{Hb}$  är andelen kolmonoxid i blodet  
 $RMV$  är personens andningshastighet, l/min  
 $F_{j_{CO}}$  är den ackumulerade påverkan av kolmonoxid. Då värdet är lika med 1 blir personen medvetslös/omkommer.  
 $D_{j_{CO}}$  är antingen den andel av COHb i blodet som krävs för medvetslöshet eller dödsfall, %

Konceptet går även att tillämpa för att beräkna vid vilken tid som människan omkommer. Samma koncept gäller också för värmepåverkan där Purser (1995) visar följande samband. Ekvationen gäller endast då temperaturen överstiger 37 °C.

$$t_{I_h} = \exp[5.1849 - 0.0273C_T] \quad 5.28$$

$$F_{I_h} = \frac{1}{t_{I_h}} \quad 5.29$$

Där  $t_{I_h}$  är tidpunkten till medvetlöshet vid värmepåverkan, min

## 5.5 Hantering av osäkerheter

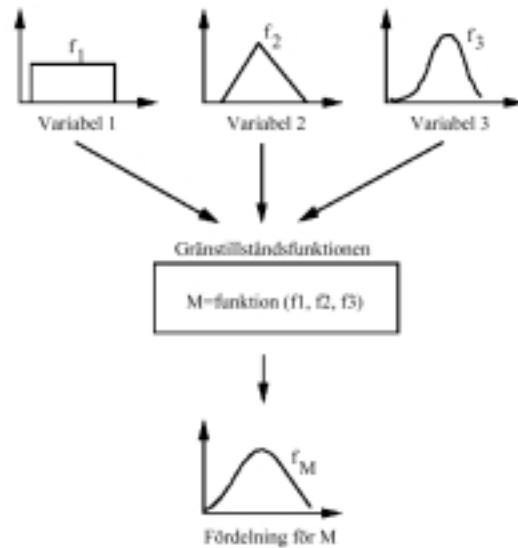
### 5.5.1 Allmänt

Modeller är behäftade med en rad osäkerheter. Energistyrelsen (1996) delar in dessa osäkerheter i följande fyra klasser:

- Resurser
- Antaganden och beslut
- Matematiska modeller
- Indata

Osäkerheten i resurserna är en mycket allmän klass. Den inkluderar faktorer som kunskapsläget, kvalitetskontroll, projektledning, företagets policy, osäkerheter i problemformuleringen, etc. Dessa faktorer är vanligtvis inte relaterade till den enskilda ingenjörens förmåga, utan de är begränsningar som oftast fastställs av utomstående. Osäkerheterna i antaganden och beslut är en klass som härrör till själva problemlösandet. Här inkluderas målformulering, begränsningar, ingenjörens beskrivande förmåga, val av analysmetod samt identifiering och beskrivning av hot och risker. Osäkerheterna i de matematiska modellerna är en klass som relaterar till hur väl en modell beskriver verkligheten. I denna klass ingår de osäkerheter som programmen för brandförlopps- och utrymningssimulering är behäftade med. Den fjärde och mest specifika klassen av osäkerheter är den som behandlar indata. Indata är ofta mått på verkliga förhållanden och osäkerheten kan kvantifieras med hjälp av statistiska modeller.

Osäkerheter är något som måste beaktas vid brandteknisk dimensionering. Framförallt beräkningsverktygen förknippade med en rad osäkerheter. Ett sätt att hantera osäkerheterna är att beskriva variabler med fördelningar i stället för enstaka värden. Genom upprepade numeriska beräkningar av gränstillståndsfunktionen där hänsyn tas till slumpmässigheten i variablerna sk Monte Carlo-simulering kan osäkerheten i resultatet uppskattas. För varje ny beräkning tas värden från variablernas fördelningar och resultatet beräknas. Upprepas detta ett stort antal gånger kan fördelningen som beskriver resultatet i gränstillståndsfunktionen ritas upp. Sambandet mellan in- och utdata redovisas i Figur 5.7.



Figur 5.7 Numerisk simulering av osäkerhet i resultat baserat på osäkerheter i indata (Boverket, 1997).

I ingenjörmodellen kommer hantera modellosäkerhet och osäkerhet i indata. De beräkningsuttryck som ingår i modellen (se kapitel 5.4) är modeller som är framtagna för att i bästa möjliga mån återspegla verkliga förhållanden. I BSI (1997) redovisas beräkningsuttrycken samtidigt som deras osäkerhet illustreras med hjälp av ett 80% konfidensintervall. Modellosäkerheten kommer att inkluderas i modellen genom att den tilldelas en statistisk fördelning representativ för dess konfidensintervall. Osäkerheter i indata hanteras genom att variablerna tilldelas statistiska fördelningar i stället för enstaka punktvärden.

### 5.5.2 Modellosäkerhet

I BSI (1997) redovisas en översyn av ett antal ekvationer som kan användas vid brandtekniska beräkningar. Översyn omfattar ekvationernas användningsområde, deras begränsningar och konfidensnivån. Genom att låta experter inom brandområdet uppskatta hur en ekvation förhåller sig till verkligheten har ett konfidensintervall för ekvationen fastställts. Konfidensintervallet definieras enligt nedan.

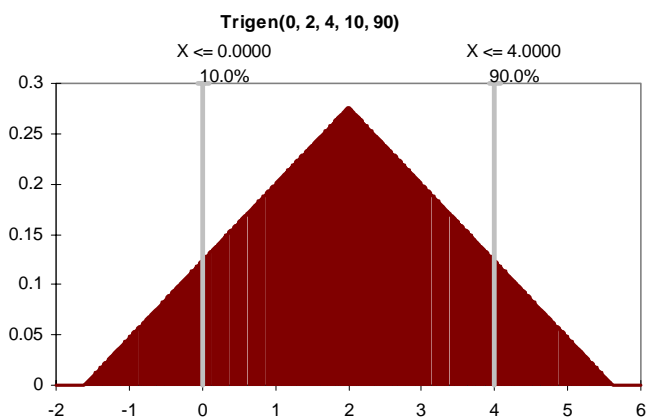
$$\beta = \frac{\text{uppskattat värde}}{\text{uppmätt värde}} \quad 5.30$$

Genom att dividera ekvationen med dess  $\beta$ -värde fås ett värde som mer överensstämmer med verkliga förhållanden. Om  $\beta < 0$  så innebär det att den ursprungliga ekvationen ger en för låg uppskattning och om  $\beta > 0$  så är uppskattningen högre än det uppmätta. Värden på  $\beta$  fås från BSI (1997) för många av de ekvationer som ingår i ingenjörmodellen. Eftersom  $\beta$  skattas utifrån en undersökning så är det möjligt att uttrycka  $\beta$  med ett konfidensintervall enligt nedan.

$$\beta_{10\%} < \beta < \beta_{90\%} \quad 5.31$$

I BSI (1997) anges ett 80% konfidensintervall för  $\beta$  samt vilken fördelning som  $\beta$  kan förväntas anta. I de flesta fall anser experterna i BSI (1997) att  $\beta$  skall representeras av

en likformig eller triangulär fördelning. Figur 5.8 visar ett exempel på en triangulär fördelning för  $\beta$ .



Figur 5.8 Figuren visar hur informationen om ett 80% konfidensintervall kan hanteras.  $\beta_{10\%} = 0$  och  $\beta_{90\%} = 4$ . Fördelningens mittpunkt anses vara precis mellan dessa två ytterpunkter.

I Tabell 5.4 anges modellosäkerheten för de ekvationer som ingår i ingenjörsmodellen.

Tabell 5.4 Beskrivning av modellosäkerheten i ingenjörsmodellen.

Ekvation	$\beta_{10\%}$	$\beta_{90\%}$	Fördelning	Kommentar
5.1	0.7	1.1	Triangel	Antaget värde
5.3	0.33	2.1	Likformig	BSI (1997)
5.7	0.85	1.25	Likformig	BSI (1997)
5.9	0.7	1.5	Likformig	BSI (1997)
5.17	0.5	2	Triangel	BSI (1997)
5.26	0.9	1.3	Triangel	Uppskattat värde
5.28	0.7	1.1	Triangel	Uppskattat värde

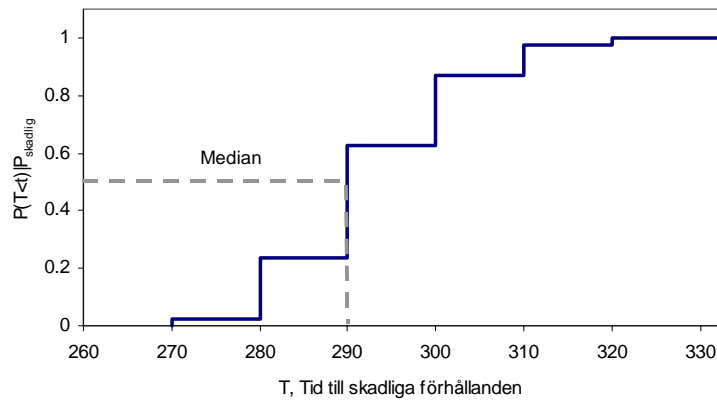
Samtliga ekvationer kommer att kompletteras med sitt  $\beta$ -värde enligt exemplet nedan.

$$m_s = \frac{1}{\beta} 0.071 Q_p^{1/3} z_0^{5/3} \quad 5.9$$

## 5.6 Utdata

Huvudsakliga utdata från modellen är tid till medvetlöshet och tid till dödsfall. Eftersom indata utgörs av statistiska fördelningar i kombination med punktskattningar så kommer även utdata att utgöras av statistiska fördelningar. Ett sätt att redovisa en statistiska fördelning är att visa dess fördelningsfunktion. Fördelningsfunktionen är kontinuerligt tillväxande från noll (0) till ett (1). Vid simuleringen finns en minimal och en maximal tid till skada. Dessa både värden utgör fördelningsfunktionens start- och slutpunkt. Sannolikheten att tid till skada är mindre än den minimala tiden är lika med noll och sannolikheten att tiden är mindre eller lika med den maximala tiden är lika med ett. I Figur 5.9 visas ett exempel på utdata.





Figur 5.9 Exempel på utdata. Tiden till skadliga förhållanden visas med sin fördelningsfunktion.

Fördelningsfunktionen i Figur 5.9 gäller givet att det uppstår skadliga förhållanden,  $P(T < t) | P_{\text{skadlig}}$ . Ur modellen fås även värdet på sannolikheten att skadliga förhållanden skall uppstå. Beroende av brandskyddsalternativ och brandbelastning  $P_{\text{skadlig}}$  värden mellan noll och ett.

Resultatet kommer inte att användas separat utan skall inkluderas i en modell som för varje iterationer beräknar skillnaden mellan tiden till skadliga förhållanden och tid för utrymning. Syftet är att bestämma sannolikheten att utrymnings misslyckas. När sedan denna information kombineras med sannolikheter och uppkomst och tillväxt av brand samt att branden skall bli skadlig fås en fullständig riskbild.



## 6 Tillämpningsexempel

Tillämpningsexemplet syftar till att belysa hur ingenjörsmodellen från kapitel 5 skall användas vid brandteknisk dimensionering av ett hyreshus. Två fall studeras. I det första fallet så saknar lägenheten boendesprinkler och i det andra fallet är en lägenheten försedd med boendesprinkler. Inga andra förändringar har gjort för att tydligt kunna belysa effekten av sprinklern.

### 6.1 Förutsättningar, antaganden och indata

I tillämpningsexemplet används både punktskattningar och fördelningar för att beskriva de variabler som ingår. Variablerna är realistiskt valda, men bör ej användas vid andra analyser utan att deras lämplighet undersöks.

#### 6.1.1 Byggnaden och omgivningen

Byggnaden som studeras består av tre plan med tre lägenheter per plan. Endast en av lägenheterna i huset antas beröras av branden. Lägenheten som studeras har tre rum, varav två är sovrum. Arean är  $94 \text{ m}^2$ . En planskiss visas i Figur 6.1.



Figur 6.1 Planskiss över lägenheten.

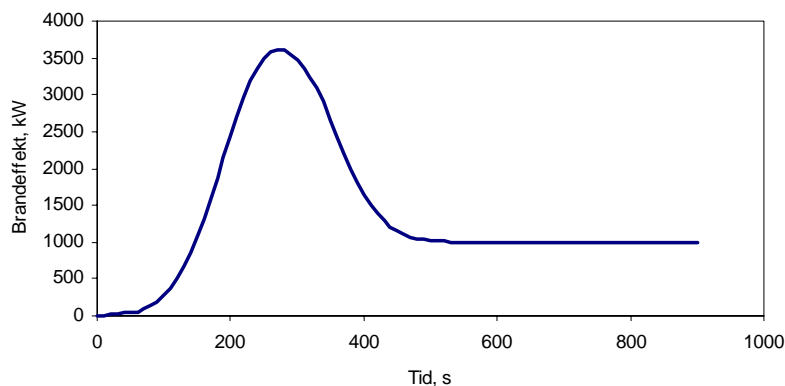
Branden antas uppkomma i vardagsrummet och dörrarna till övriga rum antas vara stängda. Indata finns sammanfattad i Tabell 6.1.

Tabell 6.1 Indata för byggnaden och omgivningen

Variabel	Väntevärde	Varianskoefficient	Fördelning
Rumstemperatur	22 °C	10%	Normal
Värmekapacitet	1 kJ/(kg K)	-	-
Öppningshöjd	2 m	-	-
Öppningsarea	0.9 m <sup>2</sup>	30%	Normal
Bredd	4.0 m	-	-
Längd	8.0 m	-	-
Höjd	2.4 m	-	-
$M_{\text{luft}}$	28.8 kg/kmol	-	-
$M_{\text{CO}_2}$	44 kg/kmol	-	-
$M_{\text{CO}}$	28 kg/kmol	-	-
Kritisk höjd, toxicitet	1.7 m	-	-
Kritisk höjd, värme	1.2 m	-	-

### 6.1.2 Brandförloppet

Brandförloppet följer CBUF:s rekommendation för ”domestic fires” (Höglander m fl, 1997). Initialbranden sprider sig efter en stund till några möbler i närheten. Effektutvecklingen visas i Figur 6.2.



Figur 6.2 Dimensionerande brand enligt ”domestic fires” (Höglander m fl, 1997).

I kapitel 5.4 redovisas var de olika variablerna går att finna i litteraturen. Tabell 6.2 sammanställer indata för brandförlopsberäkningarna.

Tabell 6.2 Indata för beräkning av brandförloppet.

Variabel	Väntevärde	Varianskoefficient	Fördelning
Material	Trä	-	-
Förbränningsvärme	17.5 MJ/kg	4%	Normal
Initialbrand	Domestic	20%	Lognormal
Förbränningseffektivitet	0.8	10 %	Lognormal
Tid till 50 kW	180 s	10%	Normal
CO <sub>2</sub> -produktion	1.33 kg/kg	20%	Lognormal
CO-produktion, vent	0.19 kg/kg	20%	Lognormal
CO-produktion, bränsle	0.005 kg/kg	20%	Lognormal

### 6.1.3 Brandskydd

Brandskyddet består av brandvarnare och eventuellt en automatisk vattensprinkleranläggning. I Tabell 6.3 redovisas de indata som berör brandskyddet. I kapitel 5.4 redovisas var de olika variablerna går att finna i litteraturen.

Tabell 6.3 Indata för brandskyddet.

Variabel	Väntevärde	Varianskoefficient	Fördelning
Optisk täthet vid aktivering	0.01524	10%	Lognormal
RTI, brandvarnare	$\approx 0 \text{ (m s)}^{0.5}$	-	-
Höjd till detektor	2.37 m	-	-
Avstånd mellan detektorer	3 m	20%	Triangel
Aktiveringstemepartur	68 °C	10%	Normal
RTI-värde	$45 \text{ (m s)}^{0.5}$	5 %	Normal
Spraydensitet	0.07 mm/s	10%	Lognormal
Tillförlitlighet, sprinkler	0.95	3%	Triangel

### 6.1.4 Människan

Utdata från ingenjörsmoellen är tid till medvetlöshet och tid till dödsfall. Dessa två parametrar inte enbart fysikaliska utan även biologiska. Med detta menas att upptaget av toxiska produkter och effekten av värmepåverkan är relaterade till en rad

humanbiologiska förlopp. I Tabell 6.4 listas de variabler som är betydelsefulla när påverkan på människan studeras.

Tabell 6.4 Indata för påverkan på människan.

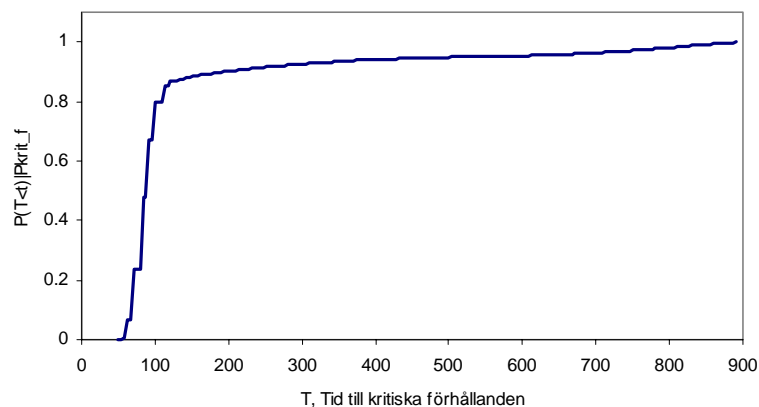
Variabel	Väntevärde	Varianskoefficient	Fördelning
Andningsvolym, normal	25	20%	Normal
Andningsvolym, medvetlös	6	20%	Normal
COHb, medvetlös	40	10%	Normal
COHb, död	60	10%	Normal

## 6.2 Analys

Ingenjörsmodellen simuleras i @RISK (Palisade, 2000) 10000 gånger för att säkerställa att resultatet konvergerar. Konvergens på 1%-nivån sker vanligen efter 3000-5000 iterationer. Simuleringen utförs med så kallad Latin Hypercube sampling. Fördelen med Latin Hypercube framför Monte Carlo sampling är enligt Vose (2000) att fördelningarna för indata återspeglas på ett mer korrekt sätt. Fördelningsfunktionerna i kapitel 6.2.1 och 6.2.2 tolkas lättast genom att först studera kapitel 5.6.

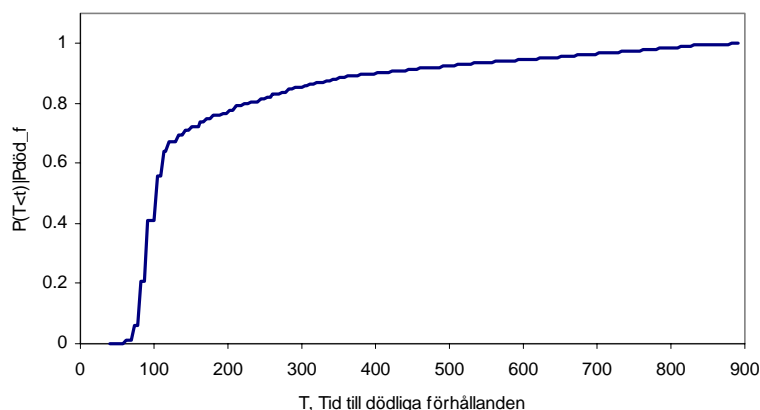
### 6.2.1 Lägenhet utan boendesprinkler

Sannolikheten att kritiska förhållanden uppkommer givet tillväxande brand är 91%. Nio av tio bränder har potential att orsaka en skada. Tiden till denna skada uttrycks som en fördelning och visas i Figur 6.3.



Figur 6.3 Fördelningsfunktion för tid till kritiska förhållanden för lägenhet utan boendesprinkler.

Ur Figur 6.3 framgår att medianen ( $P(T < t) = 0.50$ ) är 90 s. Vidare framgår att i de flesta fall (85%) inträffar kritiska förhållanden innan 130 s. I Figur 6.4 visas vid vilken tidpunkt dödliga förhållanden inträffar.

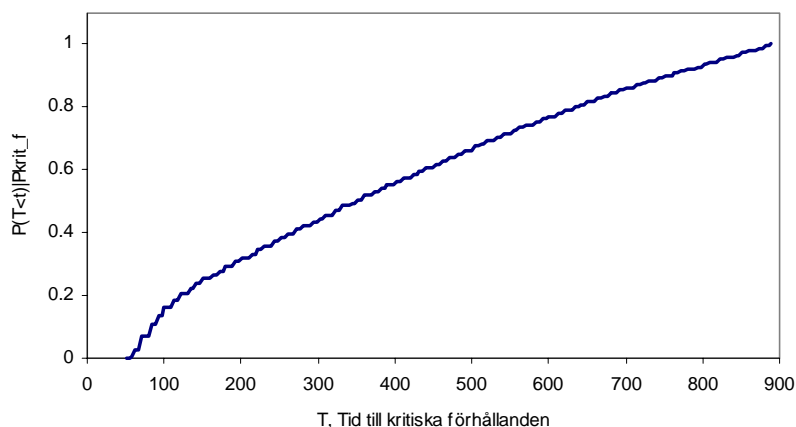


Figur 6.4 Fördelningsfunktion för tid till dödliga förhållanden för lägenhet utan boendesprinkler.

Sannolikheten att dödliga förhållanden uppkommer givet tillväxande brand är 78%. Spridningen i tid till skada är större för dödliga förhållanden än för kritiska förhållanden. Medianen är ungefär den samma. Det skiljer c:a 20 s. Man kan med 65% säkerhet säga att dödliga förhållanden inträffar tidigare än 130 s.

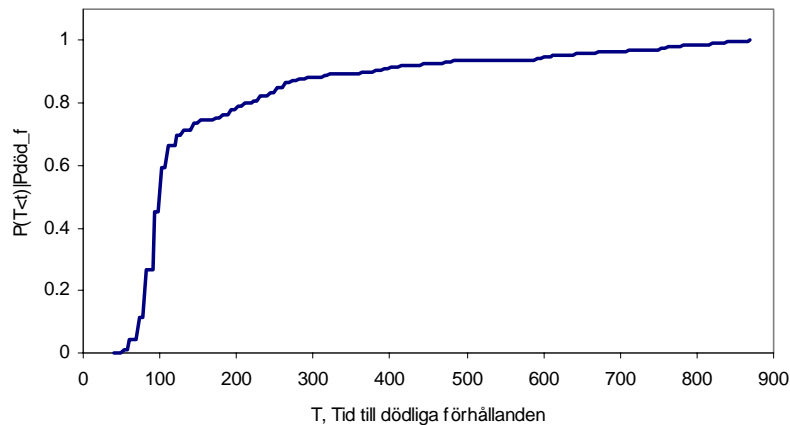
### 6.2.2 Lägenhet med boendesprinkler

Om lägenheten är försedd med boendesprinkler kommer denna att påverka brandens utveckling och därmed också sannolikheten för och tiden när skadliga förhållanden uppkommer. Sannolikheten att kritiska förhållanden uppkommer givet tillväxande brand är 77%. Tiden fördelar sig enligt Figur 6.5.



Figur 6.5 Fördelningsfunktion för tid till kritiska förhållanden för lägenhet med boendesprinkler.

Medianen för kritiska förhållanden givet att sprinkler finns är c:a 350 s. Funktionen är i princip linjär växande. När dödliga förhållanden inträffar sker detta enligt fördelningen i Figur 6.6. Sannolikheten att dödliga förhållanden uppkommer givet tillväxande brand är 5%. Teoretiskt innebär det att dödliga förhållanden inte kan uppkomma om sprinklern fungerar. Tillförlitlighetsdata har därför en mycket stor betydelse för systemets effektivitet.



Figur 6.6 Fördelningsfunktion för tid till dödliga förhållanden för lägenhet med boendesprinkler.

### 6.3 Slutsatser

Det är stor skillnad mellan sprinklade och osprinklade lägenheter. I Tabell 6.5 sammanfattas resultatet från kapitel 6.2.

Tabell 6.5 Jämförelse mellan lägenhet med och utan sprinkler

Brandskydd	Sannolikhet för kritiska förhållande	Tid till kritiska förhållanden (median)	Sannolikhet för dödliga förhållande	Tid till dödliga förhållanden (median)
Utan sprinkler	91%	90 s	78%	110 s
Med sprinkler	77%	350 s	5%	110 s

Skillnaden mellan de två lägenheterna är stor. Att kritiska förhållanden kan uppkomma även i en sprinklad lägenhet är ett faktum. Åtta av tio bränder i jämförelse med nio av tio för lägenhet utan sprinkler leder till kritiska förhållanden. Dock är det en stor skillnad vid vilken tidpunkt detta inträffar. Skillnaden är mer än fyra minuter. Analysen visar även att dödliga förhållanden enbart uppkommer i en sprinklad lägenhet då sprinkler inte fungerar. Sammanfattningsvis kan sägas att potentialen att skadas och omkomma i en sprinklad lägenhet är mycket lägre än i en lägenhet utan sprinkler.

Analysen visar att det är värmen som orsakar medvetlöshet i 88% av fallen för osprinklad byggnad och 69% av fallen i en sprinklad byggnad. Efter det att medvetlöshet inträffat är det de giftiga gaserna som leder till dödsfall. För att underlätta en tolkning av Tabell 6.5 ges en kortfattat beskrivning av riskanalysmodellen där den framtagna beräkningsmodellen ingår. Nedanstående uttryck används för att beräkna risken för skada vid brand i lägenhet.

$$Risk = p_{brand} \cdot P_{tillväxt} \cdot P_{skadlig} \cdot P_{(t_{utrymning} > t_{skadlig})}$$

Där  $p_{brand}$  är sannolikheten att brand uppkommer  
 $P_{tillväxt}$  är sannolikheten att branden tillväxer  
 $P_{skadlig}$  är sannolikheten att skadliga förhållanden uppkommer  
 $P_{(t_{utrymning} > t_{skadlig})}$  är sannolikheten att utrymningstiden är längre än tid till skadliga förhållanden

När man studerar Tabell 6.5 framgår det att de inte är någon skillnad på tiden till dödliga förhållanden i en sprinklad och osprinklad lägenhet. Förklaringen ligger i att dödliga förhållanden inte uppkommer om sprinklern fungerar. Tiden till dödliga förhållanden för den sprinklade lägenheten baseras därmed enbart på de fall då sprinklern inte fungerar. Det råder därmed samma förhållanden som i den osprinklade lägenheten. Skillnaden mellan osprinklat och sprinklat ligger i stället i sannolikheten att dödliga förhållanden uppkommer. I Tabell 6.5 visas hur stor denna skillnad är. Om man däremot studerar risken för medvetlöshet så medför sprinklern en positivt påverkan både på sannolikheten att hinna utrymma och på sannolikheten att skadliga förhållanden uppkommer.



## 7 Diskussion

### 7.1 Dödsbränder

Bostadsbrandens förlopp är snabbt och intensivt. Det skapar problem för möjligheten att skapa brandsäkra bostäder. En förutsättning för att skada inte skall uppkomma är att de som vistas i bostad kan ta sig ut själv och att en fungerande brandvarnare finns på plats. För de som inte kan utrymma själv krävs andra skyddssystem. Här har boendesprinkler visat sig vara ett effektivt skyddssystem. Dock finns det fall som inte ens sprinklern skyddar mot. Det råder en tveksamt vilken effekt sprinklern har om branden tex uppkommer i en persons kläder. Sprinklern ger även ett högre personskydd för dem som befinner sig utanför den lägenhet där branden uppkommer. Sannolikheten för brandspridning borde minska och risken att drabbas av en annan persons försumlighet blir därmed mindre.

### 7.2 Boendesprinkler

Effekten av boendesprinkler framgår tydligt i tillämpningsexemplet. Tiden till kritiska förhållanden förlängs och sannolikheten att dödliga förhållanden skall inträffa reduceras kraftigt. Ofta används boendesprinkler som motiv till att göra avsteg från andra rekommendationer hur brandskyddet skall lösas. Det är vid dessa avsteg viktigt att komma ihåg om avsteget berör personsäkerhet eller egendomsskydd. Boendesprinklersystemen utformade enligt NFPA 13R har till uppgift att säkerställa trygg utrymning. De skall inte fungera som ett egendomsskydd. Dock får man vanligtvis stora positiva bieffekter på egendomsskyddet om sprinkler finns installerat. Fortsatt arbete krävs för att undersöka hur olika avsteg kan kombineras med varandra och vilka som anses vara acceptabla utifrån gällande bygglagstiftning.

Eftersom sprinkler får störst effekt bland dem som inte kan utrymma på egen hand så kan det vara av intresse att undersöka vilka avsteg som kan göras i dessa sammanhang. Det finns en motsägelse med att på ena sidan öka säkerheten bland de utsatta grupperna och på andra sidan försämra den genom avsteg. Det borde vara betydligt lättare att motivera avsteg i bostäder som inte har särskilt utsatta grupper där goda möjligheter att utrymma på egen hand finns.

### 7.3 Beräkningsmodellen

Ett försök har gjort att skapa en beräkningsmodell som på ett kvantitativt sätt kan utvärdera effekten av boendesprinkler i en lägenhet. Det återstår en del arbete för att modellen skall vara fulländad. Detta arbete bör fokuseras till nedanstående punkter.

- Effekt av andra gaser än kolmonoxid
- Införa en tidskonstant för beräkning av plymflöde och temperatur
- Jämföra modellen med andra beräkningsmodeller
- Genomföra en känslighetsanalys av ingående variabler och osäkerheter

Modellen hanterar enbart effekten av värme och kolmonoxid när tid till skadliga förhållanden skall beräknas. Purser (1995) visar att även andra gaser kan ha betydande effekter. Framförallt så gör koldioxidbildningen att personens andningsfrekvens ökar. Denna effekt bör studeras närmare.

De irriterande gaser bildas samt saknar toxisk påverkan kan också påverka möjligheterna till trygg utrymning och bör även de studeras.

Det finns en viss tid från dess att branden börjat tillväxa tills dess att den når taket och en tvåzonsskiktning börjar bildas. Denna tid är väsentlig för beräkning av bland annat detektions- och aktiveringstider. Heskestad (2001) beskriver hur man med införandet av en tidskonstant kan ta hänsyn till detta. Det är viktigt för modellens validitet att den jämförs med andra beräkningsmodeller. Det är därför önskvärt att se en validering mot dels fullskaleförsök och dels datoriserade modeller som FAST (Peacock m fl, 1997) och SOFIE (Rubini, 2000).

I modellen tas explicit hänsyn till variation i indata och osäkerheten i ekvationerna. Det är av intresse att studera vilka parametrar som var störst respektive minst betydelse för resultatet. På så vis kan riktlinjer tas fram om vilken indata som kräver störst noggrannhet presenteras.

## 8 Referenser

Anderson, R.A., Watson, A.A., Harland, W.A., *Strathclyde pathology study*, Med. Sci. Law, 21, 175, 1981

Andersson, S., *The Potential of Making Residential Sprinkler Systems Mandatory in New Residents*, Center for Fire Safety Studies, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, 1998.

Arvidson, M., *Bostadssprinkler – erfarenheter från USA*, Rapport P21-252-98, Räddningsverket, Karlstad, 1998

Arvidson, M., *En sammanställning av väldokumenterade brandförsök med bostadssprinkler*, SP Report 2001:03, Sveriges Provnings och Forskningsinstitut, Borås, 2001.

BBR, *Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar tom 1998:38*. Boverket, Karlskrona, 1998.

Bengtsson, L-G., *Övertändning, backdraft och brandgasexplosion sett ur räddningstjänstens perspektiv*, Rapport 1019, Avdelningen för brandteknik, Lunds universitet, Lund, 1999.

Blom, G., *Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar*, Studentlitteratur, Lund, 1989.

Boverket, *Utvärdering av ändringar i byggregleringen: Brand*, Rapport 1997:9, Boverket, Karlskrona, 1997.

BSI Draft for Development DD240: *Fire safety engineering in buildings. Part 1: Guide to the application of fire engineering principles*. British Standards Institution, London, 1997.

BSI Draft for Development DD240: *Fire safety engineering in buildings. Part 2: Commentary on the equations given in Part 1*, British Standards Institution, London, 1997.

Budnick, E.K., *Estimating Effectiveness of State-of-the Art Detectors and Automatic Sprinklers on Life Safety in Residential Occupancies*, NBSIR 84-2819, US Department of Commerce / National Bureau of Standards, Gaithersburg, 1984.

Budnick, E.K., Nelson, H.E., *Simplified Fire Growth Calculations*, Fire Protection Handbook, 18<sup>th</sup> Edition, National Fire Protection Association, Quincy, 1997.

Bukowski, R., *Field Investigation of Residential Smoke Detectors*, NBSIR 76-1126, Center for Fire Research, National Bureau of Standards, Washington, 1976.

Chandler, S.E., *Multiple Fire Deaths*, Ministry of Technology and Fire Offices Committee, Joint Fire Research Organization, London, 1969.

DBI, *Udredning – boligsprinklere specielt ved anvendelse i træhusbyggeri*, Z-66160, Dansk Brandteknisk Institut, Hvidovre, 1998.

Energistyrelsen, *Usikkerhedsbeskrivelse i kvantitative risikoanalyser – Vejledning*, EFP 93 och EFP-96, Journalnummer 1313/93-0016, 1996

Evans, D.D., Stroup, D.W., *Methods to Calculate the Response Time of Heat and Smoke Detectors Installed Below Large Unobstructed Ceilings*, NBSIR 85-3167, National Bureau of Standards, Gaithersburg, 1985.

Evans, D.D., *Sprinkler Fire Suppression Algorithm for HAZARD*, NISTIR 5254, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 1993.

Factory Mutual Research Corporation, *Approval Standard for Residential Automatic Sprinklers*, Factory Mutual Research Corporation, September 1983.

Finucane, M., Pinkney, D., *Reliability of Fire Protection and Detection Systems*, Proceeding from the 2<sup>nd</sup> International Conference of Fire Safety Engineering, BHRA, The Fluid Engineering Centre, Cranfield, 1989.

Ford, J., *Automatic Sprinklers – A 10 Year Study*, Rural/Metro Fire Department, Scottsdale, Arizona, 1997.

Gann, R.G., Babrauskas, V., Braun, E., Levin, B.C., Paabo, M., Harris, R.H., Peacock, R.D., Yusa, S., *Toxicity Data for Fire Hazard Analysis*, 12<sup>th</sup> meeting of the UNJR panel on Fire Research and Safety, October 27-November 2, 1992, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA, 1994.

Gomberg A., Buchbinder, B., Offensend, F.J., *Evaluating Alternative Strategies for Reducing Residential Fire Loss*, NBSIR 82-2551, US Dept of Commerce, Washington, 1982.

Heskestad, G., Delichatsios, M.A., *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, Factory Mutual Research Corp., Norwood, 1977.

Heskestad, G., *Rise of Plume Front from Starting Fires*, Journal of Fire Safety Engineering, Vol 36, No 2, ELSEVIER, 2001.

Hygge, S., *Brandvarnare i lägenheter och småhus – dödsfall och personskador*, Forskningsrapport TN:22, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle, 1991

Höglander K., Sundström B., *Design Fires for Preflashover Fires*, SP Report 1997:36, Swedish National Testing and Research Institute, Borås, 1997.

Karlsson, B., Quintiere, J.G., *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press, 2000.

Keski-Rahkonen, O., Raihkanen J., *Fire Deaths in Finland 1988-97*, Proceedings from the 2nd International Symposium on Human Behaviour in Fire, Interscience Communications, London, 2001.

Kung, H.-C., *Residential Sprinkler – Protection Study*, FMRC Serial No 22442, Factory Mutual Research Corporation, Boston, 1975.

Mattsson, B., *Riskhantering vid skydd mot olyckor*, R16-219/00, Räddningsverket, Karlstad, 2000.

Madrzykowski, D., Vettori, R., *A Sprinkler Fire Suppression Algorithm*, Journal of Fire Protection Engineering, Vol 4, No 4, Society of Fire Protection Engineers, 1992.

McCaffrey, B.J., Quintiere, J.G., Harkleroad, M.F., *Estimating Room Fire Temperature and the Likelihood of Flashover Using Fire Test Data Correlations*, Fire Technology, Vol 17, No 2, 1981.

McCarthy, R.S., *Catastrophic Multiple-Death Fires*, NFPA Journal, September/October 2000, National Fire Protection Association, Quincy, 2000.

Mostue, B.A., *A Method for Estimating the Personnel Safety Regarding Fire in Buildings*, Proceedings from the SFPE symposium on risk, uncertainty and reliability in fire safety engineering, Society of Fire Protection Engineers, 1999.

NFPA 13R, *Standard for the Installation of Sprinkler Systems in Residential Occupancies up to and Including Four Stories in Height*, National Fire Protection Association, Quincy, 1999.

NKB, *Ny sprinklerteknologi*, NKB Utskotts- och arbetsrapporter 1996:08, Nordiska kommittén för byggbestämmelser, Helsingfors, 1996.

NKB, *Utkast till Teknisk vejledning for beregningsmæssig eftervisning af funktionsbestemte brandkrav*, NKB Utskotts- och arbejtsrapport 1996:xx, Nordiska Kommittén for byggbestämmelser, 1997.

Ondrus, J., *Brandförlopp*, Institutionen för brandteknik, Lunds universitet, 1990.

Olsson, F., *Tolerable Fire Risk Criteria for Hospitals*, Report 3101, Dept of Fire Safety Engineering, Lund university, Lund, 1999.

Palisade, @RISK – risk analysis software for spreadsheets, Palisade Corp., 2000.

Peacock R.D., Reneke P.A., Jones W.W., Bukowski R.W., Forney G.G. *A User's Guide for FAST*, Special Publication 921, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 1997.

Purser, D., *Toxicity Assessment of Combustion Products*, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2<sup>nd</sup> edition, National Fire Protection Association, Quincy, 1995.

SBF, *Dödsbränder 1983-1994*, Svenska Brandförsvarsförningen Stockholm, 1995.

SBF, *Rekommendation - Sprinklersystem i bostadshus med högst fyra våningar*, Svenska Brandförsvärsföreningen, Stockholm, 1997.

SBF 120, *Regler för automatisk vattensprinkleranläggning*, Svenska Brandförsvärsföreningen, 2001.

SCB, *Dödsfall vid bränder m m i Skandinavien, England och Wales*, 1979:5, Statistiska centralbyrån, Stockholm, 1979.

Schönberg, S., *Fullskaleförsök av brand i ett rum med boendesprinkler*, Rapport 5061, Avdelningen för brandteknik, Lunds universitet, Lund, 2000.

Sekizawa, A., *Statistical Analyses on Fatalities Characteristics of Residential Fires*, Fire Research Institute, Fire Defence Agency, Ministry of Home Affairs, Japan, 1988.

Sekizawa, A., Takemoto, A., Kozeki, D., Yanai, E., Suzuki, K., *Experimental Study on Fire Hazard Before and After Sprinkler Activation*, 13<sup>th</sup> meeting of the UNJR panel on Fire Research and Safety, March 13-20, 1996, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA, 1997.

SOU, *Brand inomhus*, SOU 1978:3, Statens offentliga utredningar, Bostadsdepartementet, Stockholm, 1978.

RFSI, <http://www.firesafehome.org/>, 2000-12-03.

Rubini, P, *Manual to SOFIE – Simulations of Fires in Enclosures*, School of Mechanical Engineering, Cranfield University, Cranfield, 2000.

Ruegg, R., T., Sieglinde, K., F., *A Benefit-Cost Model of Residential Fire Sprinkler Systems*, NBS Technical Note 1203, US Department of Commerce / National Bureau of Standards, Gaithersburg, 1984.

Räddningsverket, *Dödsbränder 1999*, I99-077/00, Räddningsverket, Karlstad, 2000.

Underwriters Laboratories, Inc , UL 1626, *Standard for Residential Sprinklers for Fire-Protection Service*, First Edition April 26, 1988 with revision made July 3, 1990

Vose, D., *Risk Analysis – A Quantitative Guide*, 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2000.

Westman, E., *Dödsfall vid bränder m m i Skandinavien, England och Wales*, SCB 1979:5, Statistiska Centralbyrån, Stockholm, 1979