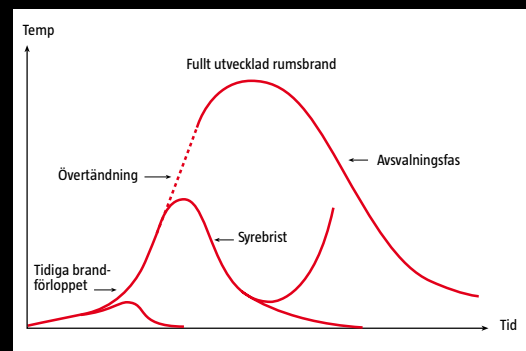




Myndigheten för  
samhällsskydd  
och beredskap



Ungefärliga omvandlingsvärden  
för överslagsberäkning:

- 1 MPa = 10 bar
- 1 kPa = 100 mm vp (vattenpelare)
- 1 Pa = 0,1 mm vp
- 1 bar = 0,1 MPa = 100 kPa
- 1 mm vp = 10 Pa

Kunskap om brandförlopp, brandgasers spridning, tryckförhållanden och risk bedömning kan vara avgörande för resultatet av en släckinsats. Grundläggande kunskaper om de faktorer som styr brandförloppet är nödvändiga för räddningstjänstens personal. Det är också viktigt att känna till och uppmärksamma de varningssignaler som kan observeras under en insats.

*Inomhusbrand* förenar erfarenheter från kommunal räddningstjänst och forskning i form av försök och teoretiska studier i ämnet. Med boken vill MSB bidra till att skapa en fördjupad förståelse för brandförlopp vid inomhusbränder. Brandbekämpningsåtgärder, t.ex. påföring av släckmedel, brandventilation etc. diskuteras övergripande i några avsnitt, men bokens tyngdpunkt ligger på förståelsen av de processer som styr inomhusbränder.

Boken är i första hand avsedd för MSB:s utbildningsverksamhet, men vänder sig också till yrkesverksam räddningstjänstpersonal och övriga intresserade.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)  
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 www.msb.se  
Publ. nr MSB595 - december 2013 ISBN 978-91-7383-371-4

Inomhusbrand

Lars-Göran Bengtsson

# Inomhusbrand



Lars-Göran Bengtsson är teknisk licentiat och brandingenjör. Sedan 1999 är han verksam vid Helsingborgs brandförsvär, där han arbetar med utförande och erfarenhetsåterföring av olycksundersökningar samt kompetensutveckling av utryckningspersonalen. Lasse har också tjänstgjort som jourhavande brandingenjör. Åren 1996–1998 var han anställd som doktorand vid institutionen för brandteknik vid Lunds tekniska högskola, där han forskade inom områdena brandförlopp, brandventilation och brandsläckning. Lasse har också arbetat i olika projekt för Räddningsverket och är bl.a. medförfattare till boken "Brandutredning".

Lars-Göran Bengtsson

# Inomhusbrand

*Inomhusbrand* trycks 2013 i en ny upplaga med samma innehåll som tidigare utgåva från 2003.

Räddningsverket som gav ut boken 2003 har upphört, och Myndigheten för samhällsskydd och beredskap som nu ger ut boken har en annan grafisk profil vilket gör att utseendet på boken är något annorlunda.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

## Inomhusbrand

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

Författare: Lars-Göran Bengtsson

Sakgranskning: Björn Karlsson

Redaktörer: Anna-Lena Göransson, Bo Svensson

Illustrationer: Per Hardestam m.fl., se separat förteckning s. 190.

Formgivare: Karin Rehman

Layout: Advant Produktionsbyrå AB

Tryck: DanagårdLiTHO

Utgivningsår: 2013

Upplaga nummer: 4

Publikationsnummer: MSB595 - december 2013

ISBN: 978-91-7383-371-4

© Lars-Göran Bengtsson och MSB

# Innehåll

Förord .....	7
Översikt .....	9
<b>1. Inledning.....</b>	<b>11</b>
<b>2. Brandstart .....</b>	<b>17</b>
2.1 Initialbrand.....	17
2.2 Antändning av fasta material .....	20
2.3 Flamförbränning och glödbrand .....	24
2.4 Ytflamspridning .....	25
2.4.1 Värmeupptagningsförmåga, <i>кρс</i> .....	27
2.4.2 Ytans orientering .....	27
2.4.3 Ytans geometri .....	29
2.4.4 Omgivande miljö .....	29
2.5 Sammanfattning.....	30
Stanna upp och fundera!.....	32
<b>3. Det tidiga brandförloppet.....</b>	<b>35</b>
3.1 Brandgaser och värmeeffekt .....	36
3.1.1 Brandplym .....	37
3.1.2 Innehåll i oförbrända brandgaser.....	44
3.2 Flammor.....	46
3.2.1 Diffusionsflammar .....	49
3.2.2 Förblandade flammor .....	54
3.2.3 Släckning av flammor .....	63
3.3 Tryckförhållanden i öppna och slutna rum.....	65
3.3.1 Förhindrad termisk expansion.....	68
3.3.2 Termisk stigkraft.....	71
3.3.3 Tryck i stängt eller nästan helt stängt rum .....	74
3.3.4 Tryck i öppet rum .....	75
3.3.5 Tryckuppbyggnad i rum vid antändning av brandgaserna ...	76
3.4 Sammanfattning.....	81
Stanna upp och fundera!.....	82

<b>4. Övertändning.....</b>	<b>85</b>
4.1 Definition av begreppet övertändning .....	86
4.2 Förutsättningar för övertändning .....	88
4.2.1 Effektutveckling .....	90
4.2.2 Ökning av förbränningshastigheten .....	93
4.3 Processer i brandgaslagret .....	97
4.4 Riskbedömning.....	99
4.4.1 Brandgasernas färg .....	99
4.4.2 Kännetecken på en nära förestående övertändning .....	102
4.4.3 Åtgärder.....	105
4.5 Sammanfattning.....	105
Stanna upp och fundera!.....	106
<i>Notis! Branden i The Stardust Club i Dublin .....</i>	<i>108</i>
<b>5. Fullt utvecklad rumsbrand och avsvalningsfas .....</b>	<b>111</b>
<b>6. Brandförlopp i utrymme med begränsad ventilation .....</b>	<b>115</b>
6.1 Pulsationer .....	115
6.2 Branden har självslocknat .....	117
6.3 Brandförloppet återupptas.....	119
6.4 Självantändning av brandgaserna .....	121
6.5 Backdraft .....	122
6.5.1 Definition av backdraft.....	124
6.5.2 Ett typiskt backdraftscenario .....	126
6.5.3 Tyngdkraftsstyrd strömning.....	128
6.5.4 Antändning av den förblandade regionen.....	130
6.5.5 Förhållanden som leder till backdraft .....	135
6.6 Riskbedömning.....	137
6.6.1 Varningssignaler.....	137
6.6.2 Åtgärder.....	139
6.7 Sammanfattning .....	144
Stanna upp och fundera!.....	146
<i>Notis! Branden på 62 Watts Street .....</i>	<i>148</i>
<b>7. Brandgasexplosion .....</b>	<b>151</b>
7.1 Definition av brandgasexplosion.....	152
7.2 Förutsättningar för brandgasexplosion.....	152
7.2.1 Faktorer som påverkar kraften i en brandgasexplosion.....	153
7.3 Riskbedömning .....	155
7.3.1 Kännetecken på en nära förestående brandgasexplosion ....	155
7.3.2 Åtgärder .....	155
7.4 Sammanfattning .....	157
Stanna upp och fundera!.....	158
<i>Notis! Explosionen på Grand Hotel i Helsingborg .....</i>	<i>160</i>

<b>8. Gråzon mellan olika fenomen .....</b>	<b>163</b>
8.1 Att skilja på övertändning och backdraft .....	163
8.2 Att skilja mellan brandgasernas självantändning i öppningen och backdraft .....	164
8.3 Att skilja på självantändning av brandgaserna och att brandförloppet återupptas .....	164
8.4 Att skilja mellan backdraft och brandgasexplosion .....	164
8.5 Att skilja mellan övertändning och brandgasexplosion .....	165
8.6 Sammanfattning.....	165
Ordförklaringar.....	168
Förslag till lösning på kontrollfrågorna .....	172
<i>Kapitel 2</i> .....	172
<i>Kapitel 3</i> .....	173
<i>Kapitel 4</i> .....	174
<i>Kapitel 6</i> .....	175
<i>Kapitel 7</i> .....	177
Beräkningsexempel .....	178
<i>Brännbarhetsgränser</i> .....	178
<i>Övertändning</i> .....	181
<i>Backdraft</i> .....	182
Storhetsguide .....	183
Referenser .....	187
Bildförteckning .....	190
Register.....	191



## Förord

Denna bok syftar till att skapa en djupare förståelse för brandförlopp vid inomhusbränder. Boken är skriven framförallt för räddningstjänstpersonal.

Varje år omkommer ett hundratal människor i samband med bränder runt om i landet. De flesta omkommer i bostadsbränder. Egendomsskadorna vid brand är mycket omfattande och enligt försäkringsbranschens statistik förstörs värden för ca 3,4 miljarder kronor varje år. Det är därför en viktig uppgift att förebygga brand. Genom att satsa stora resurser på det förebyggande arbetet så kan både antalet dödsoffer minskas och kostnaderna sänkas. När en brand har uppstått är det mycket viktigt att den kan bekämpas på ett tidigt stadium och med riktiga åtgärder.

Syftet med denna bok är att bidra till att skapa en fördjupad förståelse för brandförlopp vid inomhusbränder. Tyngdpunkten ligger på förståelsen av de processer som ligger bakom inomhusbrand. Huvudsyftet är inte att behandla själva brandbekämpningen, t.ex. genom brandventilation eller påföring av släckmedel, även om några avsnitt diskuterar lämpliga sådana åtgärder. Inom området brandbekämpning hänvisas i stället till gällande läroböcker i brandventilation och släckmedel.

Boken gör inte anspråk på att vara heltäckande inom området. Brandförlopp i industrilokaler utvecklas t.ex. annorlunda jämfört med lägenhetsbränder. I huvudsak beskrivs här bränder i mindre utrymmen, t.ex. i lägenheter och villor. Grundläggande kunskaper om de faktorer som styr sådana brandförlopp är nödvändiga för räddningstjänstens personal. Det ställs här, liksom vid andra insatser, mycket höga krav på ett korrekt agerande. Det är naturligtvis också mycket viktigt att känna till och uppmärksamma de varningssignaler man kan få under en insats.

Under de senaste 10 åren har stora framsteg gjorts inom forskningen på dessa områden. Detta har lett till att synsättet på rumsbranden i vissa avseende har förändrats. Denna bok bygger på sådan forskning, men också på praktisk erfarenhet från kommunal räddningstjänst.



Boken är tänkt att utgöra basen i den undervisning i brandförlopp som förekommer inom MSB:s utbildningsverksamhet i Sverige. Den är främst skriven för denna målgrupp. Boken kan dock vara av intresse även för andra yrkeskategorier som kommer i kontakt med problem kring inomhusbrand. Det är min förhoppning att boken kommer att tjäna detta syfte, både genom att användas som lärarhandledning och som grundläggande läromedel för att öka kunskaperna om brandförlopp.

Jag är mycket tacksam för all hjälp jag fått under olika stadier av bokens framväxt. Många personer har bidragit. De är så många att jag här inte kan räkna upp dem. Men till er alla, ingen nämnd och ingen glömd, uttrycker jag min stora tacksamhet.

*Lars-Göran Bengtsson*

## Översikt

Boken utgår från att läsaren har förkunskaper i brandteori, t.ex. när det gäller värmeöverföring genom ledning, konvektion (strömning) och strålning. Det är också bra att ha kunskap om värmeeffekt, förbränningsprocess och antändning. (Se till exempel Julia Ondrus bok Brandteori.<sup>1</sup>)

Kapitlen följer brandens utveckling i kronologisk ordning. De flesta kapitel avslutas med en sammanfattning. I slutet av några kapitel finns ett antal frågor. Frågorna är till för att man ska kunna kontrollera om man förstått innehållet i kapitlet. Förslag till lösningar finns längst bak i boken.

De första kapitlen (1–3) i boken är av mer grundläggande karaktär. De följande kapitlen (kap 4–7) behandlar främst tre fenomen: övertändning, backdraft och brandgasexplosion. Där ges också förslag på lämpliga åtgärder i samband med de olika fenomenen. I boken beskrivs också några verkliga händelser, där konsekvenserna manar till eftertanke.

Eftersom de olika fenomenen kan vara svåra att skilja åt i vissa situationer diskuteras den gråzon som finns mellan dem ingående (kap 8).

För läsare som vill förkovra sig ytterligare finns ett antal beräkningsexempel. Dessa exempel förutsätter vissa kunskaper i matematik. Exemplet löses fullständigt och är avsedda för dem som vill ha en matematisk förankring. Endast de viktigaste ekvationerna finns med i den löpande texten.

Stora delar av innehållet, och även upplägget, bygger på rapporten Övertändning, backdraft och brandgasexplosion sett ur räddningstjänstens perspektiv.<sup>2</sup> Denna rapport går att beställa från MSB.

De små upphöjda siffrorna i texten hänvisar till referenslistan i slutet av boken. Litteratur som särskilt rekommenderas är där markerad med fetstil.

Viktig information finns också i faktarutor.

Eftersom boken är skriven för olika yrkesgrupper inom räddningstjänsten är vissa avsnitt mer djupgående än andra.

Dessa teoriavsnitt är markerade som överkurs, och ligger på gul botten.



## Kapitel 1

# Inledning

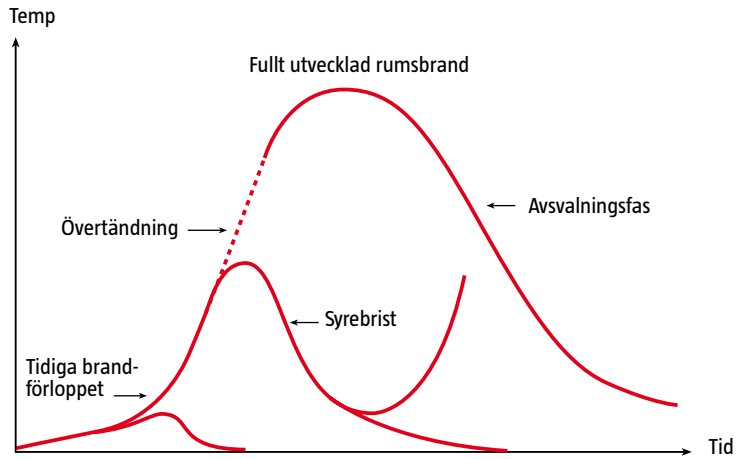
En brand kan uppstå och utvecklas på många olika sätt. Det är omöjligt att beskriva och förutsäga varje specifikt brandförlopp, men det går att ge en generell förståelse för hur en rumsbrand utvecklas.

Brandens utveckling påverkas framför allt av mängden brännbart material och hur detta är placerat i brandrummet. Mycket avgörande är också syretillförseln. Om rummet där branden uppstår är tillslutet kommer brandens intensitet så småningom att avta vilket medför att brandgasernas temperatur i rummet kommer att sjunka. I vissa fall kan t.ex. ett fönster spricka och därmed ge branden ny fart på grund av syretillförseln. Begrepp som förbränningshastighet och effektutveckling (värmeutveckling) är viktiga.

För att kunna beskriva en brands utveckling brukar man utgå från den s.k. brandförloppskurvan, se figur 1. Denna figur är av central betydelse och kommer att användas på flera ställen i boken. På den horisontella axeln anges tiden och på den vertikala axeln anges temperaturen på brandgaserna som samlas under taket – dessa antas här ha en genomsnittlig temperatur. I figuren visas förslag på hur branden kan utvecklas. Tidsperioden från antändning till övertändning kallas det tidiga brandförloppet. Vi börjar med att studera detta förlopp.

I det tidiga brandförloppet (se figur 1) kommer temperaturen att öka successivt, om det finns en öppning, t.ex. ett fönster eller en dörr, i det rum där branden startar. Rummet kan vara en normalt möblerad lägenhet. Branden kan utvecklas till en *övertändning*, vilket medför att alla brännbara ytor i rummet avger pyrolysoxidprodukter. De flammor som

Figur 1. Brandförlopps-kurvan där olika brand-förlopp struktureras.



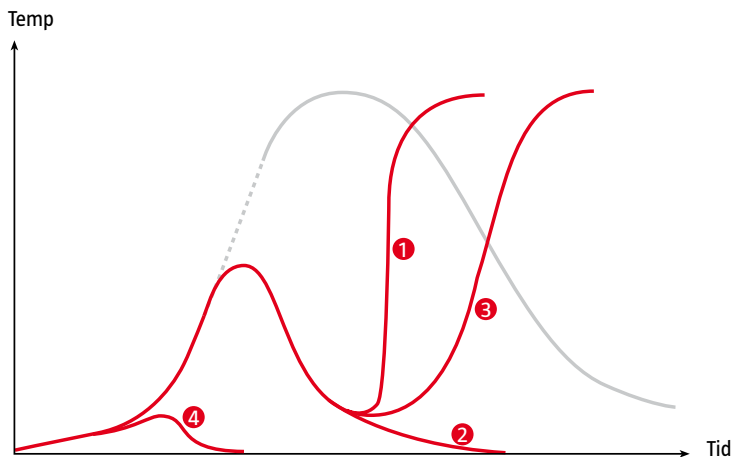
uppstår kommer att fylla ut hela rumsvolymen, vilket ger mycket höga strålningsnivåer. Ingen människa kan överleva en övertändning. Med skyddskläder klarar man sig ett fåtal sekunder. Ur livräddningssynpunkt är det därför en fundamental uppgift att hindra branden från att nå övertändning.

Vid övertändning ökar brandens effektutveckling drastiskt och branden kan bli mycket svårsläckt. Skadorna blir därför mycket värre. Det är ytterligare en anledning till att det är så viktigt att bekämpa branden så att övertändning inte uppstår. Långt ifrån alla bränder går till övertändning, endast några få procent enligt Räddningsverkets statistik.<sup>3</sup>

Efter övertändningen är det främst tillgången på syre som styr effektutvecklingen. Detta stadium benämns fullt utvecklad rumsbrand. Detta skede i brandförloppet är viktigt vid beräkningar av byggnadsdelars bärande och avskiljande förmåga.

Då allt material i rummet har brunnit en längre tid börjar förbränningshastigheten och därmed effektutvecklingen att sjunka. Detta stadium kallas avsvalningsfasen.

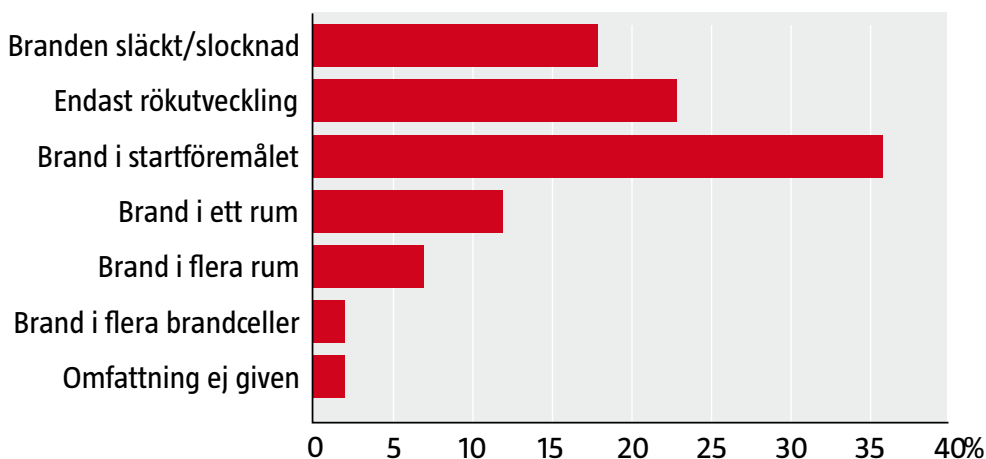
De mekanismer som styr övertändning, t.ex. flamspridning och återstrålning från brandgaslagret, diskuteras ingående i kapitel 2 och 3. Det är mycket viktigt att lära sig att känna igen tecknen på en nära förestående övertändning, så att riskerna i samband med räddningstjänstens insats kan minimeras. Dessa kännetecken kan vara helt avgörande för utgången av insatsen.



Figur 2. Typiska brandförlopp då ventilationskontroll inträffar.

Om det enbart finns läckageöppningar i ett rum som i övrigt är slutet, växer inte branden till övertändning, på grund av syrebrist. Brandens intensitet avtar innan övertändningen inträffar. Detta kan ske på en mängd olika sätt, vilket visas i figur 2 och diskuteras översiktligt nedan.

Ventilationskontroll innebär att brandens omfattning bestäms av att mängden syre är begränsad. I många fall kommer branden att vara ventilationskontrollerad när räddningstjänsten kommer till platsen. Tiden som det tar för branden att nå ventilationskontroll varierar. Som exempel kan vi välja en brand i en TV-apparat. En brinnande TV-apparat kan utveckla mellan ca 200 och 500 kW. Detta leder till att syret i ett rum av normal storlek kommer att vara förbrukat redan ca 3–6 minuter efter brandstart. Branden kommer därefter att minska i intensitet, och det är vanligt att den därefter övergår till glödbrand eller självslocknar. En stor del av lägenhetsbränderna i Sverige är ventilationskontrollerade när räddningstjänsten kommer till platsen. Problemet kvarstår dock eftersom räddningstjänstpersonal öppnar dörren till lägenheterna. Luft kommer då att strömma in i brandrummet, vilket kan leda till att de brandgaser som finns i rummet antänds. Detta sker dock sällan, endast i några få procent av alla bränder (representeras av linje 3 i figur 2). Arbetar rökdykarna på rätt sätt och omgående kyler brandgaserna kan riskerna för antändning av brandgaser minimeras.



*Figur 3. Procentuell fördelning över byggnadsbrandens omfattning vid tidpunkten då räddningstjänsten anländer till platsen. Observera att branden endast i enstaka fall har spridit sig till flera rum då räddningstjänsten anländer.*

I enstaka fall kan en antändning av brandgaserna ske mycket hastigt och flammorna kastas ut ur rummet med en hastighet av flera meter per sekund. Detta fenomen kallas backdraft och behandlas mycket utförligt i kapitel 6. Backdraft medför mycket stora risker och leder ibland till att räddningstjänstpersonal omkommer. Det är därför mycket viktigt att lära sig känna igen varningssignaler på en nära förestående backdraft. Backdraft beskrivs av linje 1 i figur 2.

I många lägenhetsbränder begränsas branden till enstaka föremål, och rökskadorna blir lindriga. Branden är ofta kvar i startföremålet när räddningstjänsten anländer.

Framför allt två scenarier är vanliga i sådana fall. *I det första scenariot* har branden självlocknat på grund av syrebrist. Den har inte spridit sig nämnvärt från startföremålet. Detta beskrivs av linje 2 i figur 2. Temperaturen är i sådana fall relativt låg, men det kan finnas mycket rök i lägenheten.

Det andra scenariot som är vanligt är att branden fortfarande är bränslekontrollerad när räddningstjänsten anländer. Det finns då fri tillgång på luft och branden styrs av mängden bränsle. Bränslekontroll kan bero på att den totala brandbelastningen är liten, vilket gör att brandens effektutveckling inte räcker till för övertändning. Den kan också bero på att bränslekonfigurationen (de brännbara föremålens placering i förhållande till varandra) i rummet, gör att branden inte sprider sig från startföremålet.

Det är viktigt att kunna tolka brandförloppet för att göra en effektiv och säker insats.

Lägenheten kan vara relativt rökfylld men temperaturen är ofta relativt låg. *Detta scenario beskrivs av linje nr 4 i figur 2.* För att kunna avgöra hur stor spridning en brand kommer att få är det viktigt att ha bra kunskap om flamspridning och antändning.

Under 1999 kallades räddningstjänsten till cirka 11000 bränder i byggnader. Drygt 6000 av dessa var bostadsbränder. Statistiken visar att de flesta bränder går att hantera utan några större problem. Men ett fåtal bränder medför större risker. Det är för dessa bränder som det är viktigt att vara ordentligt förberedd. Det gäller också att komma ihåg att situationer som är enkla att hantera för räddningstjänsten kan vara dödliga för de människor som befinner sig i brandrummet. I många bränder omkommer människor för att de inandas brandgaser.

Vi har nu beskrivit några olika situationer som skulle kunna uppstå i ett brandrum. Givetvis ska detta inte tolkas som att dessa är de enda som kan förekomma. Verkligheten är mycket komplex, och hur ett specifikt brandförloppet utvecklas styrs av en mängd olika faktorer. Vi har redan nämnt några, t.ex. bränslemängd, bränslets placering och tillgången på luft. Andra betydelsefulla faktorer är egenskaperna, speciellt värmeledningsförmågan, hos omslutningsmaterialet (t.ex. väggar, glas).

För att kunna förstå rumsbranden behövs goda kunskaper om de fysikaliska och kemiska processer som styr brandens utveckling. Boken innehåller beskrivningar av dessa delar och ger på så sätt ett bra underlag för att förstå olika brandförlopp och deras varningssignaler.

Brandförloppet styrs framför allt av rummets geometri, öppningarna och deras storlek, bränslet och bränslets placering i rummet. Andra bidragande faktorer är bl.a. omslutningsytornas termiska egenskaper, t.ex. densitet och uppvärmningsförmåga.





## Kapitel 2

# Brandstart

Man brukar använda uttrycket ”alla bränder är små till en början”, vilket är alldeles sant. Vi ska nu diskutera varför vissa bränder förblir små och därmed inte heller orsakar några större skador, men också vad det är som gör att en brand växer i storlek. Två viktiga processer är antändning och flamspridning. Dessa kommer att diskuteras ingående.

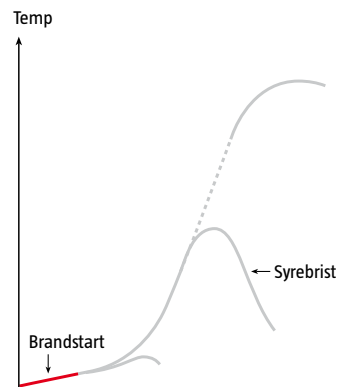
I diagrammet anges temperaturen i brandrummet på den vertikala axeln medan den horisontella axeln anger tiden. Branden kan utvecklas på många sätt beroende på förutsättningarna. Brandstarten, den första delen av brandförlopps-kurvan, visas i figur 4.

### 2.1 Initialbrand

När man talar om hur en brand uppstår använder man uttrycket brandstiftare. Med brandstiftare menas det föremål som orsakat branden. Brandstiftaren kan vara sådana föremål som en spis, radio, TV, levande ljus eller ett strykjärn. Man brukar också tala om *brandorsak*. De tre vanligaste orsakerna är soteld, uppsåtligt anlagd brand och glömd spis. Tekniska fel är också vanliga.

Vid dödsbränder är sängkläder de föremål som oftast förekommer. Detta beror på att den vanligaste brandstiftaren vid dödsbränder är cigaretter. Andra vanliga orsaker till att människor omkommer är att de på ett eller annat sätt fått brand i sina kläder.<sup>4</sup>

Vi kommer nu att följa brandförloppets olika skeden i kronologisk ordning. Utgångspunkten är att det uppstår brand i ett föremål. Avgörande för brandens utveckling är



Figur 4. Brandstart.



Figur 5. Brandstiftare och brandorsaker.

I en bränslekontrollerad brand styrs effektutvecklingen av bränsletillgången.

Ventilationskontroll innebär att det är syremängden som styr effektutvecklingen.

om det finns tillräckligt med bränsle i själva föremålet eller i närheten av det. Om branden inte sprider sig förblir den bränslekontrollerad och brinner ut av själv.

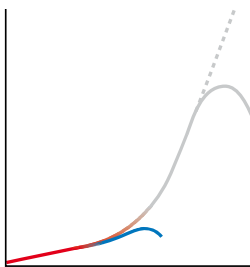
När branden är *bränslekontrollerad* styrs effektutvecklingen av bränsletillgången. I ett sådant läge finns det alltså tillräckligt med syre för att allt bränsle ska kunna förbrännas. Motsatsen, *ventilationskontroll*, innebär att det är syremängden, indirekt öppningarnas storlek, som styr effektutvecklingen. *Bränslekonfigurationen* är avgörande för brandförloppet. Hur växer då branden? Då det finns möjlighet för branden att sprida sig kommer effektutvecklingen att öka. Värmen från initialbranden kommer då att orsaka att andra föremål antänds. Antändningen är ett mycket viktigt fenomen som kommer att diskuteras längre fram i kapitlet. Flamspridning på materialet är också mycket viktig för brandens vidare spridning.

I de flesta fall är effektutvecklingen från *ett* föremål inte tillräcklig för att branden ska orsaka övertändning.

Man brukar tala om initialbrand som det föremål som branden startar i. Det kan t.ex. vara soffan eller ljuset på bordet (se figur 7).

Vi utgår från initialbranden. Det finns i princip två vägar som branden kan välja när den har startat. Antingen kommer den att utvecklas eller att avta.

*Situation 1 (branden avtar, se figur 8)* är taktiskt sätt mycket



Figur 6. Brandförloppet kan ta två olika vägar. Utvecklas eller avta.



enkel att hantera. Ofta finns en del brandgaser i lägenheten, men själva branden är mycket enkel att släcka. Denna situation är mycket vanlig vid bostadsbränder i Sverige.

Situation 2 (branden utvecklas, se figur 9) behöver vi ägna mer eftertanke. Och eftersom det är intressant att se vad som händer när branden sprider sig vidare kommer det efterföljande avsnittet att ta upp hur/på vilket sätt som branden kommer att kunna sprida sig under ett inledningsstadium.

Bränslets placering i rummet är av avgörande betydelse för det fortsatta förloppet. Porösa och träbaserade material i inredningen bidrar till snabba brandförlopp. Plaster sprider ibland branden mycket snabbt beroende på att de droppar och på så sätt bildar pölbränder på golvet.

Vi kommer nu att behandla antändning av material och flamspridning på föremål. Det är viktigt att förstå dessa processer för att kunna lära sig på vilka sätt en brand ökar i intensitet.

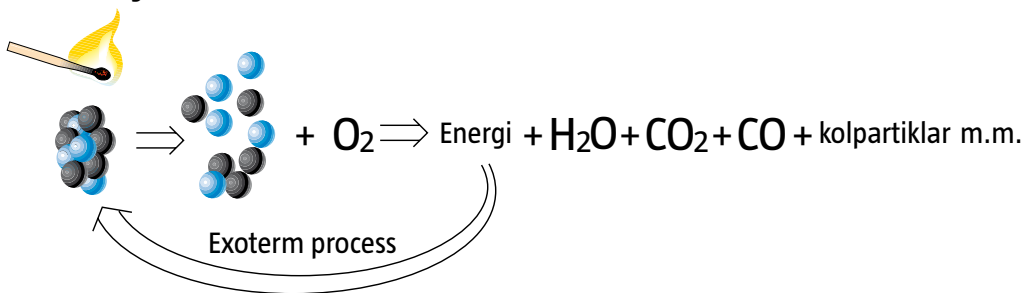
*Figur 7. Initialbrand kan vara t.ex. ett ljus på bordet eller en cigarett som antänder en soffa.*



*Figur 8. Branden sprider sig inte.*

*Figur 9. Initialbranden i soffan växer i storlek. Brandens yta ökar.*

## Antändning



Figur 10. Förbränningsprocessen.

## 2.2 Antändning av fasta material

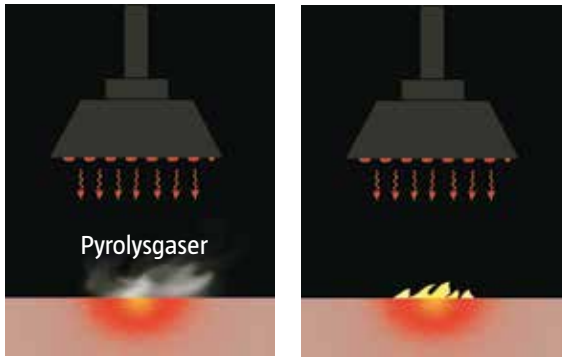
Förbränning är en kemisk reaktion. Det sker närmare bestämt en hel serie kemiska reaktioner när bränslet syresätts (oxideras). Bränsle och oxidationsmedel reagerar med varandra. Då avges värme och ljus. Den kemiska processen åtföljs sålunda av fysikaliska effekter. Värmen är den fysikaliska energi som utvecklas vid den kemiska processen. Ljuset är den fysikaliska följden av att det samlas energi i bl.a. sotpartiklar.

Antändningen är det första synbara tecknet på förbränning. Det brännbara materialet kan självantända på grund av hög temperatur eller antändas av en extern tändkälla, t.ex. en tändsticka eller en gnista. För fasta material finns en kritisk temperatur vid vilken antändning sker. Denna är dock i stort sett oberoende av vilket material som brinner och kan därför inte användas som mått på lättantändligheten. För fasta material måste ytan normalt värmas upp till 300–400°C för att antändning med en pilotlåga ska kunna ske. Om det inte finns någon flamma i närheten, måste yttemperaturen vara högre. För självantändning av trä krävs en yttemperatur på 500–600°C.<sup>5</sup>

Lättantändligheten hos fasta material uppskattas med hjälp av den tid det tar innan antändning sker.

Lättantändligheten hos fasta material uppskattas med hjälp av den tid det tar innan antändning sker. Antändningen äger rum när det har bildats tillräckligt med brännbara gaser vid det fasta materialets yta, för att dessa ska kunna antändas av en liten flamma.

Material som t.ex. trä eller papper (organiska polymerer) måste avge ungefär 2 g/m<sup>2</sup>s (gram per kvadratmeter och sekund) brännbara gaser för att kunna antändas. Plaster (syntetiska polymerer) som har ett högt energiinnehåll, behöver cirka 1 g/m<sup>2</sup>s brännbara gaser för att kunna antändas.

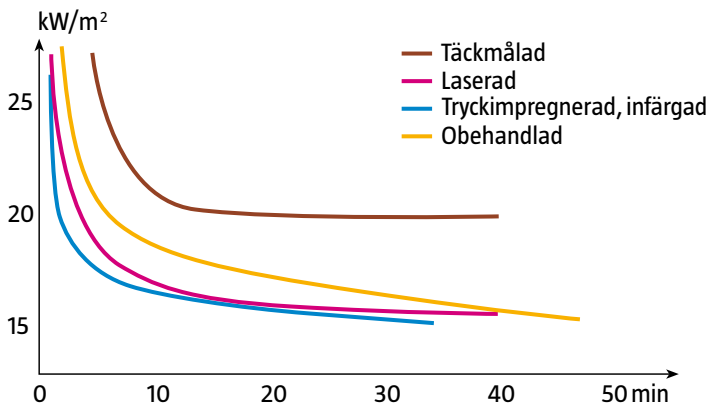


Figur 11. Energijämvikt vid en yta. Figuren beskriver hur värmeväxlingen sker från föremålet och visar hur värmeledningen sker genom föremålet.

Figur 11 visar vad som händer vid bränsleytan då materialet utsätts för extern strålning (värmestrålning). Strålningen gör att temperaturen stiger till den nivå som behövs för att materialet ska pyrolyseras. Pyrolys innebär en sönderdelning av bränslet. Denna process kräver att den externa strålningen är av en viss storlek. Vid för låg strålningsnivå kommer materialet aldrig att kunna antändas.

Experiment har visat vilken mängd värme som behövs för att ett visst material ska kunna antändas vid närvaro av en liten låga. Detta kan mätas med hjälp av en utrustning som kallas *konkolorimeter*. I den placeras materialet under en kon som avger en viss strålning. Ovanpå provet finns en gnistbildare som kontinuerligt försöker antända materialet. På detta sätt mäts tiden fram till antändningen.

Figur 12 visar strålningsintensiteten ( $\text{kW/m}^2$ ), samt den tid det tar att antända trä som behandlats på olika sätt. Vi kommer senare i boken att redogöra för varför strålningsnivåer runt ca  $20 \text{ kW/m}^2$  är så viktiga.



Figur 12. Tid till antändning som funktion av infallande strålning.

## Yttemperatur på fasta material

Det fasta materialets yttemperatur,  $T_s$  kan beräknas med hjälp av ekvation 1, som härstammar från den s.k. allmänna värmeledningsekvationen.<sup>6</sup> Ekvationen är något förenklad, men tillräcklig för vår tillämpning.

$$T_s - T_i = \frac{2 q'' t^{0.5}}{\pi^{0.5} (k\rho c)^{0.5}} \quad \text{Ekvation 1}$$

$q''$	–	tillförd värme $W/m^2$ – Strålningsenergi (i det här fallet från branden)
$T_s$	–	temperaturen vid ytan ( $^{\circ}C$ ) på bränslet
$T_i$	–	initialtemperatur ( $^{\circ}C$ ) på bränsleytan (ursprungstemperatur)
$k$	–	värmeledningsförmåga $W/m^{\circ}C$ (ett högt tal innebär att materialet leder värme lätt)
$\rho$	–	densiteten i $kg/m^3$
$c$	–	specifik värmekapacitet i $J/kg^{\circ}C$ (innebär förmåga för materialet att lagra värme)
$t$	–	tid i sekunder

Figur 12 visar att täckmålad furu antänds först efter mycket lång tid, om strålningsintensiteten är lägre än  $20 \text{ kW/m}^2$ . Obehandlad furu antänder däremot redan efter 7 minuter vid samma strålning.  $20 \text{ kW/m}^2$  motsvarar strålningen från ett brandgaslager med en temperatur på ca  $500^{\circ}C$ . Lättantändlighet för fasta material kan alltså uppskattas med hjälp av den tidsåtgång som en viss värmepåverkan har innan antändningen kan ske.

Ytan värms upp snabbt hos ett material med låg värmepåverkan,  $k\rho c$ , medan uppvärmningen hos ett material med högt  $k\rho c$  sker långsamt. Tabell 1 visar skillnaden i  $k\rho c$  för olika material. ( $k\rho c$  uttalas kå-rå-ce.)

Som exempel kan man jämföra den tid det tar för att en spånskiva och för en träfiberskiva antändas. Båda materialen påverkas av samma konstanta strålning,  $20 \text{ kW/m}^2$ . Spånskivan antänds efter 180 sekunder. Träfiberskivan, som har betydligt lägre  $k\rho c$  antänds efter betydligt kortare tid, endast 50 sekunder. Experimentet genomfördes i konkalorimetern. Här finns det alltså en gnistbildare som antänder gaserna.

## Tid till antändning

Tid till antändning kan också beräknas med ekvation 2 som är en omskrivning av ekvation 1. Observera att värmemotståndet vid ytan har försumrats och att antändningstemperaturen oftast ligger i intervallet 300°C – 400°C.

Då antändningstemperaturen,  $T_{sa}$ , är känd, kan tiden till antändning,  $t_a$ , beräknas:

$$t_a = \frac{(T_{sa} - T_i)^2}{4(q''')^2} k \rho c \cdot \pi \quad \text{Ekvation 2}$$

Som ett exempel kan vi ta ett övertänt brandrum. Om temperaturen i rummet är ca 600°C kommer alla ytor att påverkas av strålning i storleksordningen 30 kW/m<sup>2</sup>. Om vi beräknar hur lång tid det tar att antända t.ex. en brännbar spånskiva blir beräkningarna enligt följande om vi antar att antändningstemperaturen  $T_{sa} = 400^\circ\text{C}$ . Värdet på  $k\rho c$  tas från tabell 1.

$$t_a = \frac{(400 - 20)^2}{4(30\,000)^2} 120\,000 \cdot \pi \approx 15 \text{ sekunder}$$

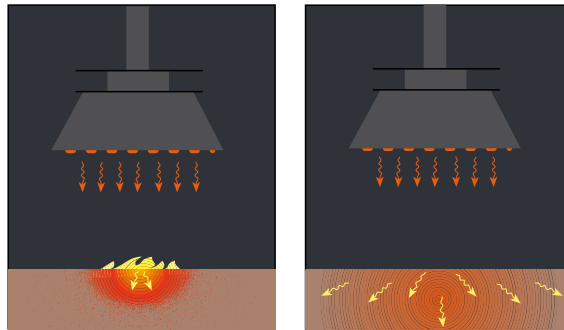
Detta är en grov uppskattning och får absolut inte uppfattas som ett exakt värde. I ett verkligt fall kommer materialet att föruppvärmas samtidigt som ytan kyls då en viss värmestrålning lämnar ytan. Bestämmer man i förväg att ytan inte får värmas upp till mer än en viss temperatur går det att beräkna hur lång tid ytan kan utsättas för en viss värme, dvs. en viss infallande strålning, innan den uppnår den i förväg bestämda temperaturen.

Material	k (W/mK)	c (J/kgK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$k\rho c$ W <sup>2</sup> s/m <sup>4</sup> K <sup>2</sup> )
Spånskiva	0,14	1400	600	120 000
Träfiberskiva	0,05	2 090	300	32 000
Polyuretan	0,034	1400	30	1400
Stål	45	460	7 820	160 000 000
Furuträ	0,14	2 850	520	210 000

Tabell 1. Värmeupptagningsförmåga för olika material.



Figur 13. Värme blockeras vid ytan när materialet är välisolerat. Jämför t.ex. träfiberskiva (till vänster) med spånskiva (till höger).



## 2.3 Flamförbränning och glödbrand

En förbränningsprocess kan i praktiken delas upp i flamförbränning och glödbrand:

- Flamförbränning (homogen oxidation), sker när bränsle och oxidator är i samma fas, t.ex. två gaser.
- Glödbrand (heterogen oxidation), sker vid ytan då bränsle och oxidator inte är i samma fas, t.ex. när bränslet är i fast fas och oxidatorn i gasfas.

Förbränning av gaser och vätskor hör till flamförbränning, medan fasta material brinner med båda typer av förbränning. Vi kommer att behandla flamförbränning i kapitel 3 och nöjer oss därför med att ta upp glödbrand i detta avsnitt.

Glödbrand kan förekomma vid ytan eller inuti porösa material där det finns tillgång till syre, så att oxidationen kan fortsätta. Inuti ett poröst material kan även värmen stanna kvar och underhålla pyrolysisprocessen, till dess att en eventuell självantändning sker.

Det fasta kolskiktet i förkollnade rester är ett poröst material, där glödbrand är vanlig. En glödbrand producerar oftast mycket pyrolysisprodukter som inte oxiderar med en gång. Vid rumsbrand avgår pyrolysisprodukterna från det brinnande föremålet och samlas i rummets övre del utan att ha förbränts. Rummet fylls så småningom med brandgaser som till stor del innehåller kolmonoxid (som är giftig att inandas). Glödbrand kan därför leda till att människor omkommer.

Glödbrand eller glödförbränning är vanlig i möbler med stoppad klädsel. Branden uppstår genom att tygstycken av

Ytan hos ett material som har låg värmeupptagningsförmåga, ett lågt  $k_{pc}$ , värms upp snabbt eftersom mindre värme leds in i materialet. Ett lågt värde innebär att mer värme stannar vid ytan, vilket gör att ytan snabbare når den temperatur då det avgår tillräckligt med brännbara gaser för antändning, vanligtvis mellan  $300^{\circ}\text{C}$  och  $400^{\circ}\text{C}$ .

bomull eller viskos börjar glödförbränna på ett underlag av polyuretanstoppning, t.ex. på grund av en cigarett (se figur 14).

Den här sortens stoppningsmaterial står emot glödförbränning ganska bra, utan klädsel. Men i en stoppad möbel samverkar de olika materialen på så sätt att glödbranden börjar i tygsiktet och framskrider där. Medan glödbranden i tyget pågår startar en kombinerad glödbrand och pyrolys i cellplasten. Pyrolys från cellplasten (den gula röken) går in i och förbrukas i tygets glödbrand. Tygets förbränningshastighet ökar och ökad mängd pyrolysisprodukter avgår. Följden blir att hela stoppmöbeln involveras i branden.

Glödbränder kan ofta uppstå inne i konstruktioner och är därför mycket svåra att komma åt. I en sådan syrefattig miljö kan ingen låga uppstå, utan de brännbara gaserna transporteras bort och kan antändas på andra ställen. En glödbrand brinner mycket långsamt och kan därför pågå under lång tid.

Det är endast få ämnen som brinner med glöd. De är emellertid vanliga. Grillkol är ett exempel. Förutom kol förekommer också sådana ämnen som frigör kol vid förbränning, t.ex. trä. Även en del metaller kan räknas dit, bl.a. finfördelat järn.

## 2.4 Ytflamsspridning

Med ordet flamsspridning avses här *initial flamsspridning*, dvs. när branden uppstår. Givetvis sker flamsspridning i ett rum som närmar sig övertändning på samma sätt. Flamsspridning kan också ske i ett gaslager. Flammorna uppstår då långt ifrån den plats där pyrolysgaserna bildats.

Flamsspridning kan ses som en serie kontinuerliga antändningshändelser. Eftersom antändningen är starkt beroende av den tidigare nämnda värmeupptagningsförmågan för materialet, blir flamsspridningen också beroende av materialegenskapen  $k_{pc}$ .

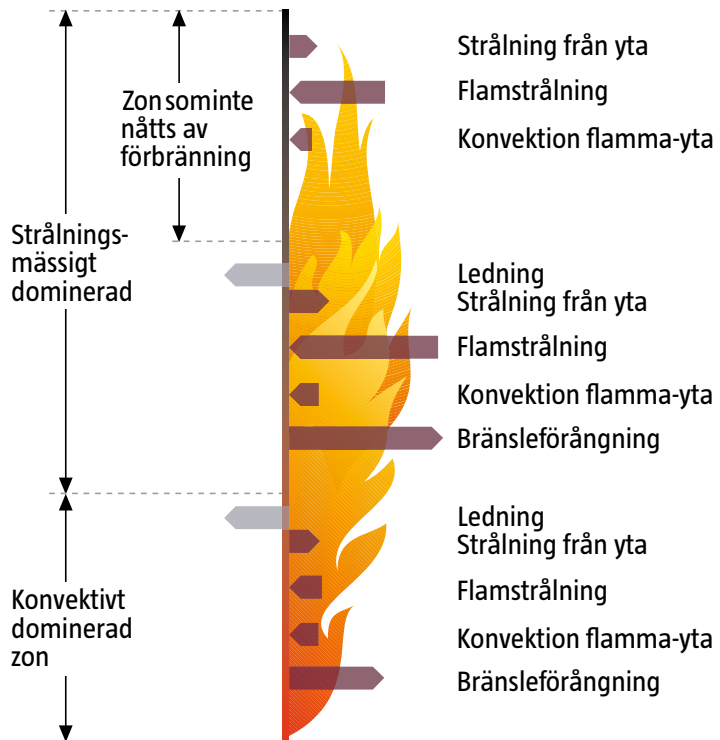
Som tidigare nämnts bidrar en snabb flamsspridning till att brandens yta, och därmed effektutvecklingen, ökar. Detta kan så småningom leda till en mycket farlig situation. Det är därför mycket viktigt att klarlägga vad som påverkar flamsspridningen.

Figur 15 visar vad som händer vid ytan under en väggbrand.



Figur 14. Glödbrand i skumplastmadrass.

De flesta cellulosa-material bildar kolskikt som kan ge glödbrand. Även vissa plaster kan ge glödbrand.



Figur 15. Flamspridning vid vägg.

Väggen kan indelas i tre zoner. Den nedersta domineras av värmeöverföring till ytan genom *konvektion* (värmeströmning). I den mellersta utgör flamstrålningen den största andelen, vilket beror på att flammans tjocklek ökar med höjden. Ju tjockare flammen är, desto större andel av värmeöverföringen sker genom strålning. I den översta zonen har väggen ännu inte antänts. I figuren motsvarar pilarnas längd storleken på de olika komponenterna.

Den hastighet med vilken flammen sprider sig över ett materials yta är främst beroende av:

- materialets värmeupptagningsförmåga,  $k\rho c$
- ytans orientering
- ytans geometri
- den omgivande miljön



*Figur 16. Flamspridningen på ett lätt material (till vänster) och ett tungt material (till höger).*

#### **2.4.1 Värmeupptagningsförmåga, $k\rho c$**

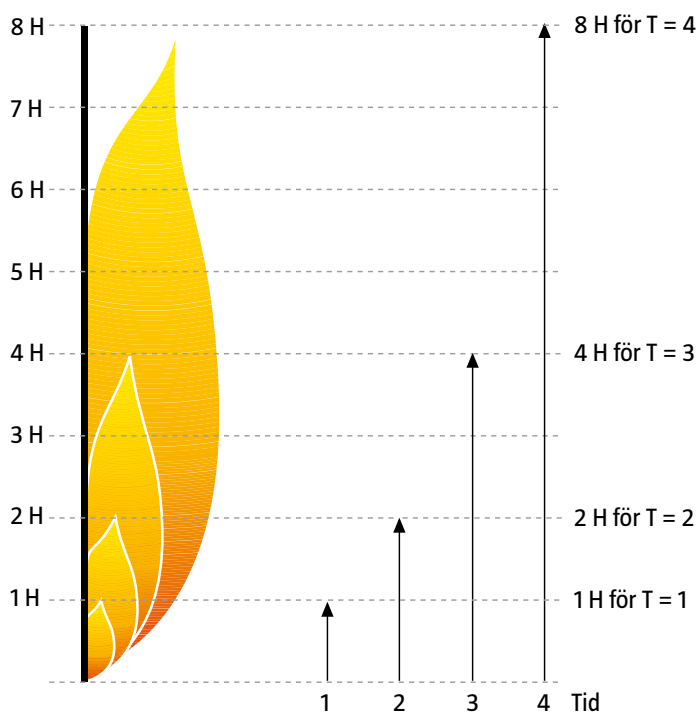
Flamspridningshastigheten är i hög grad beroende av tiden till antändning, som i sin tur är starkt beroende av materialets värmeupptagningsförmåga ( $k\rho c$ ) som är en materialegenskap. Ju större värmeupptagningsförmåga ett material har, desto långsammare är flamspridningen vid dess yta.

För fasta material ökar oftast värmeledningstalet ( $k$ -värdet) med ökande densitet. Det är oftast densiteten som bestämmer hur snabbt flammen sprider sig över ytan. Därför blir flamspridningen över ytan hos ett tungt material i regel lägre än hos ett lätt. Cellplaster kan sprida flammen extremt snabbt.

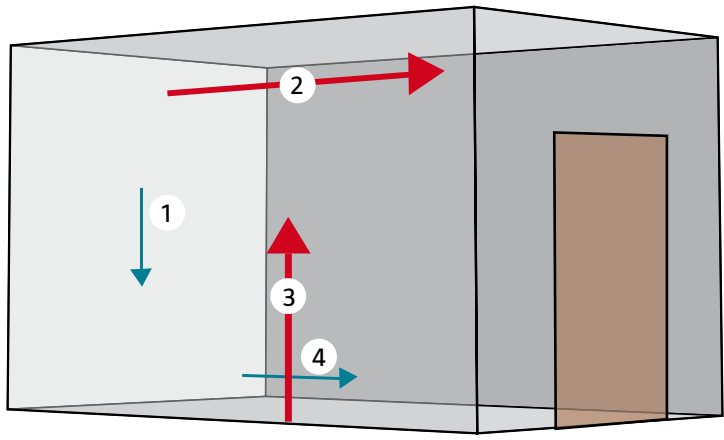
#### **2.4.2 Ytans orientering**

Flamspridningshastigheten är störst uppåt. Nedåtriktad flamspridning är betydligt långsammare, vilket beror på att ytan inte förvärms på samma sätt. Däremellan ändras hastigheten beroende på ytans lutning.

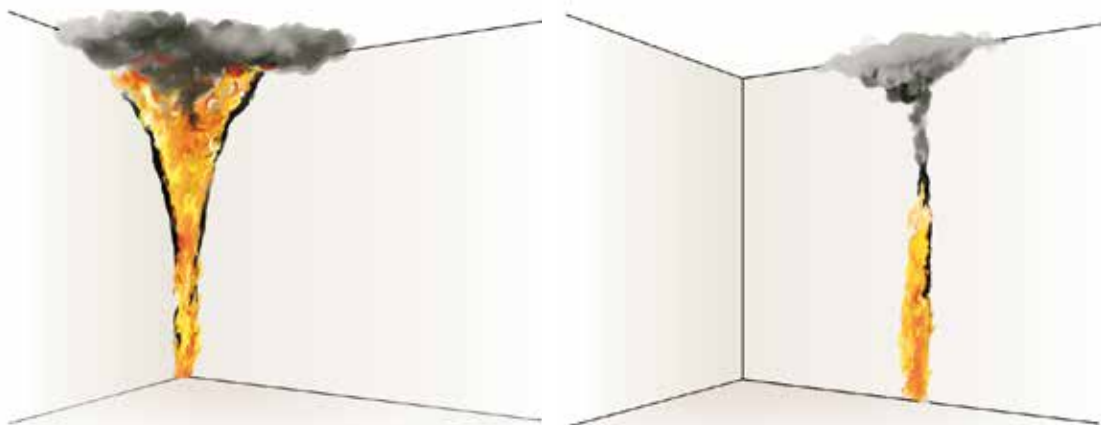
För vertikal flamspridning uppåt gäller att flammhöjden för många material, t.ex. träfiber- och spånskivor, blir ungefär dubbelt så stor på samma tid. Om det behövs 30 sekunder för att en 25 cm hög brand ska växa till 50 cm, så växer en 1 m



Figur 17. Schematisk bild av flamspridning uppåt.



Figur 18. Flamspridning i de olika riktningarna. Vertikalt uppåt och horisontellt på undersidan av tak går snabbast.



hög brand till 2 m på ungefär samma tid, om väggmaterialet är detsamma. (Dessa värden får inte betraktas som exakta.)

För flamspridning på undersidan av en horisontell yta gäller samma sak som för vertikal flamspridning uppåt. Däremot kan flamspridning på övre delen av en horisontell yta, eller nedåt på en vertikal yta, betecknas som krypande, eftersom den är långsammare än uppåtriktad flamspridning.

### 2.4.3 Ytans geometri

I ett hörn sker en växelverkan mellan de båda brinnande ytorna, vilket ger högre hastighet. Ju mindre vinkeln är desto snabbare blir flamspridningen. Detta beror på att värmen hålls kvar i hörnet och på så sätt förvärmer materialet. De brandgaser som bildas blir varmare för att mindre mängd luft sugas in i plymen.

### 2.4.4 Omgivande miljö

När omgivningstemperaturen ökar stiger även flamspridningshastigheten. Ytan är förvärmad och antändningstemperaturen uppnås snabbare. Ju högre temperaturen är från början desto större blir också flamspridningshastigheten. Dessutom blir följden att ju högre temperatur ett material har från början, desto snabbare avger ytan tillräckligt med brännbara gaser.

*Figur 19. Växelverkan i hörnet gör att flamspridningen går snabbare jämfört med om den uppstår mitt på väggen.*



*Figur 20. Flamspridning i alla riktningar.*

Som exempel kan vi ta situationen då ett brandgaslager värmer upp takmaterialet under lång tid. När väl flammorna har kommit upp längs väggen är takmaterialet redan uppvärmt och flamspridningen går mycket snabbt.

## 2.5 Sammanfattning

Förbränning är en kemisk reaktionsprocess, där det sker en syresättning (oxidation) av bränslet. Det första synliga tecknet på förbränning är antändning.

Antändning av fasta material hör nära ihop med flamspridning, som kan betraktas som en serie antändningar. För fasta material finns en kritisk temperatur vid vilken antändning sker. Denna är dock i stort sett oberoende av vilket material som brinner, och yttemperaturen kan därför inte användas som mått på lättantändligheten. Fasta material måste normalt värmas upp till mellan 300 och 400°C för att en antändning med pilotlåga ska kunna ske. Om det inte finns någon flamma i närheten måste ytan uppnå mellan 500 och 600°C (trä).

Lättantändligheten hos fasta material uppskattas med hjälp av den tid det tar till antändning. Egenskapskombinationen kpc kallas för materialets värmeupptagningsförmåga och avgör hur snabbt materialets yta värms upp. Ytan hos ett material med låg värmeupptagningsförmåga värms upp snabbt, ytan hos ett med högt kpc långsamt.

Ju lägre kpc ett material har desto kortare blir tiden till antändning. En porös träfiberskiva antänds därför snabbare än en spånskiva.

En förbränningsprocess kan i praktiken delas upp i *flambrand* och *glödbrand*.

Glödbrand kan förekomma vid ytan eller inuti porösa material där det finns tillgång till syre.

Vid många inträffade bränder är det en hastig flamspridning som varit orsak till de allvarliga konsekvenserna. Flamspridningshastigheten beror på ett flertal faktorer, särskilt materialets värmeupptagningsförmåga, ytans geometri, den omgivande miljön och ytans orientering.

Flamspridningshastigheten blir relativt långsam på ytan av ett material med hög värmeupptagningsförmåga (oftast material med hög densitet). Därför blir flamspridningen över ytan hos ett tungt material i regel långsammare än hos ett lätt.

Om materialet har föruppvärmts av t.ex. en varm omgivande gasmassa eller av strålning från ett brandgaslager, kan materialet nå antändningstemperaturen relativt snabbt. Förvärmade ytor orsakar därmed också snabbare flamspridning än opåverkade ytor.

Ytans orientering och den riktning flamman har när den sprider sig har avgörande betydelse för flamspridningshastigheten. Det är främst den vertikala, uppåtriktade flamspridningen samt flamspridningen längs undersidan av takmaterialet i ett rum som orsakar snabb brandtillväxt.

Uppåtriktad flamspridning, där densitetsskillnaden och luftflödet driver flamman uppåt, gör att flamman från det brinnande materialet föruppvärmer den del av materialet som inte har börjat pyrolyseras.

Flamspridningen längs undersidan av taket i ett rum kan också leda till snabb brandtillväxt. Detta beror på två saker: för det första tvingar luftflödet flamman framåt, och för det



andra har takytan föruppvärmts kraftigt av de varma brandgaserna som samlas vid taket.

Horisontell och nedåtriktad flamspridning på den nedre delen av väggarna i ett rum sker i mycket långsammare takt. Men i vissa fall, när branden närmar sig övertändning, kan även flamspridning nedåt gå mycket snabbt på grund av förvärmning genom strålning.

Avslutningsvis påminns om att detta avsnitt behandlar flamspridning på fasta material. Flamspridning på både fasta material och i brandgaslager är mycket betydelsefulla ur brandspridningssynpunkt. Flamspridning på undersidan av ett brandgaslager är ett mycket vanligt kännetecken på att någonting håller på att förändras i brandrummet. Denna flamspridning utgör ett viktigt tecken för rökdykarna, som ska bekämpa branden. Vi kommer därför senare i boken att särskilt ta upp flamspridning i brandgaslager.

## Stanna upp och fundera!

1. Antag att ytan på ett material värms upp av en värmekälla. Hur varm måste ytan bli för att gaserna som bildas ska kunna antändas?
2. Det är välkänt att flamspridning sker olika snabbt beroende på material. Jämför två material, t.ex. en spånskiva och en träfiberskiva. På vilket material sker flamspridning snabbast? Vad beror det på?
3. Hur ser förkortningen av värmeupptagningsförmågan ut? Vad betyder de olika bokstäverna i förkortningen? Nämn några material med stor värmeupptagningsförmåga.
4. På vilka olika sätt kan värmetransport ske? Ge egna exempel från vardagslivet på varje typ av värmetransport.
5. Flamspridning är av mycket central betydelse när ett brandförlopp accelererar. Nämn några faktorer som påverkar flamspridningshastigheten.
6. Flamspridningshastigheten beror på i vilken riktning den sker. I vilken/vilka riktningar sker flamspridning snabbast? Varför är det så?
7. Ett rum brinner och temperaturen i rummet närmar sig

500–600°C. Uppskatta hur lång tid det tar för en spån-skiva att antändas om det finns en tändkälla. Spånskivan påverkas direkt av denna strålning. Ledning: Använd ekvationen.

8. Flamspridning diskuteras ingående i denna bok. Varför är denna kunskap så viktig för t.ex. rökdykarna?
9. Vi antar att en yta värms upp av en extern värmekälla. Ingen tändkälla finns. Vilken temperatur måste ytan uppnå för att gaserna ska kunna självantända?
10. Nämn några material med ytor där flamspridning sker mycket snabbt.



## Kapitel 3

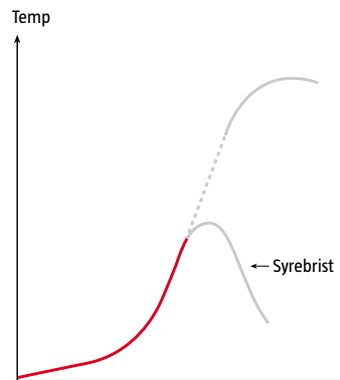
# Det tidiga brandförloppet

Kapitel 2 beskrev de fysikaliska processerna antändning och flamspridning. Nu ska vi beskriva de kemiska processer som är betydelsefulla för brandens tillväxt och som gör att branden kan sprida sig. De kemiska processerna kan vara komplexa, men är många gånger enklare för räddningstjänstpersonalen att upptäcka än de fysikaliska.

Viktiga begrepp att känna till är oförbrända gaser, förblandade flammor och diffusionsflammor m.m. Många av de kemiska processer som vi diskuterar i detta kapitel förekommer givetvis också under andra tidpunkter i brandförloppet.

Vi utgår från en situation där ett brandgaslager börjar bildas under innertaket, samtidigt som branden fortsätter att öka i intensitet. Vad sker med brandgaser som bildas under ett tak och vad är det som kan inträffa i rummet om brandgaserna börjar brinna? Det är fortfarande fråga om det tidiga brandförloppet, och brandens intensitet ökar på grund av att förbränningshastigheten och därmed effektutvecklingen ökar. Ett sådant tidigt brandförlopp är markerat i figur 21. Antändning och flamspridning sker på olika föremål.

För att kunna utföra en insats på bästa sätt är det viktigt att vara väl förtrogen med vad som händer under det tidiga brandförloppet. De processer som sker i brandrummet i detta skede är mycket komplexa. Det är fortfarande fråga om en bränslekontrollerad brand, dvs. syremängden är tillräcklig för att förbränna allt bränsle. Det spelar ingen roll om rummet är öppet eller stängt, eftersom syremängden i rummet räcker till förbränningen.



Figur 21. Det tidiga brandförloppet, då brandgaser samlas under taket.



*Figur 22. Brandgaser börjar samlas under taket. Miljön i nedre delen av rummet är fortfarande sådan att en människa kan vistas där en kortare tid.*



*Figur 23. Branden har spridit sig ordentligt.*

Det är ofta i denna situation som räddningstjänsten anländer till platsen. Att då kunna avgöra om branden är bränslekontrollerad eller ventilationskontrollerad är mycket viktigt och kommer att påverka insatsen i stort. Är branden bränslekontrollerad kommer inte effektutvecklingen att öka när dörren öppnas, och man behöver inte vara orolig för att brandgaserna hastigt ska antändas.

### **3.1 Brandgaser och värmeeffekt**

När rumsbranden växer (eftersom värmeeffekten ökar) äger en rad komplexa processer rum i brandgaslagret. I vissa fall kan brandgaserna antändas. För att det ska ske krävs att där

finns både tillräckligt med bränsle och syre samt någon typ av tändkälla.

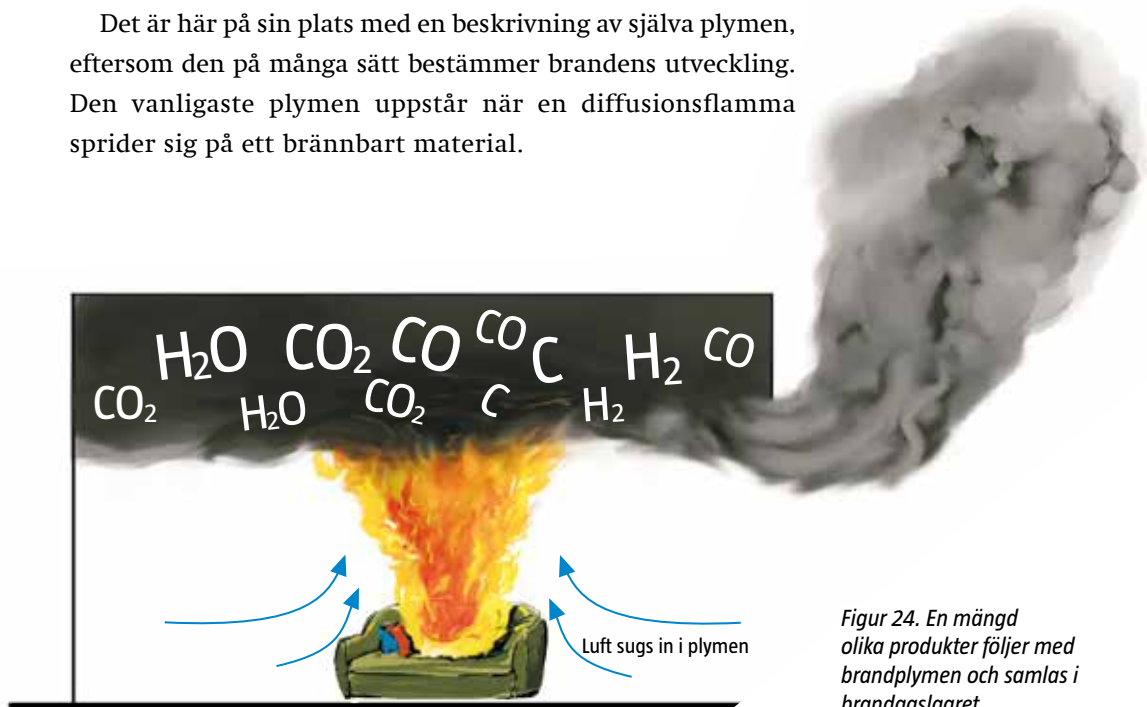
Antänds brandgaserna sprids branden mycket snabbt och i vissa fall ökar också trycket, vilket påverkar både människor och byggnadskonstruktioner.

Flammorna kan ge upphov till brännskador på människor. Tryckökningen kan påverka både människor och byggnadskonstruktioner. I de flesta fall sker emellertid antändningen av brandgaserna både lugnt och kontrollerat.

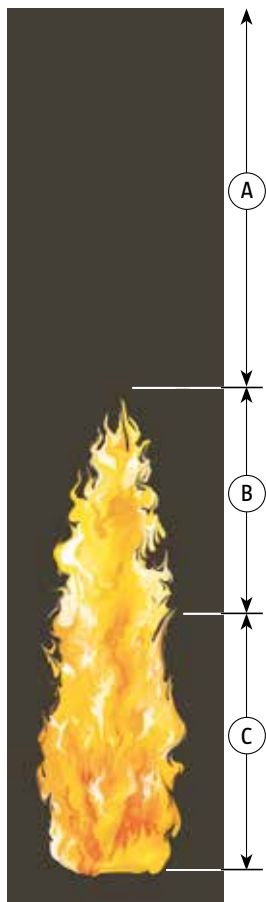
### 3.1.1 Brandplym

När ett fast material värms upp börjar det avge gaser. Denna process kallas *pyrolys*. Pyrolys startar vanligen vid temperaturer i intervallet 100–250°C. Det är pyrolysgaserna som börjar brinna när de blandas med syret. Pyrolysprocessen utgör en kemisk sönderdelning, eller kemisk omvandling, från komplexa till enklare beståndsdelar. En del av de gaser som bildas vid bränsleytan kommer inte att förbrännas i flammen. Dessa oförbrända gaser kommer att följa med plymen och lagras i brandgaslagret. I figur 24 visas några exempel på vilka produkter som finns i ett brandgaslager.

Det är här på sin plats med en beskrivning av själva plymen, eftersom den på många sätt bestämmer brandens utveckling. Den vanligaste plymen uppstår när en diffusionsflamma sprider sig på ett brännbart material.



Figur 24. En mängd olika produkter följer med brandplymen och samlas i brandgaslagret.



Figur 25. Brandplymens olika områden.  
 A: Gasströmsplym  
 B: Ojämn flamma  
 C: Kontinuerlig flamma

På grund av olika temperaturer i en massa uppstår en densitetskillnad. Den varma delen av massan som har lägre densitet kommer att stiga uppåt i förhållande till den omgivande massan – den del som har lägre temperatur och därmed högre densitet. Detta sker ovanför brandkällan.

Brandplymen är den varma gasström som bildas i och ovanför en naturlig flamma<sup>7</sup>. Brandplymens egenskaper är beroende främst av brandens storlek, dvs. den värmeeffekt en brand utvecklar. Dessa egenskaper påverkar brandens fortsatta förlopp, t.ex. hur snabbt en byggnad fylls med brandgaser, och vilken värmepåverkan omgivande konstruktioner får ta emot.

Brandplymen kan delas in i tre områden:

- Området nära flambasen, med den kontinuerliga flammen
- Området med ojämn flamma
- Gasströmmen ovanför flammen, karakteriserad av avtagande gashastighet och temperatur, den del som i vardagslag brukar kallas för plymen.

Temperaturen och gashastigheten inne i brandplymen är direkt beroende av hur mycket värme som brandkällan avger och höjden ovanför brandkällan. Inblandningen av omgivande luft ökar massflödet i plymen. Brandplymens temperatur och hastighet i vertikalled minskar med höjden.

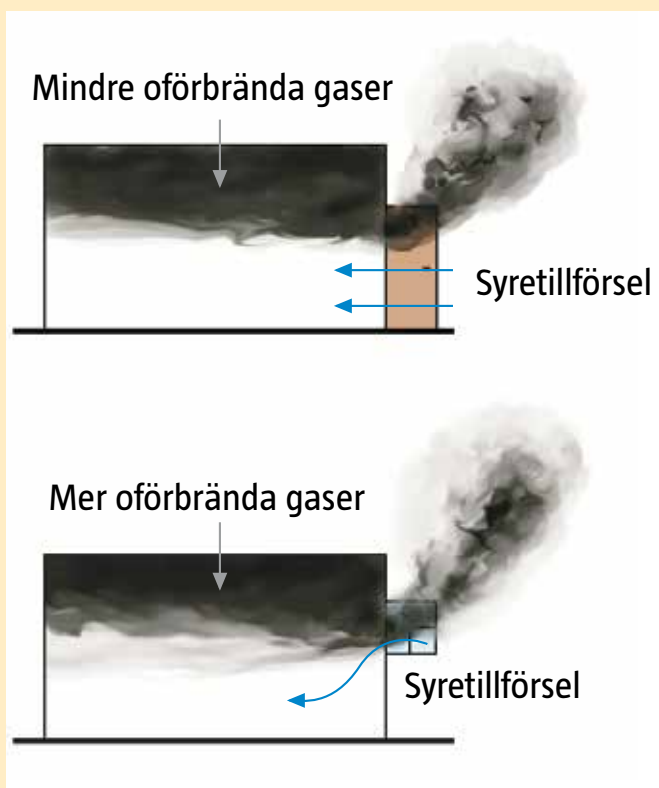
Brandgaser, som bildas vid en brand, består av två komponenter<sup>8</sup>. Den första komponenten, som både vikt- och volymmässigt är den starkt dominerande, utgörs av den luft som "sugs" eller blandas in i gasströmmen och lämnas opåverkad av kemiska reaktioner. Mängden brandgaser vid en brand är därför i stort sett lika med den mängd luft som blandas in i brandplymen. Den bildar den gasström som för brandgaserna från branden upp i brandgaslagret, under förutsättning att det finns öppningar i rummet.

Den andra komponenten innehåller de sönderdelnings- och reaktionsprodukter som bildas vid branden, nämligen gaser (CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> m.fl.) och partiklar i fast form (sot) eller vätskeform (exempelvis tyngre kolväteföreningar). En mera noggrann beskrivning av de komponenter som kan bildas vid en brand ges i nästa avsnitt, avsnitt 3.1.2.

## Förbränningseffektivitet

Förbränningseffektiviteten brukar betecknas med bokstaven  $\chi$ . Den maximala energimängden erhålls om  $\chi$  är lika med 1,0.

Det är graden av ofullständig förbränning, vilken brukar betecknas med  $1-\chi$ , som avgör hur mycket potentiell energi som kan lämnas oförbrukad i det övre brandgaslagret. När brandgaserna antänds kan denna energi i vissa fall omvandlas till värme och öka strålningen i rummet. För plaster kan  $\chi$  vara så lågt som 0,5. Vid förbränning av metanol är  $\chi$  nästan 1,0. Dessa värden gäller vid fri tillgång till luft. Om det finns en begränsad mängd luft kommer  $\chi$  att bli lägre, dvs. det kommer att finnas mer oförbrända gaser i brandgaslagret.



Figur 26. Det är syretillförseln som avgör om det bildas oförbrända brandgaser från själva brandhärden. Ju mindre mängd syre som kommer in i rummet, desto större mängd oförbrända brandgaser bildas.



Produktionen av oförbrända brandgaser är avgörande för om brandgaslagret ska kunna antändas. Om de oförbrända brandgaserna, som samlats i brandgaslagret, antänds kommer strålningsnivåerna att öka drastiskt i rummet. Detta leder i sin tur till att andra material antänds. Branden växer snabbt och sprider sig.

Oförbrända brandgaser bildas alltid om förbränningen sker under otillräcklig syretillförsel. Men även när syretillförseln är tillräcklig för att förbränna allt bränsle bildas alltid en del oförbrända brandgaser.

De brännbara produkter som finns i brandgaserna kommer från:

1. Pyrolys från material som inte är i kontakt med själva brandhärden. Eftersom temperaturen oftast är hög uppe vid taket är det vanligt att brännbara takmaterial pyrolyseras.
2. Ofullständig förbränning från själva brandhärden.

Ju mer ofullständig förbränningen är desto fler brännbara produkter finns i brandgaserna. Ju sämre tillgång på luft desto mer ofullständig förbränning. Detta ökar sannolikheten för att brandgaslagret ska kunna antändas.

Det bör observeras att en del av den potentiella energi som finns i brandgaslagret är mycket svår att utvinna, även om brandgaslagret antänds. För sotpartiklar krävs t.ex. att temperaturen uppgår till  $\approx 1\,000^\circ\text{C}$ , för att den potentiella energin ska omvandlas till värme.

Det är därför man ofta ser svarta brandgaser strömma ut ur brandrummet, även om temperaturen i rummet är hög. Sotpartiklarna kännetecknas av den svarta färgen, figur 27.

Vi har tidigare nämnt effektutvecklingen. Den mängd värmeenergi som frigörs under ett tidsintervall, t.ex. en sekund, kallas för värmeeffekt och uttrycks i J/s (Joule per sekund) eller W (watt). Effektutvecklingen är ett mycket viktigt begrepp, eftersom det ger oss möjlighet att bedöma brandens storlek, vilket i sin tur gör att släckinsatsen kan dimensioneras. Vid dimensioneringen av släckinsatsen jämförs den utvecklade brandeffekten med den kapacitet som olika släckmetoder och släckmedel har.

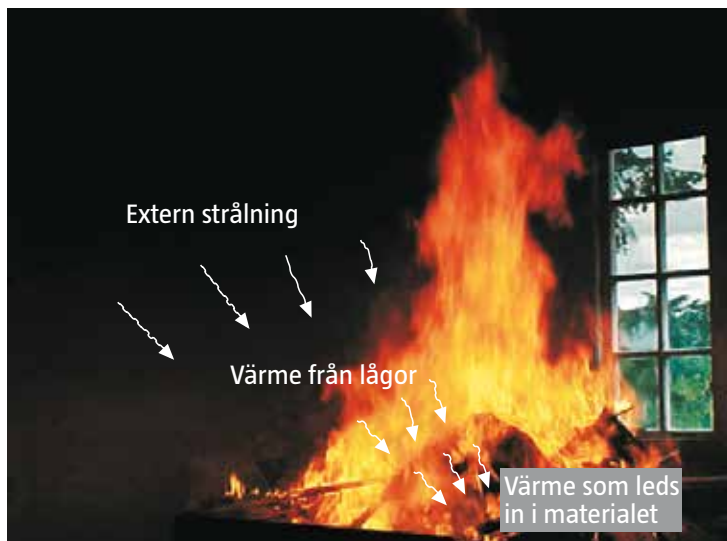
Värmeeffekten från en bränsleyta bygger på att en viss mängd pyrolysgaser lämnar bränsleytan. Förbränningshastigheten styrs av flera faktorer (se figur 28).

Ventilationen har stor inverkan på förbränningseffektiviteten. Ju mindre ventilationen är, desto lägre blir förbrännings-effektiviteten; och mer gaser samlas i brandgaslagret. I ett rum

*Figur 27. (motstående sida) Svarta brandgaser strömmar ut ur rummet, mycket potentiell energi följer med. Som vi ser är det inte allt som förbränns utanför heller.*



Figur 28. Energibalans vid en bränsleyta.



som är tillslutet är det därför stor risk att det finns mycket oförbrända gaser. Detta beror givetvis också på att andra ytor pyrolyserats.

Under de senaste decennierna har övergången från träbaserade material till syntetiska polymerer medfört en ny situation inom brandskyddsområdet. Vissa egenskaper skiljer sig väsentligt; exempelvis karakteriseras cellplaster av låg värmeledningsförmåga,  $k$ , och låg densitet, se tabell 2.

Detta medför att cellplaster antänds snabbt och ger upphov till en snabb flamspridning. Resultatet kan bli att branden utvecklas till övertändning på mycket kort tid. Snabba övertändningar kan också orsakas av vissa plaster, som droppar när de brinner. På så sätt sprids branden mycket snabbt och åstadkommer hög effektutveckling. Bränslekonfigurationen är därför mycket avgörande för om en brand ska växa till övertändning.

En stor skillnad finns även i de förbränningstekniska egenskaperna. Förångningsvärmets  $\Delta H_L$ , den mängd energi som behövs för att förånga ett kilo av materialet, kan variera mycket, liksom förbränningsvärmets  $\Delta H_C$ , som är den mängd energi som frigörs när ett kilo av ämnet förbränns. Kvoten mellan  $\Delta H_C$  och  $\Delta H_L$  kallas förbränningsvärde och representerar förhållandet mellan utvecklad värme och det värme

En lägenhetsbrand kan utveckla en effekt på omkring 2–5 MW, att jämföra med t.ex. en tändsticka som utvecklar 80 W eller cigarett som utvecklar 5 W. Exempel på andra effekter är en soffa, som utvecklar 1–2 MW, och en papperskorg, som beroende på innehåll, utvecklar mellan 0,05 och 0,3 MW.

## Värmeeffekt från en bränsleyta

Värmeeffekten kan räknas ut med följande formel:

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

Ekvation 3

- där  $\dot{Q}$  – värmeeffekt i W  
 $\dot{m}''$  – förbränningshastighet i  $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$   
 $A_f$  – bränsleytans storlek i  $\text{m}^2$   
 $\Delta H_c$  – förbränningsvärme vid fullständig förbränning i  $\text{MJ}/\text{kg}$   
 $\chi$  – förbränningseffektivitet som är ett mått på hur effektivt bränslet förbrukas.  
1,0 motsvarar fullständig förbränning, dvs. all energi utvinns.

Följande är ett enkelt beräkningsexempel: Räkna ut brandeffekten som utvecklas när en heptanpöl med diametern 1,2 meter brinner. Ekvationen går att använda både för fasta och vätskeformiga bränslen.

Vi behöver följande värden (hämtas från annan litteratur<sup>5</sup>) i beräkningarna:

$$\begin{aligned}\Delta H_c &= 44,6 \text{ MJ/kg} \\ \chi &= \text{Antas till } 0,7 \text{ (normalt värde för kolväten)} \\ \dot{m}'' &= 0,075 \text{ kg}/\text{m}^2\text{s} \\ A_f &= \pi \cdot D^2/4 = 3,14 \cdot 1,2 \cdot 1,2/4 = 1,13 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Detta ger en effektutveckling på totalt  $0,075 \cdot 1,13 \cdot 0,7 \cdot 44,6 \cdot 10^6 = 2,6 \text{ MW}$

Indirekt visar ekvation 3 hur mycket energi som kan lagras i brandgaslagret.

$1-\chi$  är den del av energin som följer med brandplymen och lagras i brandgaserna, i det här fallet cirka 1,1 MW.

Material	k (W/mK)	c (J/kgK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$k\rho c$ (W <sup>2</sup> s/m <sup>4</sup> K <sup>2</sup> )
Spånskiva	0,14	1 400	600	120 000
Träfiberskiva	0,05	2 090	300	32 000
Polyuretan	0,034	1 400	30	1 400

Tabell 2. Skillnader i  $k\rho c$  för olika material.

Både material-egenskaper och ventilationsförhållanden är avgörande för produktionen av oförbrända gaser, och hur brandfarligt ett material är i en viss situation.

Vissa plaster har ett högt energiinnehåll. Om ventilationen är dålig kan man få en stor mängd ofullständiga produkter i brandgaserna. Förbränning av plaster bidrar ofta till de förhållanden som gör att över-tändning kan uppstå.

som förbrukas för att förånga det brinnande materialet. Siffran motsvarande  $\Delta H_C$  och  $\Delta H_L$ , säger hur många gånger mer värme som utvecklas, än som förbrukas under förbränningen. Fasta material utvecklar ca 3–30 gånger mer värme än de förbrukar.

Att jämföra olika material genom att jämföra deras enstaka egenskaper, säger inte allt om deras beteende vid en verklig brand. Det är ändå värdefullt att känna till dem och skillnader mellan olika material.

Vissa plaster, s.k. termoplaster, mjuknar och smälter när temperaturen höjs. Materialen beter sig därefter som en vätska. Den strålningsvärme som avges från flammor vid en brand kan även medföra att plastföremål på relativt stort avstånd från branden kan mjukna eller smälta, utan att de direkt deltar i branden. Det smälta materialet kan sedan antändas genom strålning från branden, genom brinnande droppar, eller genom att något brinnande föremål faller ned i det smälta materialet.

Förbränningsvärme är den värmemängd som kan frigöras från ett brinnande material. Mängden frigiven värmeenergi uttrycks i J/kg. Den värmemängd som kan utvecklas ligger för trä vid fullständig förbränning på mellan 17 och 20 MJ/kg.

Det förekommer stora skillnader mellan förbränningsvärmerna för plasterna. Vissa utvecklar nästan ingen energi alls. Andra plaster, t.ex. termoplaster, kan utveckla en förbränningsvärme som är jämförbar med eldningsolja, ca 40–50 MJ/kg.

### 3.1.2 Innehåll i oförbrända brandgaser

Tidigare nämndes att förbränning bildar en stor mängd produkter. Sker en förbränning under god syretillförsel uppstår stora mängder koldioxid och vatten, vilka i sig inte är brännbara. Beroende på tillgängligt syre och materialets beståndsdelar kan också en mängd andra produkter bildas. Några av dem redovisas här.<sup>5</sup>

**Kolmonoxid (CO)** är den vanligast förekommande gasen utöver koldioxid och vatten och utgör oftast den primära

dödsorsaken när människor omkommer vid brand. Gasen är mycket brännbar och har ett brett brännbarhetsområde. CO är en färg- och luktlös gas, vilket gör den svår att upptäcka. Kolmonoxid bildas i stora mängder då takmaterialet består av trä. Halter på 10–15% kan uppnås.

CO-halten kan variera från 0% ända upp till 15% under speciella bränslekonfigurationer. CO-halten är kritisk vid 1 500 ppm vilket motsvarar 0,15 vol%.

<i>CO-halt %</i>	<i>Skadeverkan</i>
0,1–0,12	Obehagligt efter 1 timme (yrsel, huvudvärk)
0,15–0,2	Farligt vid inandning efter 1 timme (förlamning, medvetslöshet)
0,3	Farligt vid inandning 1/2 timme
1,0	Dödlig vid inandning 1 min

**Cyanväte (HCN)** produceras vid ofullständig förbränning av produkter som ull, silke, nylon och polyuretan. Gasen är lätt att förbränna och utgör ett gift som snabbt leder till kvävningsdöden. Den är färglös.

**Kvävedioxid (NO<sub>2</sub>)** och andra oxider av kväve produceras i små kvantiteter från tyger och i större mängd från bl.a. viskos. Kvävedioxid verkar kraftigt irriterande på lungorna och kan orsaka omedelbart dödsfall. Den är en luktfri gas med en karakteristisk brun färg. Cyanväte och kvävedioxid bildas ofta samtidigt.

**Ammoniak (NH<sub>3</sub>)** produceras vid förbränning av bl.a. ull, silke och nylon. Koncentrationerna är vanligtvis låga i samband med byggnadsbränder. Ammoniak har en karakteristisk lukt och orsakar irritation vid låga koncentrationer. Detta leder dock inte till döden. Ammoniak är färglös och bildas sällan i sådana koncentrationer att de är farliga för människan.

**Klorväte (HCl)** bildas vid pyrolys av vissa isoleringsmaterial för ledningar, som polyvinylklorid, men även för material som behandlats med brandhämmande medel och klorerade

akryler. Klorväte är starkt frätande. Andas man in det kan det leda till döden om man inte flyttar sig från den plats där den bildas. Klorväte är en färglös gas.

**Oförbrända kolväten** bildas vid förbränning av kolväteföreningar. De innehåller CH (kol och väte) i olika kombinationer. Dessa är färglösa. Samtidigt som det bildas oförbrända kolväten bildas det också rena kolföreningar (C), vanligen kallat sot. Sotet består av kolpartiklar som slås ihop, ibland tillsammans med något väte. De utgör det svarta inslaget i brandgasen. Sotet bildas oftast vid underventilerade förhållanden. Kolpartiklarna är mycket svåra att utvinna energi ur. Glödande sotpartiklar ger flammor deras karakteristiska gula färg.

I samband med en brand bildas givetvis en stor mängd pyrolysoxidprodukter från material som inte har någon direkt kontakt med brandhärden. Dessa produkter kan vara mycket rena pyrolysgaser.

### 3.2 Flammor

Brandgaslagret kan i många fall antändas. Ibland råder ventilationskontroll och ibland bränslekontroll. Vi tänker oss att vi fortfarande har bränslekontroll och ska nu diskutera vilka flammor som kan uppstå i denna situation. Flamspridningen i brandgaser går olika snabbt beroende på vilken sorts flamma som uppstår.

I detta kapitel diskuteras de olika flamtyperna. Lite längre upp på brandförloppskurvan kan brandgaserna antändas, se figur 30. Branden är fortfarande bränslekontrollerad. Det finns fortfarande tillräckligt med luft för att förbränningen ska kunna fortgå. Det spelar ingen roll om rummet är stängt eller öppet men vi närmar oss ventilationskontroll.

Vi har tidigare nämnt att brandgaserna kan antändas om proportionerna är de rätta, vilket kan vara mycket farligt för t.ex. rökdykarna. Om brandgaserna antänds kommer strålningsvärmens att öka kraftigt. Det kan leda till att brandförloppet accelererar, men detta styrs givetvis också av tillgången på syre. I samband med rökdykning gäller det att vara

Våra skyddskläder kan stå emot hög värme kort tid. RB-90 klarar 1 200°C i sju sekunder innan andra gradens brännskada uppstår. Rökdykare klarar bara några minuter i 200–300°C.



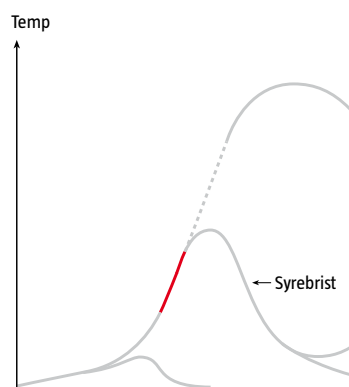
uppmärksam på att brandgaserna kan ändra karaktär och antändas. Det är också viktigt att komma ihåg att branddräkten endast klarar att utsättas för flammor i några få sekunder.

Flammor brukar beskrivas som en region, där det sker en reaktion mellan bränsle och luft. Denna region brukar oftast avge någon typ av strålning, ofta i form av ett gult sken. Det finns dock ämnen, som inte avger gult sken utan blått, t.ex. vissa alkoholer. Alkoholförbränning är väldigt effektiv. Det medför att endast få sotpartiklar bildas och vi får ett blått sken istället för ett gult.<sup>9</sup>

För att förbränning ska kunna ske måste det finnas bränsle och luft. Det är viktigt att komma ihåg att oavsett om bränslet är flytande eller fast så måste det omvandlas till gas för att brinna. Enda undantaget är glödbrand, som behandlats tidigare i kapitel 2.

Om en flamma uppstår på en bränsleyta, t.ex. som pölbrand, så orsakar värmen från flammen att vätskan förångas, och på detta sätt kommer förbränningen att kunna fortgå.

*Figur 29. Branden börjar närma sig övertändning, strålning till alla andra delar av brandrummet ökar.*



*Figur 30. Det tidiga brandförloppet, branden är fortfarande bränslekontrollerad.*



Om brandgaserna skulle antändas i ett slutet utrymme är det troligt att branden övergår till ventilationskontroll, om det inte tillkommer några öppningar.

Det finns två olika typer av flammor: *förblandade flammor* och *diffusionsflammor*. De har olika egenskaper. För att kunna förstå de olika fenomen som uppstår i rumsbranden är det nödvändigt att också förstå flammornas egenskaper. En flamma är resultatet av en kemisk reaktion mellan bränsle och luft. En viss mängd energi krävs för att starta reaktionen.

**Förblandade flammor** uppstår när bränsle och luft redan är blandade och när blandningen är innanför brännbarhetsområdet innan antändning sker. För att en flamma ska uppstå behövs en tändkälla, t.ex. en gnista. I enstaka fall skulle gaserna kunna antända utan gnista, vilket brukar kallas självantändning. Men självantändning av brandgaser är sällsynt.

**Diffusionsflammor** uppstår när bränsle och luft möts. Bränsle och luft är alltså inte blandade innan antändning sker. Blandningen sker i stället genom molekylär diffusion, som är en relativt långsam process, även om processen påskyndas av en hög temperatur

Vi tänker oss en plåtburk med lite brännbar vätska på botten. Den omgivande temperaturen är högre än vätskans flampunkt, vilket gör att gaserna ovanför vätskeytan hamnar inom brännbarhetsområdet. Kastar vi ner en tändsticka så kan detta leda till att det blir en liten puff. Detta är en förblandad flamma. Därefter kommer flammen att utbreda sig på vätskeytan. Då är det fråga om en diffusionsflamma.

En bättre förståelse för de olika flammorna kan nås med några exempel från vardagslivet:<sup>10</sup>

1. Stearinljuset är ett typiskt exempel på en diffusionsflamma, där bränslet och luften möts i ett litet tunt skikt runt vecken.
2. En pölbrand är exempel på att båda flamtyperna samexisterar. När antändning sker kommer en förblandad flamma att snabbt sprida sig över ytan. Därpå uppstår en diffusionsflamma som upprätthåller förbränningen.
3. Ett eldklot kan uppstå då ett moln av bränsle, som innehåller mycket lite luft, antänds. Koncentrationen

inom molnet är alldeles för hög för att en förblandad flamma ska kunna uppstå. Däremot kommer det att finnas en förblandad zon i utkanten av molnet och där kan det alltså ske en förblandad förbränning.

4. Om en gas läcker ut från ett rör med högt tryck kommer det att ske en blandning mycket snabbt, vilket kan leda till att en del av blandningen kommer att ligga inom brännbarhetsområdet. Om en antändningskälla finns uppstår en förblandad flamma.
5. I ett brandgaslager finns det ofta mycket bränsle och luft med lågt syreinhåll. Det är därför mycket osannolikt att ett sådant lager kommer att utveckla en förblandad flamma. En diffusionsflamma kommer att sprida sig på undersidan av brandgaslagret eller högre upp i lagret.
6. I vissa fall blandar sig brandgaserna och luften när luft strömmar in i ett brandrum där förbränning pågår under syrebrist. Detta kan leda till att en förblandad blandning uppstår och antändningen kan då bli hastig.
7. I till branden angränsande rum kan brandgaserna och luften blandas väl och ligga inom brännbarhetsområdet. Antänds blandningen kan förbränningen bli hastig. En förblandad flamma uppstår och utbreder sig mycket snabbt. Detta brukar kallas brandgasexplosion.

Beroende på hur väl förblandade brandgaserna är kommer två olika typer av flammor att kunna uppstå. Det är mycket viktigt att kunna skilja dessa båda typer åt.

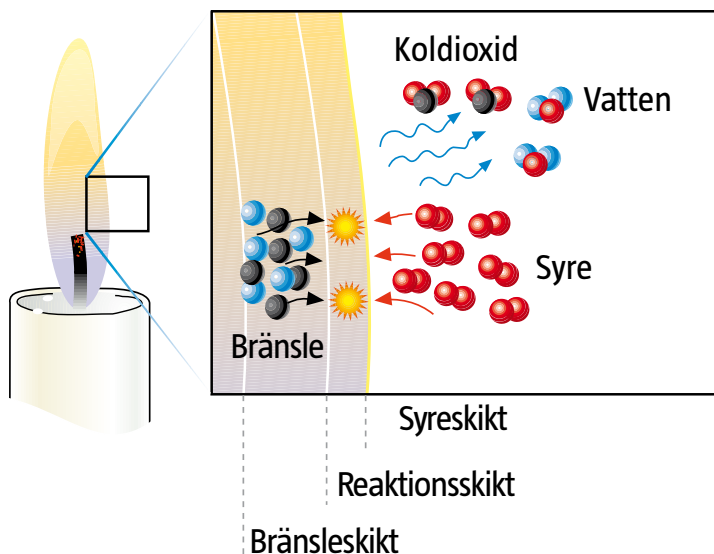
Vi beskriver först diffusionsflammorna, eftersom de är vanligast vid den normala rumsbranden. Därefter behandlas förblandade flammor.

### 3.2.1 Diffusionsflammor\*

Ett brinnande stearinljus kan användas för att förklara grundläggande förbränningsprinciper. Bränslet utgörs av det smälta stearinet i stearinljusets flytande lilla pöl. Bränslet sugs upp i veken där det övergår till gasfas. Stearinljuset är ett vanligt exempel på diffusionsflamma.

\* Det här avsnittet bygger på Julia Ondrus bok Brandteori.1

Två olika typer av flammor kan uppstå om brandgaserna antänds; förblandade flammor och diffusionsflammor.



Figur 31. Stearinljus, bränsleskikt och syrerikt skikt.

Värmen från flammen gör att stearinet smälter, men den är inte tillräcklig för att förånga det. Stearinet måste därför förflyttas genom veken till flamområdet, där temperaturen är högre. De komplexa kolväten (långa kolkedjor) som stearinet består av bryts ner till enklare beståndsdelar i mitten av stearinljusets flamma.

Bränslemolekylerna transporteras till reaktionsskiktet. Reaktionsskiktet kallas ibland *förbränningszonen*. Där blandas bränslemolekylerna med syremolekyler från den omgivande luften. Denna transport kallas *diffusion* och innebär ett transportförlopp där två eller flera gaser blandas.

När bränslet och syret har blandats i en viss proportion till varandra och är tillräckligt varma för att antända sker en *exoterm kemisk reaktion*. Uttrycket "exotermisk" betyder att något sker under värmeutveckling. En sådan reaktion avger energi. Energin används till att värma upp de produkter som bildas vid reaktionen. Syret och bränslet fortsätter diffusionsprocessen mot reaktionsskiktet. En kontinuerlig diffusionsflamma uppstår.

Flammans synliga lysande del består av värmestrålning från glödande sotpartiklar. Vid oxidationen i reaktionszonen bildas främst koloxider (koldioxid och kolmonoxid), vatten och värme. Den inre delen av flammen, som är fylld med

bränslemolekyler, innehåller för lite syre för att förbränning ska kunna äga rum där. Den bränslerika atmosfären är alltså inte själv brännbar. Förbränningen sker i stället i periferin, där bränsle och syre har diffunderat in i varandra. Reaktionsskiktet är det ställe där de är sammanblandade i rätt proportion till varandra. I detta tunna skikt är bränsle och luft väl blandat.

Diffusionsflammar är oftast gula, vilket beror på att de bildar sot. Förblandade flammar har inte samma tendens. Det bör dock tilläggas att det finns diffusionsflammar som inte sotar så mycket. De liknar därför förblandade flammar.

Diffusionsflammar utmärker sig genom att förbränningen sker med ungefär samma hastighet som bränslegas och syre från luften diffunderar i varandra. En diffusionsflamma är resultatet av en förbränningsprocess där bränslemolekyler blandas med syre genom laminär (jämsides) och/eller turbulent (virvlande) inblandning. Då uppstår laminära respektive turbulenta diffusionsflammar. Turbulens gör att blandningsprocessen påskyndas.

#### *Laminära diffusionsflammar*

När ett stearinljus brinner uppstår en typisk diffusionsflamma, där bränsle och syre från luften strömmar jämsides med varandra med låg hastighet. Sammanblandningen sker laminärt och förbränningen i reaktionsskiktet blir jämn. Om diffusionen sker långsamt, behöver syret och bränslet blandas under en längre tid för att kunna brinna. På liknande sätt kan brandspridning i byggnader ske. Långt från den ursprungliga brandkällan kan en brännbar blandning av bränsle och syre uppstå och antända.

#### *Turbulenta diffusionsflammar*

Följande exempel utgår från en gasbrännare. Om hastigheten på bränslet ökas kommer flammen så småningom att övergå från att vara laminär till att bli turbulent. När hastigheten hos det utströmmande bränslet blir högre än inblandningen av syre från luften sker sammanblandningen i virvlar. Det kallas för turbulent inblandning. Inblandningen av syre sker även här genom diffusion, men förbränningen blir ojämn

Alla naturliga flammor är egentligen diffusionsflammar; de är beroende av diffusionen. De flammor som räddningstjänstpersonalen hanterar är i de flesta fall diffusionsflammar.



*Figur 32. Laminär diffusionsflamma till vänster. Turbulent diffusionsflamma till höger.*

och oregelbunden. Även om turbulens gör att förbränningshastigheten ökar, är förbränningshastigheten hos en turbulent diffusionsflamma mycket lägre än hos en förblandad flamma.

Turbulenta flammor karakteriseras av

- oregelbunden virvelrörelse
- snabb diffusion
- tunt och oregelbundet reaktionsskikt

Turbulenta flammor åtföljs, till skillnad från laminära, ofta av ljud och snabba förändringar i utseendet. Turbulensen kan ske i alla gasformiga medier.

Diffusionsflamman uppstår i gränsskiktet mellan bränsle och luft. Man kan därför inte använda brännbarhetsgränser

Vid de flesta bränder utgörs flammorna av turbulenta diffusionsflammar.



*Figur 33. Flammor på undersidan av brandgaslagret.*



Figur 34. En hög koncentration av bränsle högt upp, leder så småningom till att flammorna kommer på undersidan av brandgaslagret.

för att beskriva en diffusionsflamma, eller begrepp som mager och fet, som är förknippade med förblandade flammor, för att beskriva en diffusionsflamma.

När ett brandgaslager börjar brinna är det nästan alltid fråga om diffusionsflammar.

Vid brand i ett rum uppstår i många fall ett brandgaslager som inte är homogent. Detta kan t.ex. bero på att det skett en kraftig pyrolys av takmaterialet. Syrehalten blir då mycket låg precis under taket. Koncentrationen av bränsle blir inte heller jämnt fördelad i hela brandgaslagret. Syret måste då diffundera in i bränslet för att det ska kunna uppstå förbränning (se figur 33).

### 3.2.2 Förblandade flammor

Utgångspunkten för vår diskussion är att brandgaser har fyllt ut ett utrymme. Gasmassan är förblandad och befinner sig inom brännbarhetsområdet. Med *förblandad* menas att bränslet är jämnt fördelat och blandat med luft. När lagret börjar brinna uppstår förblandade flammor. Detta avsnittet kommer att beskriva begrepp som brännbarhetsgränser och förbränningshastighet. För att beskriva förblandade flammor använder vi oss av reaktionsformler, som ett bra sätt att ge exempel på blandningar.

Ett brandgaslager innehåller olika ämnen i gasfas, av vilka vissa kan vara brännbara. Men för att ge en enkel beskrivning av *brännbarhetsgränser* diskuteras först vad som händer vid antändningen av en gasmassa som enbart består av bränsle och luft (se figur 35 och 36).



Figur 35. Förblandad flam-  
utbredning i "akvariet".  
Akvariet används för att  
demonstrera brännbar-  
hetsområden för olika  
gaser. Vanligast är att man  
använder gasol och luft.



Figur 36. Brandgaser har  
läckt in i angränsande  
utrymme. Detta är ett  
brandscenario där för-  
blandade flammor kan  
uppstå.

### Brännbarhetsgränser

För att en förblandad gasmassa ska kunna brinna krävs att bränslekonzentrationen ligger inom vissa gränser, så kallade *brännbarhetsgränser*. Området mellan den undre brännbarhetsgränsen och den övre brännbarhetsgränsen kallas *brännbarhetsområde*. Brännbarhetsområdets storlek är ämnesberoende; olika ämnen har olika stora brännbarhetsområden.

Tabell 3 på nästa sida visar brännbarhetsgränserna för några olika gaser. Principen för brännbarhetsområdet är densamma oavsett om man beaktar en ren gas eller pyrolysgaserna från ett fast ämne. Värdena är uppmätta i samband med försök. Det är också möjligt att beräkna dessa värden och hela beräkningsgången finns på sidan 178.

Som tabellen visar varierar brännbarhetsområdet avsevärt beroende på vilken gas som är aktuell.



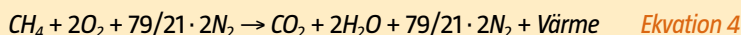
Gaser	Undre brännbarhetsgräns		Övre brännbarhetsgräns	
	Vol %	g/m <sup>3</sup>	Vol %	g/m <sup>3</sup>
Kolmonoxid	12,5	157	74	932
Vätgas	4,0	3,6	75	67
Metan	5,0	36	15	126
Etan	3,0	41	12	190
Propan	2,1	42	9,5	210
Butan	1,8	48	8,4	240
Pentan	1,4	46	7,8	270
Hexan	1,2	47	7,4	310

Tabell 3. Brännbarhetsgränserna för olika gaser.<sup>11</sup>

## Stökiometrisk förbränning

Frågan är varför ett ämne bara kan brinna inom vissa brännbarhetsgränser. I exemplen nedan används det enkla kolvätet metan. Att metan är en ren gas saknar betydelse här. Det kommer senare att visa sig att det lika gärna skulle kunna röra sig om en blandning av en mängd olika gaser, som kan finnas i ett verkligt brandgaslager. Utgångspunkten är att den förblandade gasmassan håller rumstemperatur.

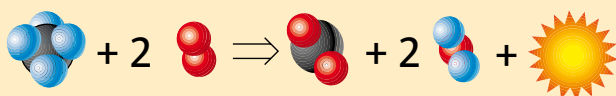
I ekvationen nedan förutsätts en stökiometrisk förbränning av gasmassan. Det bildas alltså bara koldioxid och vatten. Allt syre används i förbränningen, vilket i ekvation 4 nedan innebär att det inte finns några fria syremolekyler på högersidan.



Om blandningen är stökiometrisk blir temperaturen hög. Detta beror på att den energi som utvecklas används till att värma upp ett fåtal produkter. Den högsta temperatur som kan uppnås kallas *adiabatisk flamtemperatur* och betecknas  $T_f$ . Då används all energi som utvecklas till att värma upp produkterna.

### De övre och undre brännbarhetsgränserna

I tabell 4 är  $T_f$  är den adiabatiska flamtemperaturen vid den undre brännbarhetsgränsen.  $\Delta H_c$  är den energimängd som omvandlas vid förbränning av en mol av bränslet och  $C_p$  är gasens värmekapacitet. Det har visat sig, experimentellt, att produkterna måste uppnå ca 1500–1600 K.



Figur 37. Fullständig förbränning (kvävet utelämnat).

Ämne	$\Delta H_c$ (kJ/mol)	$C_p$ (J/mol · K)	$T_f$ (K)
Metan	800	81,3	1 600
Kolmonoxid	283	33,2	1 600
Koldioxid	0	54,3	0
Vatten	0	41,2	0
Kväve	0	32,7	0
Syre	0	34,9	0

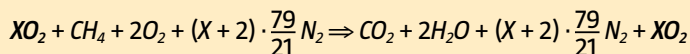
Tabell 4. Materialdata för några olika ämnen.<sup>11</sup>

(1 300 C) för att förbränningen ska kunna fortgå. Detta innebär att den adiabatiska flamtemperaturen vid den undre brännbarhetsgränsen är ca 1 500–1 600 K.<sup>11</sup>

Vid stökiometri (idealisk blandning) är den adiabatiska flamtemperaturen ett par hundra grader högre än vid den undre brännbarhetsgränsen. Vid den övre brännbarhetsgränsen har det också visat sig, teoretiskt, att temperaturen ska uppgå till ca 1 600 K för att förbränningen ska kunna fortgå.<sup>11</sup> Det bör dock tilläggas att den adiabatiska flamtemperaturen är något ämnesberoende; i nedanstående beräkningar tas dock ingen hänsyn till detta.

Sambandet  $\Delta H_c = \Sigma (C_p \cdot \Delta T)$  kan användas för att räkna ut hur många grader ( $\Delta T$ ) en gasmassa med värmekapaciteten  $\Sigma C_p$  uppvärms, om energin som utvecklas vid reaktionen är  $\Delta H_c$ . Här antas att all energi som utvecklas ( $\Delta H_c$ ) används för att värma upp reaktionsprodukterna. Ingen hänsyn tas till möjliga förluster till omgivningen, och temperaturhöjningen kan därmed sägas vara adiabatisk temperaturhöjning. Adiabatisk innebär inga värmeförluster. I verkligheten finns givetvis förluster.

När man ska beräkna den undre brännbarhetsgränsen utgår man från antagandet att produkternas temperatur måste uppnå 1 600 K för att förbränningen ska kunna fortgå. Ekvation 5 innehåller ett överskott av luft på båda sidor.



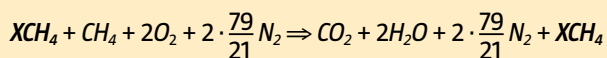
*Ekvation 5*

X symboliserar ett luftöverskott. Detta överskott verkar som en termisk barlast och tar upp en del av värmets utvecklings (flammorna kyls).

Ekvation 5 är förenklad jämfört med verkliga förhållanden. I själva verket sker ett stort antal reaktionssteg på vägen mot högerledet. Koldioxid och vatten bildas inte förrän i sista reaktionssteget.

Samma metod används för att lösa ut den övre brännbarhetsgränsen. I detta fall finns det ett överskott på bränsle. Detta överskott av bränsle måste också värmas upp till ca 1 600 K. 1 600 K har teoretiskt visat sig gälla även vid den övre brännbarhetsgränsen. Detta extra bränsle kan likställas med en termisk barlast och fungerar egentligen som ett släckmedel. Det extra bränslet tar också upp energi. Ekvation 6 blir i detta fall enligt nedanstående. Det bör tilläggas att reaktionerna är mycket mer komplexa än vad som visas här, men för att underlätta förståelsen används detta förenklade uttryck. I verkligheten bildas t.ex. C, CO, C<sub>2</sub> och H<sub>2</sub><sup>o</sup>. I vissa fall genomgår flera hundra delreaktioner för att nå fullständig förbränning.

X står här för det extra bränsle som finns med. Ekvationen balanseras och vi lägger till XCH<sub>4</sub> på båda sidor för att symbolisera ett fritt antal metan molekyler.



*Ekvation 6*

### Temperaturens inverkan på brännbarhetsgränserna

I beräkningsexemplet på sid. 58 behandlades en gasmassa som från början höll ungefär rumstemperatur. Brännbarhetsgränserna ändras när gasmassans temperatur höjs.

Temperatur °C	Undre brännbarhetsgränsen
27	5,7%
127	5,2%
227	4,8%
327	4,3%
427	3,8%

Tabell 5. Temperaturens inverkan på undre brännbarhetsgränsen för metan.

Den undre brännbarhetsgränsen sjunker med högre temperatur. Mindre energi behöver frigöras vid förbränningen för att gasmassan ska antända och brinna med flamma. Detta innebär indirekt att en mindre mängd bränsle behövs för att förbränningen ska kunna fortgå.

Temperaturen är mycket betydelsefull när man uppskattar faran för att brandgaslagret ska kunna antändas. Ju högre temperatur desto mer pyrolysgaser har bildats och därmed har antändning underlättats. Att brännbarhetsområdet har vidgats är oftast av mindre betydelse.

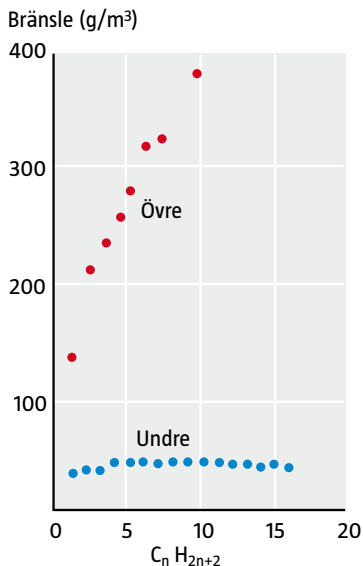
### Brännbarhetsgränser för gasblandningar

Hittills har vi diskuterat en gas eller ett ämne. I ett brandgaslager finns dock många olika gaser. Principerna för brännbarhetsgränser gäller även gasblandningar.

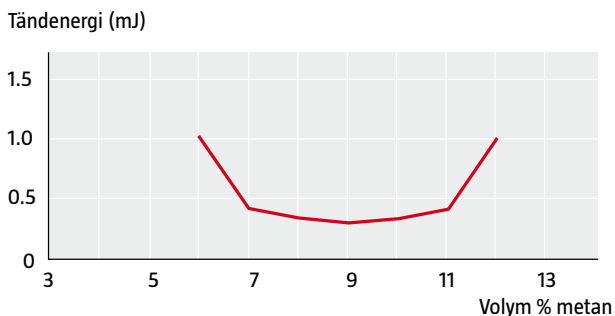
Rena kolväten, t.ex. metan och propan, är specialfall. Mängden bränsle, angiven i g/m<sup>3</sup>, som behövs för att gaserna ska antändas är nästan oberoende av molekylvikten. Figur 38 nedan visar undre och övre brännbarhetsgränserna för kolväten med olika molekylvikt. Det syns tydligt att den undre brännbarhetsgränsen är nästan konstant för de flesta kolväten.

Den övre gränsen varierar däremot kraftigt med molekylvikten av kolvätet (se figur 38).

För vissa ämnen har stökiometrin kraftigt förskjutits i



Figur 38 (till vänster). Brännbarhetsgränsernas variation med molekylvikten;  $n$  är ett heltal. För metan är  $n = 1$ .



Figur 39 (till höger). Mängd tändenergi som krävs för metan.

riktning mot den undre brännbarhetsgränsen. Detta beror på att luften och det aktuella bränslet kan ha mycket olika värmekapacitet (termisk barlast). Detta medför att brännbarhetsgränserna påverkas. Givetvis påverkar också ämnets energiinnehåll. Överskottsluft eller överskottsbränsle kan bara tolereras till en viss nivå. När denna mängd bränsle/luft överskrids sjunker temperaturen under 1 600 K och flammorna slocknar.

Figur 38 visar att den undre brännbarhetsgränsen ligger nästan konstant för de flesta kolväten, ca  $50\text{g/m}^3$ . Ett brandgaslager innehåller en mängd andra produkter, så det kan inte direkt konstateras att  $50\text{g/m}^3$  alltid är ett rimligt värde. Den undre brännbarhetsgränsen kan variera från ca  $50\text{g/m}^3$  till upp till flera hundra  $\text{g/m}^3$ .

### Tändenergi

Nedan antas att en gasmassa ligger innanför brännbarhetsområdet. Luft och bränsle finns således i brännbara proportioner. En tredje komponent, en tändkälla, krävs för en antändning. Den energimängd som behövs för att antända gasmassan varierar inom brännbarhetsområdet för metan, enligt figur 39.

Vid stökiometri behövs lägst mängd energi, vilket förklaras

med att energin som tillsätts enbart går åt till att värma upp produkterna koldioxid och vatten. Vid den undre brännbarhetsgränsen går energin också till att värma upp överskottsluft. Vid den övre brännbarhetsgränsen går energin delvis åt till att värma upp överskottsbränsle.

Det är svårt att uppskatta den kritiska gnistenergin. Generellt kan sägas att gnistor som uppkommer när man trycker på ljusknappen i ett rum, eller gnistor från ljusrör, är tillräckliga för att tända en gasblandning

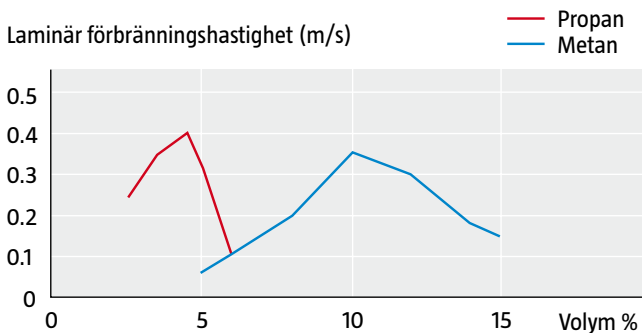
En annan typ av antändning är spontan antändning eller självantändning. Då antänds det brännbara mediet, t.ex. en gasblandning, genom en spontan process. För ett och samma medium är självantändningstemperaturen alltid högre än antändningstemperaturen vid påtvingad antändning. Självantändning är vanlig i temperaturer mellan 500 och 600°C<sup>1</sup>. Men det är sällan gaserna självantänder i verkliga situationer. Observera att vi inte berör fenomenet självantändning i fasta material som är en delvis annan process.

#### Förbränningshastighet och flamhastighet

Under förutsättning att gaserna är förblandade kommer den laminära förbränningshastigheten att variera beroende på var någonstans inom brännbarhetsområdet blandningen befinner sig. Den laminära förbränningshastigheten är den hastighet med vilken den kalla oförbrända gasen rör sig in i flammen. Detta begrepp är något diffust eftersom man inte "ser" denna hastighet.

Om blandningen ligger nära de yttre brännbarhetsgränserna kommer förbränningshastigheten att bli relativt lång-

Flamhastighet är den hastighet som flammen rör sig framåt med.



Figur 40. Förbränningshastighetens variation uppskattat i vol%. Som bilden visar så är hastigheten mycket lägre vid gränserna.

sam. Ligger blandningen nära stökiometri sker förbränningen snabbare eftersom mer energi frigörs. Det är dock inte så att förbränningshastigheten kommer att öka ju högre andel bränsle som finns i gasmassan, utan förbränningshastigheten når sitt toppvärde ungefär i närheten av stökiometri och sjunker sedan mot den övre brännbarhetsgränsen.

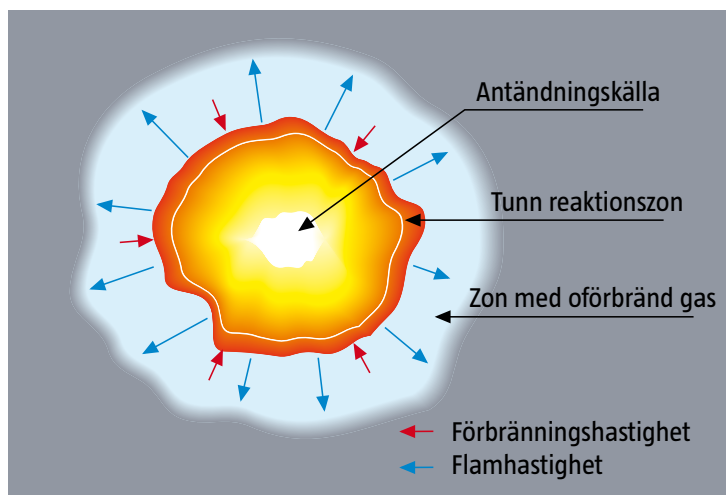
Figur 40 anger den laminära förbränningshastigheten för metan respektive propan. Förbränningshastigheten kommer att påverka tryckupbyggnaden i ett rum. Ju närmare stökiometri desto snabbare förbränning.

Om vi jämför utvecklad effekt vid undre brännbarhetsgränsen och stökiometri så utvecklas det mer energi vid stökiometri, eftersom fler procent bränsle förbränts. Detta leder till att förbränningshastigheten blir större vid stökiometri jämfört med undre brännbarhetsgränsen.

Liknande jämförelser kan göras vid stökiometri och den övre brännbarhetsgränsen. När vi hamnar på denna övre del i brännbarhetsdiagrammet så är det mängden syre som avgör hur mycket energi som kan utvecklas.

Ju mer rika på energi gaserna är desto snabbare blir förbränningshastigheten. Förbränningshastigheten ( $S_u$ ) är beroende av energiutvecklingen.

Vissa plaster har ett högt energivärde, vilket gör att brandgaserna kan innehålla mycket potentiell energi om förbränningen sker under underventilerade förhållanden. När



Figur 41. Flamutbredning i en förblandad gasmassa.<sup>12</sup>

brandgaserna sedan antänds kommer förbränningen att få ett hastigt förlopp. Detta har diskuterats i föregående avsnitt.

*Flamhastighet* eller *flamfrontshastighet* kallas den hastighet med vilken den tunna reaktionszonen, som visas i ovanstående figur, färdas genom en gasmassa. Denna uppskattas med utgångspunkt från en fix punkt, t.ex. antändningskällan i figur 41. Flamhastigheten är relaterad till den laminära förbränningshastigheten  $S_u$ .

### 3.2.3 Släckning av flammor

Vi har nu konstaterat att det finns olika sorters flammor, och att vissa gasmassor bara kan brinna under speciella betingelser. Vi har sett hur vissa flammor slocknar eller mer korrekt inte kan existera när förhållandet mellan bränsle och luft inte är det rätta längre. Samma sak gäller vid släckning. Det vi gör när vi släcker en brand är att vi tillför ett släckmedel (t.ex. vatten) som gör att flamman belastas termiskt. Detta brukar kallas *gasfasverkan*. Temperaturen sjunker då under den adiabatiska flamtemperaturen och flamman slocknar.

Man kan också diskutera kylning av själva bränsleytan när man talar om släckning. Det är vad som sker när man förhindrar pyrolys från själva materialet. De båda släckmekanismerna är avskilda men hör ändå ihop. När vi slår bort flambärden i närheten av ett material för vi ju bort återstrålningsmekanismen till bränsleytan, vilket innebär att vi både påverkar gasfasen och indirekt också bränsleytan.

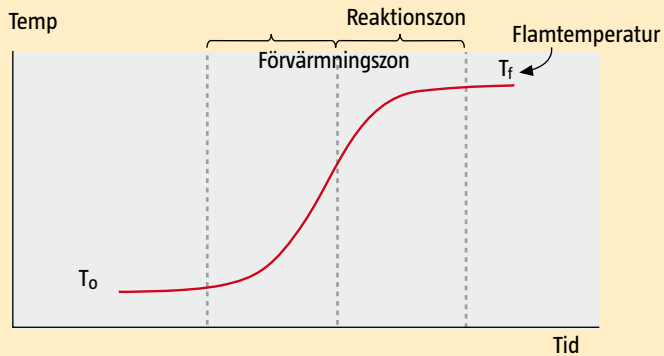
För nästan alla släckmedel uppnås släckverkan genom att man sänker temperaturen på flammorna eller på ytan av det brinnande materialet. Vid släckning med pulver reduceras t.ex. syrehalten i luften endast marginellt.<sup>13</sup>

Vatten är det vanligaste släckmedlet. Vatten släcker genom att kyla ner det brinnande materialet (ytverkan) till en temperatur, som är så låg att materialet inte längre avger tillräckligt med brännbara gaser. Vatten släcker också genom att vattenångan upphettas och tar energi från flammorna (gasfasverkan)<sup>14</sup>.



## Relationen mellan flamhastighet och förbränningshastighet

I praktiken är flamhastighet och laminär förbränningshastighet aldrig samma sak. Vid förbränning trycks flamfronten framåt pga. den expansion av varma gaser som sker, och produkterna värms upp bakom reaktionszonen (se figur 42). De varma produkterna kan inte expandera fritt utan är instängda bakom flamfronten. Expansionen kan ske mycket hastigt i vissa fall!



Figur 42. Förstoring av den tunna reaktionszonen i figur 41.

Sambandet mellan  $S_f$ , flamfrontshastigheten, och den laminära förbränningshastigheten,  $S_u$ , kan visas i en mycket förenklad ekvation. Flamfronten utbreder sig sfäriskt och de varma förbränningsgaserna bakom flamfronten kan inte expandera fritt.

Flödet antas vara laminärt vilket ger följande samband:

$$S_f = S_u \cdot E \quad \text{Ekvation 7}$$

där  $E$  är expansionsfaktorn.

$$E = (T_f/T_i)(N_b/N_u) \quad \text{Ekvation 8}$$

där  $T_f$  – Produkternas temperatur  
 $T_i$  – ursprungstemperaturen av de oförbrända gaserna  
 $N_b$  – summan av de produkter som finns efter reaktionen  
 $N_u$  – summan av de reaktanter som finns före reaktionen

$N_b/N_u$  varierar för många gaser men i de flesta fall ligger kvoten runt 1. Vi kan därför anta att

$$S_f = S_u \cdot (T_f/T_i) \quad \text{Ekvation 9}$$

Om turbulens påverkar systemet blir flammans yta större och  $S_u$  ökas med en faktor  $\beta$ . Ekvationen blir då:

$$S_f = S_u \cdot \beta \cdot (T_f/T_i)$$

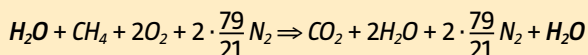
*Ekvation 10*

$\beta$  varierar beroende på inredning, öppningar m.m. eller användning av fläkt. Normala värden ligger mellan 1–5. Detta leder till att  $S_f$  blir ännu högre.

Det bör tilläggas att  $T_f$  är störst vid stökiometriska förhållanden. Detta medför att expansionsfaktorn är störst vid stökiometri, upp till ca 8, medan den kan sjunka till 5–6 vid brännbarhetsgränserna. Expansionsfaktorn i exemplet bygger på att gaserna har rumstemperatur. (Eftersom brandgaserna oftast är varmare än rumstemperaturen, blir expansionen ofta lägre.)

### Släckmekanismer – gasfasverkan

Reaktionsformeln i ekvation 11 nedan kan användas för att beskriva hur en flamma slocknar. När vi släcker en flamma med vatten tillför vi alltså vattenmolekyler på båda sidor i reaktionsformeln, vilket gör att flamtemperaturen sjunker och flammen slocknar. Reaktionen är den fullständiga reaktionen mellan metan,  $CH_4$ , och luft.



*Ekvation 11*

Vattnet (ånga) tar alltså energi från blandningen och sänker temperaturen till en nivå där flamförbränning är omöjlig.

## 3.3 Tryckförhållanden i öppna och slutna rum

Tryckförhållanden i både öppna och slutna rum kommer att behandlas i detta avsnitt. Det är tryckbildningen som styr hur brandgaser och luft rör sig genom de öppningar som alltid finns i en byggnad. Givetvis kommer tryckbildningen att skilja sig om det finns större öppningar i rummet jämfört med om rummet är så gott som stängt. Vi befinner oss fortfarande i det tidiga brandförloppet. Det spelar egentligen ingen roll

för våra exempel om branden är bränslekontrollerad eller ventilationskontrollerad. Det beror på att pyrolys av t.ex. takmaterial i vilket fall som helst kan leda till höga halter av oförbrända gaser, även om branden skulle vara bränslekontrollerad.

Det är mycket viktigt att kunna bedöma tryckbilden i ett utrymme. Tryckförhållandena är mycket viktiga eftersom de kommer att påverka resultatet av vår insats, speciellt vid ventilering men också vid släckning.

Vi koncentrerar oss på de tryckskillnader som har med branden att göra. Det är också viktigt att skilja mellan tryckskillnader och absoluta tryck. Atmosfäriska tryckförhållanden är en sak medan den tryckskillnad som uppstår över öppningar vid en rumsbrand är något helt annat.

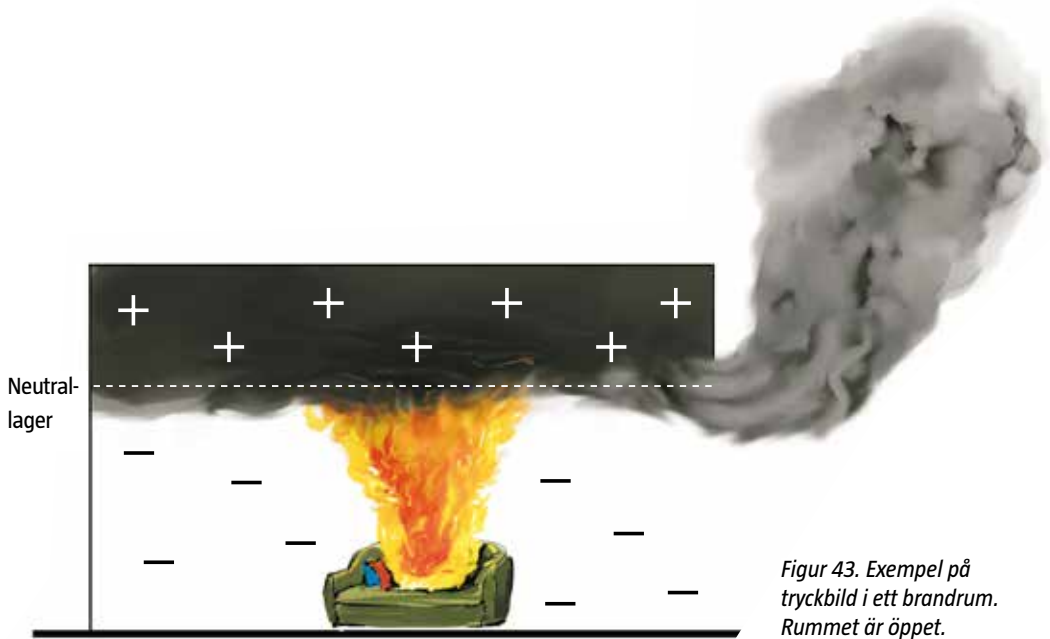
Flöden av gaser sker alltid från ett ställe med högre tryck till ett ställe med lägre tryck. Utflödet av brandgaser från ett brandrum och inflödet av luft till ett brandrum bestäms alltså av tryckskillnaden mellan brandrummet och omgivningen.

Tryck anges i enheten Pascal, Pa. Atmosfärens normala tryck är på 101300 Pa, eller 101,3 kPa. Som jämförelse kan nämnas att ett övertryck på 1 Pa motsvarar trycket från ett pappersark mot skrivbordsskivan. Vid ett övertryck på 100 Pa är det svårt att öppna dörren i ett rum. En glasruta som är 1 mm tjock och har ytan 1 m<sup>2</sup> splittras vid ett övertryck på mellan 1000 och 5000 Pa, beroende på konstruktion och infästning.

Det är fördelaktigt att dela upp de pådrivande tryckskillnaderna i två kategorier. Den första kategorin är det tryck som skapas av själva branden. Den andra är de normala tryckskillnader som alltid finns i en byggnad, eller mellan byggnaden och dess omgivning, och som vid en brand kan medverka till spridning av brandgaser.

Normala tryckskillnader kan indelas i tre typer:

- Tryckskillnader alstrade av temperaturskillnader mellan ute- och inneluft.
- Tryckskillnader alstrade av vindpåverkan.
- Tryckskillnader alstrade vid mekanisk ventilation.



Figur 43. Exempel på tryckbild i ett brandrum. Rummet är öppet.

Tryckskillnader som skapas av branden utgörs av två typer:

- Tryckskillnader som uppkommer till följd av förhindrad termisk expansion.
- Tryckskillnader som uppkommer på grund av brandgasernas stigitkraft.

Den relativa storleken hos dessa faktorer varierar, beroende på byggnaders utformning och läge, yttre påverkan m.m. Omständigheterna varierar kraftigt såväl inom byggnader som mellan olika byggnader, samt över tiden. Det är dock naturligt att de av branden skapade tryckskillnaderna dominerar i närheten av branden. När avståndet från branden ökar och brandgaserna kyls av dominerar de normala tryckskillnaderna allt mer.

Tryckskillnaderna orsakar ett flöde av brandgaser som ofta sprids snabbt till angränsande delar av byggnaden. Spridningen kan ske genom öppningar eller springor i tak, golv eller väggar, längs korridorer, uppför (och i vissa fall nerför) vertikala schakt för trappor, hissar eller ventilation, eller genom ventilationssystemets kanaler.

I den här boken koncentrerar vi oss på de tryckskillnader som orsakas av branden. Vi kommer att diskutera dessa ingående och därefter diskutera hur tryckbilderna ser ut i tre

skilda situationer, som vi ofta ställs inför när vi anländer till en brandplats.

De tre situationerna är:

1. Rummet är stängt eller nästan helt stängt.
2. Rummet är öppet, t.ex. genom dörr eller fönster.
3. Tryckuppbyggnad i rum vid antändning av en gasmassa.

Vi ska dock komma ihåg att de andra tryckskillnader som kan uppkomma, t.ex. av vinden, kan vara av samma storleksordning som de som skapas av branden. För en mer noggrann beskrivning av de olika tryckskillnaderna hänvisas till.<sup>7,8,15</sup>

Normalt finns ett visst läckage i brandrum vilket medför att trycket sällan blir mer än några tiotal pascal.

### 3.3.1 Förhindrad termisk expansion

När en brand uppstår i ett rum som är helt stängt kommer trycket att byggas upp. Det beror på att brandgaserna värms upp men hindras från att expandera. För små eller måttliga

#### Tryckuppbyggnad i ett slutet rum

Effektutvecklingen  $\dot{Q}$  från en papperskorg är konstant och ca 100 kW. Rummets volym  $V$  sätter vi till  $60 \text{ m}^3$ . Utgångspunkten vid beräkningen är av detta tryck är mass- och energibalansen för en avgränsad kontrollvolym. Observera att effekten  $\dot{Q}$  sätts kW. Vi utgår från en lufttemperatur på  $293 \text{ K}$  ( $20^\circ\text{C}$ ).  $\rho_a$  är luftdensiteten och sätts till  $1,2$ .  $C_v$  är specifik värmekapacitet vid konstant volym och sätts till  $0,7$ .

Vi använder ekvationen: 
$$\frac{(p - p_a)}{\rho_a} = \frac{\dot{Q}t}{V\rho_a c_v T_a}$$

Ekvation 12

$$\frac{(p - p_a)}{\rho_a} = \frac{\dot{Q}t}{V\rho_a c_v T_a} = \frac{(100 \cdot 1)}{60 \cdot 1,2 \cdot 0,7 \cdot 293} \Rightarrow \text{ca } 700 \text{ Pa}$$

Tryckökningen blir då ca  $700 \text{ Pa/s}$ . Efter 10 sekunder utsätts en fönsterruta på  $1 \text{ m}^2$  för en belastning av ca  $7 \text{ kN}$ , vilket under verkliga förhållanden mer än väl räcker för att glasrutan ska spricka.



Figur 44. Luft/brandgaser värms upp, expanderar och tar större plats, vilket medför att trycket ökar.

temperaturskillnader är dessa tryck små, men för bränder där temperaturen kan nå många hundra grader kan en sådan tryckskillnad få en avsevärd effekt, i synnerhet om branden utvecklas snabbt. Om brandens storlek är konstant kommer trycket att växa linjärt, dvs. det växer linjärt med tiden.

För att se storleksordningen av trycket kan vi undersöka en brand i en papperskorg i ett normalt kontorsrum.

Exemplet ovan bygger på att rummet är hermetiskt stängt, dvs. helt saknar öppningar. I verkligheten blir trycket sällan så högt att fönsterrutor splittras. Det beror på att de flesta utrymmen inte är helt täta.

Normalt finns ett visst läckage i brandrummet, till exempel i form av komfortventilation eller otätheter vid fönster och dörrar. Tryckökningen blir normalt därför endast något eller några enstaka tiotal pascal. I vissa fall kan trycket kanske uppgå till några hundra pascal.

Vid öppningsarean 1 m<sup>2</sup> blir övertrycket till följd av termisk utvidgning i storleksordningen 0,1 Pa, alltså mycket lågt. Detta innebär att tryckökningen till följd av förhindrad termisk utvidgning normalt kan försummas vid bränder i rum med normala fönsteröppningar. Tryckökningar i storleksordning några hundra pascal är vanliga vid normala rumsbränder.

Tryckökningen till följd av förhindrad termisk utvidgning kan normalt försummas vid bränder i rum med normala fönsteröppningar.

## Tryckkuppbyggnad i ett utrymme med läckageöppningar

Ett kort exempel får illustrera detta. Här förutsätts att läckageöppningen befinner sig på golvnivå (se figur 45). Den utströmmande luften har alltså samma temperatur som omgivningen. Värmeförlusterna till väggarna försummas, liksom ändringen i det adiabatiska arbete som utträttas vid tryckökningen.

Antag samma situation som i det förra exemplet, ett brandrum med volymen  $60 \text{ m}^3$  och en brand om  $100 \text{ kW}$ . Rummet är helt tillslutet, med undantag för en liten läckageöppning som är  $2 \text{ cm}$  hög och en meter bred, alltså  $200 \text{ cm}^2$  vilket är ett realistiskt exempel på läckagearea eller springa.

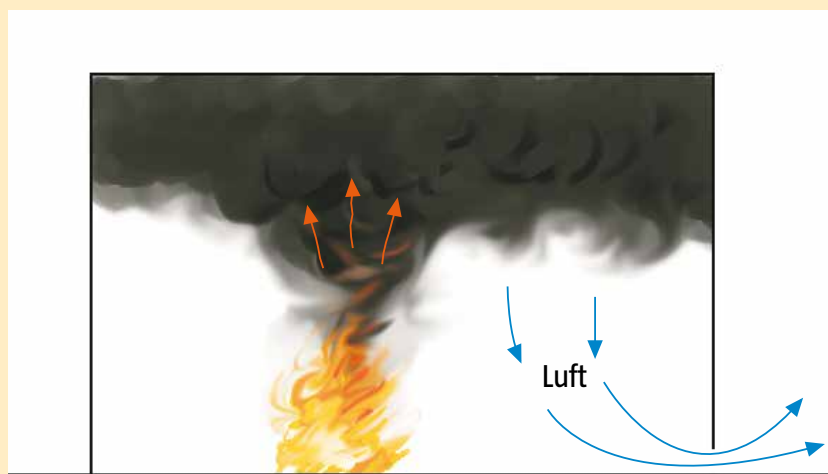
Vi använder ekvationen: 
$$\Delta p = \frac{(\dot{Q}/c_p T_e A_e)^2}{2\rho_e} \quad \text{Ekvation 13}$$

där  $c_p$  är specifik värmekapacitet vid konstant tryck,  $T_e$  temperaturen i den utströmmande gasen,  $A_e$  läckagearean och  $\rho_e$  densiteten hos den utströmmande gasen.

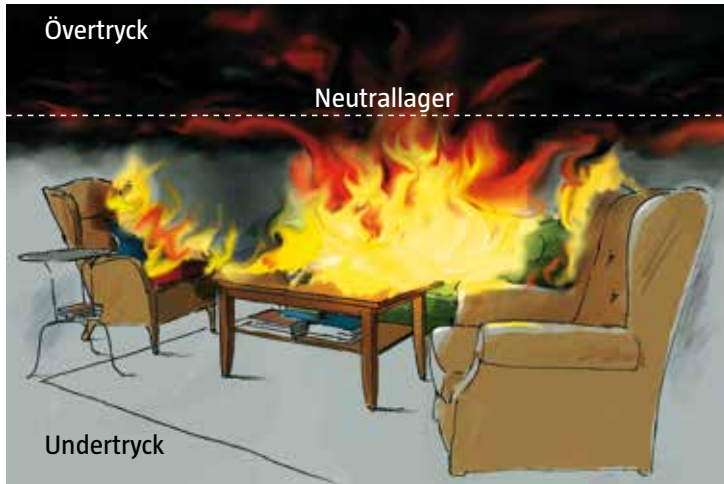
Insatta värden ger:

$$\Delta p = \frac{(\dot{Q}/c_p T_e A_e)^2}{2\rho_e} = \frac{(100/1 \cdot 293 \cdot 0,02)^2}{2 \cdot 1,2} \approx 120 \text{ Pa}$$

Den maximala tryckökningen blir då ca  $120 \text{ Pa}$ , något som de flesta fönsterrutor klarar av.



Figur 45.  
Läckage i  
golvnivå.



### 3.3.2 Termisk stigkraft

I ett brandrum uppstår tryckskillnaden på grund av uppvärmning av luften (brandgaserna). De varma gaserna har lägre densitet än omgivningens opåverkade luft och stiger därför uppåt i brandrummet. Vi talar i detta sammanhang om termisk stigkraft. Vi får ett övre varmt brandgaslager och ett undre lager som till största delen består av luft. Brandgasernas rörelse uppåt kan hindras när de når taket, men den termiska stigkraften finns kvar i gaserna, vilket påverkar tryckskillnaden över brandrummets öppningar.

Så länge brandgaserna har högre temperatur än den omgivande luften, och därmed lägre densitet, kommer de att stiga uppåt. Stigkraften tillsammans med den termiska expansionen gör att brandgaserna tränger ut ur högt belägna öppningar. Detta syns ofta tydligt i öppningar till brandrummet där frisk luft strömmar in genom öppningens nedre del och varma brandgaser strömmar ut genom den övre delen.

Brandgaser kyls av när de stiger uppåt eftersom kall luft blandas in i plymen. Det medför att brandgaserna i höga byggnader eventuellt inte når taket. På samma sätt kan brandgaserna sjunka mot golvet då de strömmar i en korridor och kyls av mot tak och väggar.

Flödet av brandgaser sker från ett högre tryck till ett lägre. Tryckskillnaden i den övre delen av rummet gör att brandgaserna sprider sig ut ur öppningarna där. Det är alltså ett

Figur 46 (till vänster). Tryckbilderna i ett normalt rum vid termisk stigkraft. I övre delen i rummet bildas ett övertryck i förhållande till utomhustrycket.

Figur 47 (till höger). Varm luft, liksom varma brandgaser, är lättare än kall och stiger därför uppåt (i normal fallet).

Flödet av brandgaser sker från ett högre tryck till ett lägre.



## Beräkning av termisk tryckskillnad

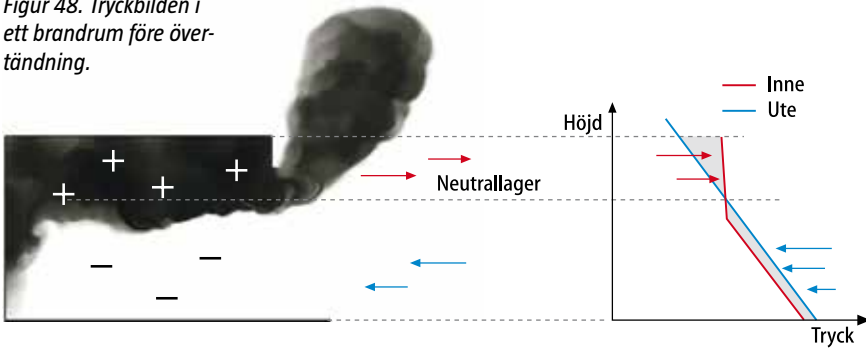
Vi betraktar ett brandrum med ett väl definierat brandgaslager som har den absoluta temperaturen  $T_g$  och vill beräkna den tryckskillnad som åstadkommer gasflödet i öppningen. Tryckbilden ges av figur 48. Räkнад från neutrallagret blir tryckskillnaden i öppningens plan på höjden  $h$

$$\Delta p = (\rho_a - \rho_g)gh$$

*Ekvation 14*

där  $\Delta p$  är tryckskillnaden,  $\rho_a$  är den omgivande luftens densitet,  $\rho_g$  är brandgasernas densitet,  $g$  är gravitationskonstanten och  $h$  är höjden från neutrallagret.

Figur 48. Tryckbilden i ett brandrum före över-tändning.



För att i ekvation 14 kunna införa experimentellt uppmätta temperaturer i stället för densitet som är svår att mäta, används allmänna gaslagen

$$\rho = \frac{pM}{RT}$$

*Ekvation 15*

Insatta värden  $p = 101,3 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$   
 $M = \text{ca } 0,029 \text{ kg/mol}$   
 $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$

Med typiska värden för tryck  $p$ , molmassa  $M$ , allmänna gaskonstanten  $R$  och temperaturen  $T$  uttryckt i Kelvin, kan uttrycket förenklas till

$$\rho = \frac{353}{T}$$

*Ekvation 16*

Detta uttryck kan användas eftersom brandgaser har ungefär samma fysikaliska egenskaper som luft. Genom att kombinera ekvation 14 och ekvation 16 kommer vi fram till ekvation 17 som kan användas för att beräkna tryckskillnaden.

$$\Delta p = 353(1/T_a - 1/T_g)gh$$

Ekvation 17

Antag en lokal med ett 1 m tjockt brandgaslager räknat från neutrallagret. Brandgaserna har temperaturen 200°C. Hur stor blir den termiska tryckskillnaden?

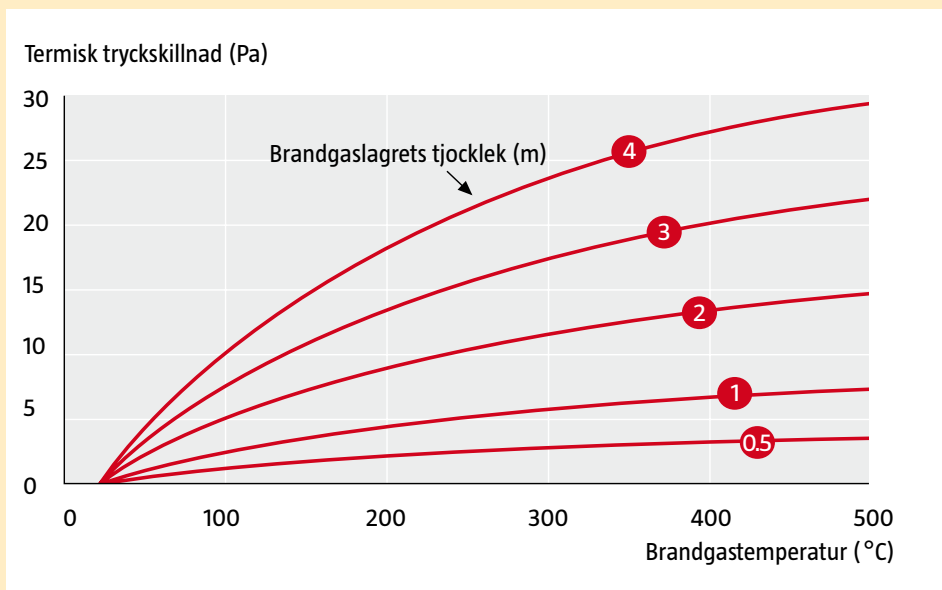
Tryckskillnad kan beräknas ur uttrycket  $\Delta p = \Delta \rho gh$ . Densiteten för luft med temperaturen 20°C är 1,2 kg/m<sup>3</sup>, och för brandgaser med temperaturen 200°C är densiteten 0,75 kg/m<sup>3</sup>. Detta ger en densitetsskillnad mellan luft och brandgaser om 1,2 – 0,75 = 0,45 kg/m<sup>3</sup>.

Räknat per meter brandgaslager med utgångspunkt från neutrallagret, alltså  $h = 1$  m, blir tryckskillnaden:

$$\Delta p = 0,45 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ N/kg} \cdot 1 \text{ m} = 4,5 \text{ N/m}^2 = 4,5 \text{ Pa}$$

Tryckskillnaden mellan utomhus- och inomhusluften är alltså 4,5 Pa en meter ovanför neutrallagret.

Hur tryckskillnaden varierar beroende på temperaturen i brandgaserna och brandgaslagrets tjocklek framgår av figur 49. Då brandgaslagret i normala lokaler kan bli upp till ett par meter tjockt innebär detta att den termiska tryckskillnaden skulle kunna bli upp till 15 Pa vid normala rumshöjder. Detta gäller alltså när brandgaserna har möjlighet att strömma ut ur rummet.



Figur 49. Hur den termiska tryckskillnaden varierar med brandgasernas temperatur och brandgaslagrets tjocklek räknat från neutrallagret.

övertryck i den övre delen i rummet jämfört med utomhus. Detta gör att brandgaser strömmar ut. Tryckskillnaden i nedre delen av rummet är negativ jämfört med utomhus. Det råder alltså undertryck och kall luft sugas in genom de nedre öppningarna. Någonstans mellan den övre och nedre delen är tryckskillnaden noll. Detta läge kallas neutrallagrets höjd.

### 3.3.3 Tryck i stängt eller nästan helt stängt rum

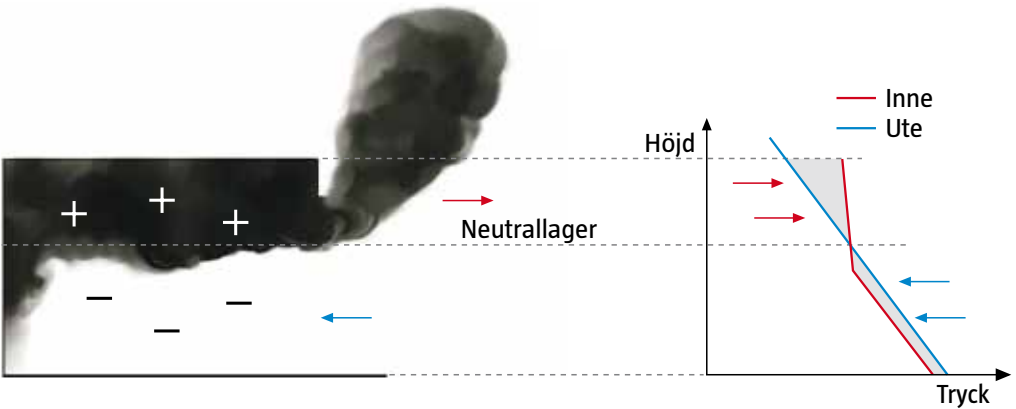
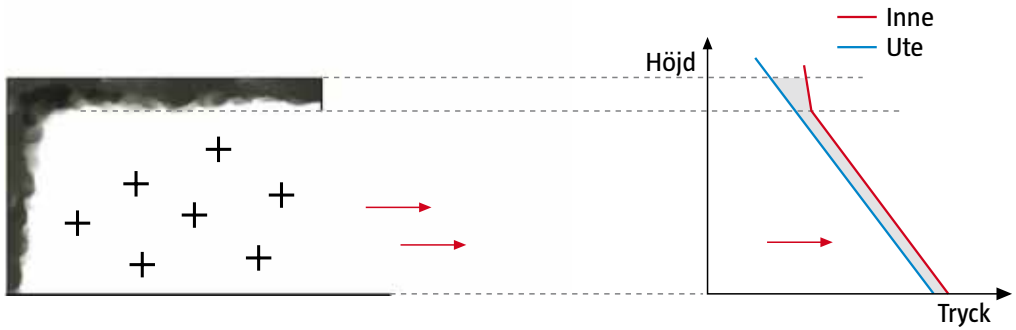
Som vi tidigare diskuterat så kommer trycket att bero på hur stora läckage som finns i rummet. Om rummet skulle vara helt tillslutet skulle trycket bli extremt högt och förstöra t.ex. fönsterrutorna. Detta sker inte under normala rumsbränder. Bostäder har ju normala läckageareor.

Man brukar räkna läckageareor som normala vid värden på  $1,25 \text{ cm}^2/1\text{m}^2$  omslutningsyta.<sup>16</sup> Detta innebär normalt att trycket på grund av förhindrad expansion maximalt uppgår till några hundra pascal, oftast är det ännu lägre, i storleksordning enstaka tiotal pascal.

Trycket på grund av förhindrad termisk expansion uppgår maximalt till några hundra pascal.



Figur 50. Termisk expansion i ett bostadsrum.



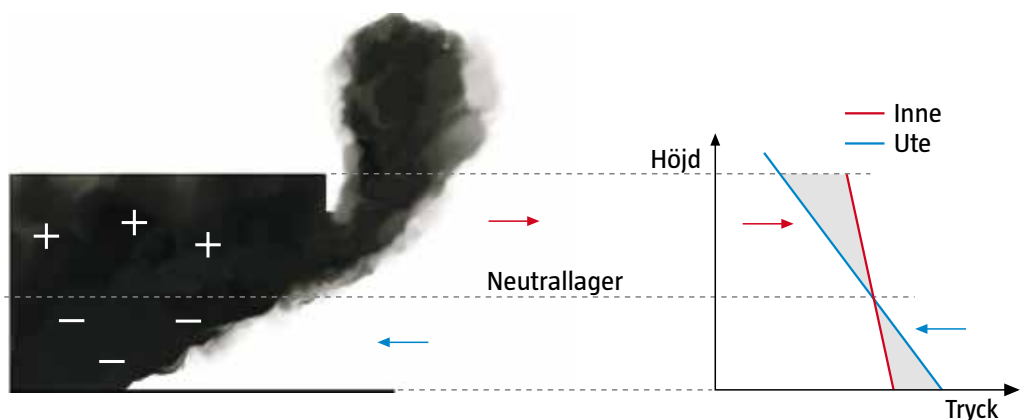
Figur 51 (överst). Tryckförhållandena i ett brandrum när det fortfarande är övertryck i hela rummet kännetecknas av att tryckkurvan "Ute" ligger till vänster om "Inne". Observera att inga brandgaser har läckt ut ur rummet ännu så länge.

Figur 52. Tryckförhållandena i ett brandrum med en tydlig tvåzonsskiktning och ett tydligt neutrallager. Ovanför neutrallagret finns ett övertryck dvs. gaserna strömmar ut genom rummet. Nedanför neutrallagret finns ett undertryck vilket medför att luft strömmar in i rummet.

### 3.3.4 Tryck i öppet rum

En brands tillväxt inomhus ger normalt en tvåzonsskiktning med ett varmt övre brandgaslager och ett kallt nedre luftlager. Lagren är normalt stabilt skiktade på ett visst avstånd från golvet. Observera att tryckkurvan för utomhusluften har en negativ lutning dvs. det atmosfäriska trycket minskar ju längre upp i atmosfären vi kommer.

I brandens inledning råder övertryck i hela rummet. Finns en öppning kommer att luft pressas ut genom hela öppningen vilket beror på den tryckökning som branden skapar. Ganska snart når brandgaslagret ner till öppningens underkant och



Figur 53. Tryckbilden i öppningen till ett helt brandgasfyllt eller övertänt brandrum.

brandgaser börjar att strömma ut. Samtidigt fortsätter den termiska expansionen att pressa ut kall luft och det är fortfarande övertryck i hela rummet.

Eftersom bränder normalt inte upptäcks förrän brandgaser börjat strömma ut ur brandrummet (såvida det inte finns brandvarnare eller automatiskt brandlarm) är det först nu räddningstjänsten larmas. De skeden som är mest intressanta för räddningstjänsten under en brand, blir de två följande:

I det första av dessa två skeden, se figur 52, ändras strömbilden så att kall luft börjar strömma in i brandrummet och ett neutrallager bildas. Neutrallagrets höjd, alltså den höjd där trycket i brandrummet är detsamma som omgivningens, visas i figuren.

Under neutrallagret är det undertryck och ovanför neutrallagret är det övertryck jämfört med omgivningen. Hur stor tryckskillnaden är beror bland annat på gastemperaturen.

En fullt utvecklade brand visas i figur 53. Rummet är helt fyllt av brandgaser eller övertänt och tryckkurvorna utgörs av två räta linjer. I nedre delen av rummet är det undertryck och i övre delen av rummet är det övertryck.

### 3.3.5 Tryckupbyggnad i rum vid antändning av brandgaserna

Detta avsnitt behandlar det tryck som uppstår då en gasblandning antänds inne i ett relativt slutet utrymme. Tryckförändringar kan inträffa på olika stadier i ett brandförlopp, inte bara under det tidiga brandförloppet. Avsnittet innehåller också information om byggnadsdelars tålighet mot tryck. Antändning



av brandgaser kan ske i själva brandrummet men också i andra utrymmen, dit brandgaser har läckt.

Tryckuppbyggnaden beror på att gasernas volym ökar då antändning sker. Volymökningen skapar en snabb tryckökning.

*Figur 54 (till vänster).  
Tryckökning vid antändning.*

*Figur 55 (till höger).  
Brandgaserna breder ut sig i rummet.*

#### *Skillnader mellan förblandade och icke förblandade gasmassor*

Om en explosion inträffar i ett stängt utrymme kommer ett tryck att alstras inne i rummet. Detta beror på att gasmassan expanderar när reaktionen utvecklar energi. Om det inte finns några öppningar eller om öppningarna är mycket små, kommer trycket att stiga i rummet. Även om det finns större öppningar är de kanske inte tillräckliga för att tryckavlasta rummet.

Tidigare i detta kapitel har diskuterats hur olika gasblandningar kan användas. Förbränningshastigheten varierar, beroende på olika faktorer. Om gasmassan är förblandad kommer expansionen av gasen att gå mycket snabbt. En förblandad gasmassa sprider flammen med en hastighet av  $\approx 3\text{--}5\text{ m/s}$ .<sup>10</sup> Detta kommer att orsaka en snabbare expansion än om en diffusionsflamma skulle sprida sig i brandgaslagret. Man kan beräkna hur mycket trycket kommer att öka i rummet beroende på hur tillslutet det är. Ju större öppningarna är desto mindre blir tryckuppbyggnaden. Observera att flamutbredningen och tryckökningen sker mycket snabbt, ibland på en sekund, vid antändning av en förblandad gasmassa.

I nedanstående exempel belyses tryckskillnaden mellan en förblandad flamma och en diffusionsflamma.

I ett rum antas en viss volym brandgas finnas (se schematisk figur 55). Gasen antänds och trycket beräknas för olika öpp-

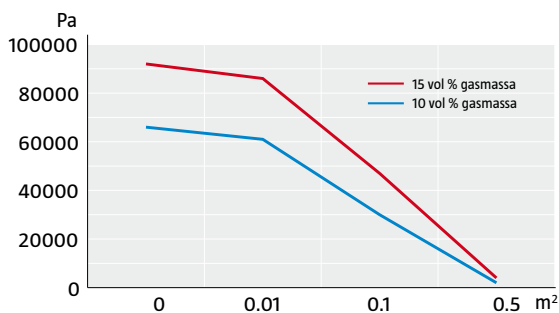
ningsareor. Gasmassan expanderar mellan 5 och 8 gånger när den tänds. Detta förutsätter att brandgaserna är relativt kalla från början. Detta blir en kraftig tryckökning om det inte finns några öppningar. Normala läckage finns dock nästan alltid.<sup>17</sup>

Vi antar nu att gasmassan är förblandad, vilket innebär att flamhastigheten är i storleksordningen 3–5 meter per sekund. Flamman kommer att sprida sig över hela rummet på ungefär en sekund. Detta är givetvis grova antaganden, eftersom  $S_u$  (förbränningshastigheten) varierar kraftigt beroende på vilken typ av gas det gäller och var inom brännbarhetsområdet gasmassan befinner sig.

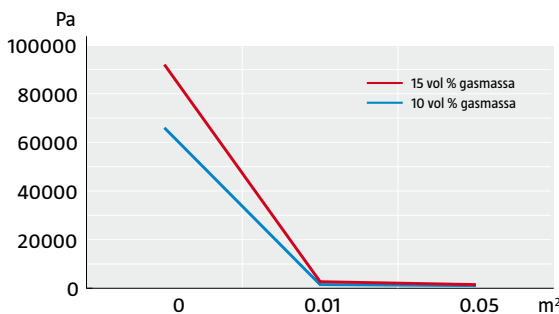
Först är gasmassan förblandad:

*Obs! Beräkningarna<sup>18</sup> kan bara ge en grov uppskattning av trycket i rummet och får absolut inte ses som några exakta resultat.*

Figur 56. Tryck som bildas om gasmassan är förblandad före antändning.



Figur 57. Tryck som bildas om gasmassan inte är förblandad före antändning.



Gasmassan brinner nu istället som en *diffusionsflamma*. Det tar ett antal sekunder innan gasmassan har brunnit av, beroende på olika faktorer. Ett grovt antagande görs som innebär att gasmassan brinner av på 5–6 sekunder, då rummet är 3 meter brett.

Figurerna ovan visar klart skillnaden mellan om gasmassan antänds som förblandad gasmassa eller som diffus-

ionsflamma. I figur 57 har beräkningar ej utförts för ”stora” öppningar, eftersom det visar sig att tryckökningen redan är så låg vid små öppningar.

Vid de flesta bränder är gasmassan inte förblandad. Om gasmassan vore förblandad skulle dörrar och fönster under normala rumsbränder tryckas ut. Sådan är inte verkligheten. Det är mycket sällsynt med lägenhetsbränder, där dörrar eller fönster har spruckit på grund av trycket. I kapitlen 4, 6 och 7 diskuteras i vilka situationer det kan vara realistiskt att anta att gasmassan är förblandad. Begreppet *deflagration* är förknippat med antändning av en förblandad gasmassa och används ofta i brandsammanhang.

Begreppet *brandgasexplosion* används ofta i brandsammanhang och innebär att en större brandgasvolym har blivit förblandad innan antändning sker. Ju närmare stökiometri blandningen befinner sig desto kraftigare blir tryckökningen. Detta beror på att flamfrontshastigheten är högre. *Explosion* kan definieras som ”En exoterm kemisk process, som när den äger rum vid konstant volym ger upphov till en plötslig och betydande tryckökning”. Ibland hör man diskussioner som ”branden spred sig explosionsartat”. Detta är ofta felaktigt.

#### *Trycktålighet hos olika byggnadskomponenter*

Några av de vanligaste kolvätena t.ex. metan och propan, kan vid stökiometriska blandningar orsaka tryck på upp till 8 bar om de antänds inne i ett slutet rum.<sup>12</sup> Inga byggnader kan stå emot ett sådant tryck, såvida de inte är specialkonstruerade för ändamålet. Vanligtvis kommer de klenaste delarna av byggnaden att ge vika och göra det möjligt för gaserna att passera ut. Detta kommer att minska tryckuppyggnaden. Det kan dock fortfarande vara så att ventilationsareorna är för små, vilket i sin tur medför att kraftigare byggnadsdelar kan ge vika.

Tabell 6 (nästa sida) visar vid vilka tryck olika byggnadsdelar förstörs.<sup>12</sup> Siffrorna för trycken nedan måste anses vara överslagsmässiga och beror på vilket material det rör sig om och hur experimenten har utförts. Glasrutors tålighet kan t.ex. variera mycket.



Tabell 6. Trycktålighet hos olika konstruktioner.

Typiska tryck vid vilka olika byggnadskonstruktioner förstörs		
Konstruktion	Tryck (mbar)	Tryck (Pa)
Glasfönster	20–70	2 000–7 000
Rumsdörrar	20–30	2 000–3 000
Lättväggar (trästomme och träskiva)	20–50	2 000–5 000
Dubbla gipsplattor	30–50	3 000–5 000
10 cm tegelvägg	200–350	20 000–35 000

### Detonation

I tidigare avsnitt har det diskuterats hur en deflagration kan uppstå vid antändning av en förblandad gasmassa, vilket resulterar i en mycket snabb flamspridning i gaserna. Det är möjligt för flammor att transporteras ännu snabbare, rentav snabbare än ljudet, under mycket speciella förhållanden. Detta kallas detonation. I en detonation orsakas reaktionen när gas och luft blandas av en kompression och upphettning av de gaser som följer efter en tryckvåg, även kallad chockvåg.

Chockvågen och flamfronten är sammankopplade och transporteras genom gas/luft- blandningen med hög hastighet. Hastigheten når ofta upp till ljudets hastighet. Trycket som alstras av en detonation är mycket komplext och kan bli så högt som 20 bar.<sup>12</sup> Detta tryck alstras på millisekunder. Vid en detonation minskar hastighet och täthet över reaktionszonen samtidigt som trycket ökar.

Detonationer inträffar nästan aldrig i samband med bränder. De detonationer som har inträffat sker när blandningar har befunnit sig i smala rör där förhållandet mellan längden och diametern är mycket stort. Då detonationer är sällsynta inom detta område behandlas de inte vidare i denna bok.

Detonationer förknippas oftast med explosiva material, exempelvis dynamit.

### 3.4 Sammanfattning

I många sammanhang kommer brandgaslagret att innehålla oförbrända produkter. Ju sämre ventilation desto större mängd oförbrända gaser. Detta tillsammans med en mängd pyrolysoxidprodukter från material som inte är i närheten av själva brandhärden gör att brandgaserna kan antändas.

Energin i brandgaslagret kan frigöras om proportionerna mellan bränsle och luft är riktiga, samtidigt som en tändkälla är närvarande. Om energin i brandgaslagret frigörs, dvs. om flammor uppstår, kommer strålningsnivån i rummet att öka kraftigt.

När brandgaslagret antänds kan det uppkomma flammor av två slag:

- *Diffusionsflammar, där syret diffunderar in i bränslet.*
- *Förblandade flammor, där bränslet och luften har blandats innan antändning sker.*

En diffusionsflamma uppstår i gränsskiktet mellan bränsle och luft. Vid de flesta inomhusbränder är det diffusionsflammar som vi ser.

Under en rumsbrand kommer olika tryckbilder att styra flödet av brandgaser. Det är viktigt att kunna känna igen tryckbilder, eftersom detta kommer att påverka insatsen. De tryck som skapas av branden är av två typer:

- Termisk expansion
- Termisk stigitkraft.

Tryckskillnaden till följd av förhindrad termisk expansion är oftast liten i normala byggnader, eftersom där finns ett visst läckage.

Om brandrummet har en stor öppning kommer flödet att styras av den termiska stigitkraften. Detta tryck är oftast i storleksordningen enstaka tiotal pascal men kan ändå påverka insatsen.

Om ett brandgaslager antänds inomhus kan ett högt tryck bildas. Om hela eller större delar av gasmassan är förblandad innan antändning sker, kommer tryckökningen att bli kraftig, om inte rummets öppningar är tillräckliga för att tryckavlasta

rummet. Det räcker med en liten volym av den totala rumsvolymen för att tryckökningen ska bli mycket stor. Ju större öppningsfaktorn är desto mindre blir tryckuppbyggnaden och ju mer energi gaserna innehåller desto högre blir förbränningshastigheten.

Förblandade förlopp orsakar ofta mycket farliga situationer och risken för brännskador och tryckskador är mycket stora.

Om diffusionsprocesserna dominerar i brandgaslagret kommer inte expansionen av gaserna att ske lika häftigt och förloppet är enklare att kontrollera; tryckökningen i rummet blir inte lika kraftig.

I brandsammanhang används ibland orden *mager* och *fet* för att beskriva brandgaslagrets sammansättning. Dessa begrepp förutsätter att gasmassan är förblandad vilket inte är fallet vid de flesta rumsbränder.

## Stanna upp och fundera!

1. I vilka brandsammanhang kan man använda orden *mager* och *fet*?
2. Vilket tryck kan teoretiskt bildas i ett brandrum om en förblandad gasmassa antänds?
3. Beskriv de olika kategorier av tryckskillnader som finns. Vilka skapas av branden?
4. Förklara skillnaden mellan olika typer av flammor.
5. Med vilken hastighet rör sig en förblandad flamfront?
6. Vad är en deflagration?
7. Vad är en detonation?
8. Begreppen bränslekontroll och ventilationskontroll används ofta i brandsammanhang. Vilken är skillnaden mellan dessa begrepp? Varför är det viktigt att veta om branden är bränslekontrollerad eller ventilationskontrollerad?
9. Vilka produkter bildas när det brinner?
10. Vilka ämnen kan man finna i ett brandgaslager?
11. Vilken faktor styr hastigheten på en diffusionsflamma?
12. Redogör för tryckbilden i ett öppet rum.
13. Redogör för tryckbilden i ett hermetiskt slutet rum och i ett relativt tillslutet rum (endast mindre läckage).
14. Vilken flamma dominerar vid den normala rumsbranden?
15. Fönster och dörrar tillhör normalt de klenaste komponenterna

- i en byggnadskonstruktion. Vilket tryck krävs för att dessa konstruktioner ska ge vika?
16. Ungefär hur stora tryckskillnader bildas i ett rum beroende på termisk stigningskraft? Vi förutsätter ett rum med takhöjden 2,4 meter.
  17. På vilket sätt påverkar det brinnande materialet brandförloppet? Spelar det någon roll om materialet som brinner är av plast eller trä?
  18. Hur tror du att bruket av tvåglas- och treglasfönster i bostäder har förändrat utvecklingen av rumsbranden?
  19. Balansera en reaktionsformel med propan och luft. Förklara hur det skulle vara möjligt att markera det extra syre och bränsle som finns då vi närmar oss brännbarhetsgränserna.
  20. Förklara varför en flamma inte kan existera utanför brännbarhetsområdet.



## Kapitel 4

# Övertändning

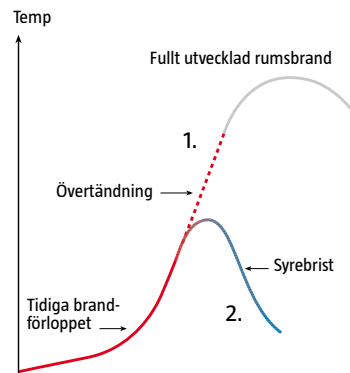
I detta kapitel beskrivs de mekanismer som leder till att en övertändning kan uppstå. Den grundläggande förutsättningen är att det finns tillräckligt med bränsle i förhållande till rummets volym. Branden ges möjlighet att utvecklas till övertändning genom att det finns öppningar i rummet. Kapitlet innehåller också en beskrivning av vad som sker i brandgaslagret vid övergången till den fullt utvecklade rumsbranden. Det är speciellt intressant att studera vilken typ av flamma som är involverad när fenomenet övertändning inträffar.

Vi befinner oss fortfarande vid brandförloppskurvans uppgång. Hittills har vi beskrivit brandens utveckling under det tidiga brandförloppet. Vi har inte tagit hänsyn till brandrummets öppningar utan antagit att branden fortfarande är bränslekontrollerad. Vi har i många avseenden varit inne på situationer som kan uppstå både om branden är bränslekontrollerad eller om den är ventilationskontrollerad, t.ex. vid antändningen av brandgaserna.

Vi har nu kommit till en situation där branden har spridit sig till olika föremål i rummet.

Men branden är fortfarande bränslekontrollerad. Det finns alltså fri tillgång till luft för fortsatt förbränning. Branden kan ta olika vägar. Den tidpunkt när ventilationskontroll inträffar varierar beroende på en rad faktorer. Nedanstående beskrivning gör inget anspråk på att vara fullständig eftersom förloppet kan utvecklas på många olika sätt. Figur 58 är därför schematisk och visar två grundläggande fall; situation 1 och situation 2.

Vi går nu vidare med att behandla situation 1. Branden har



Figur 58. Brandens olika förlopp.

1. Branden kan växa till övertändning. Brandrummet har då god tillgång på luft, vilket i princip innebär att det finns öppningar i rummet.

2. Om syrebrist uppstår i brandrummet kommer intensiteten att minska och temperaturen att sjunka, vilket kan leda till att branden själv-slocknar eller övergår till glödbrand.

*Figur 59. Branden har spridit sig till andra föremål i rummet. Snart är hela rummet involverat.*



fri tillgång på luft/syre och brandförloppet fortsätter. Värmen ökar i brandgaslagret och strålningen mot de nedre delarna i rummet kommer då att öka. Detta förlopp kommer att kunna accelerera och därmed leda till s.k. övertändning.

Övertändningar i byggnader är ibland orsaken till att människor omkommer, och det är därför viktigt att känna till vilka situationer som orsakar övertändningar.

När det tidiga brandförloppet övergår till övertändning finns det i princip inte längre några möjligheter för människor som befinner sig i byggnaden att överleva. Det är därför mycket viktigt att branden åtgärdas innan den når övertändning. Några få procent av alla rumsbränder resulterar i övertändning. Räddningstjänstpersonal måste därför ha grundläggande förståelse för de faktorer som påverkar rumsbrandens utveckling, dvs. de faktorer som gör att en brand växer mot övertändning.

#### **4.1 Definition av begreppet övertändning**

Begreppet övertändning har använts åtminstone under de senaste 40 åren. Definitionen har varit vag och under senare år har det uppstått olika tolkningar av begreppet. Begrepp som rollover, mager övertändning, spreadover och flameover har förekommit som ersättnings- och/eller kompletterings-

begrepp, utan någon enad struktur. Tyvärr innebär detta att det finns gott om utrymme för missförstånd. Det vore utomordentligt bra om alla kunde enas om samma definition (förslagsvis ISO-definitionen), som kan användas av alla, var-  
somhelst i världen, oavsett om man jobbar inom räddnings-  
tjänsten, inom försäkringsbranschen eller som konsult. Enas  
man om begreppet övertändning finns inte längre behov av så  
många andra termer. Undantaget är begreppen *backdraft* och  
*brandgasexplosion*, som beskrivs i kapitlen 6 och 7.

Många definitioner av begreppet övertändning är snarlika.  
Några av de vanligaste anges av den internationella standardi-  
seringsorganisationen (ISO) och av Fire Research Station, ett  
forskningsinstitut i England.

ISO-definitionen av *övertändning* lyder:<sup>19</sup>

*"The rapid transition to a state of total surface involvement in a fire of  
combustible materials within an enclosure"*

Definitionen kan dock göras mer detaljerad. Vi har därför valt  
att förtydliga den på följande sätt:

*"Under en rumsbrand kan det inträffa ett stadium där den termiska  
strålningen från branden, de varma gaserna och de varma omslut-  
ningsytorna orsakar att alla brännbara ytor i brandrummet pyroly-  
seras. Detta plötsliga och sammanhängande övergångsstadium av  
ökande brand kallas "övertändning".*

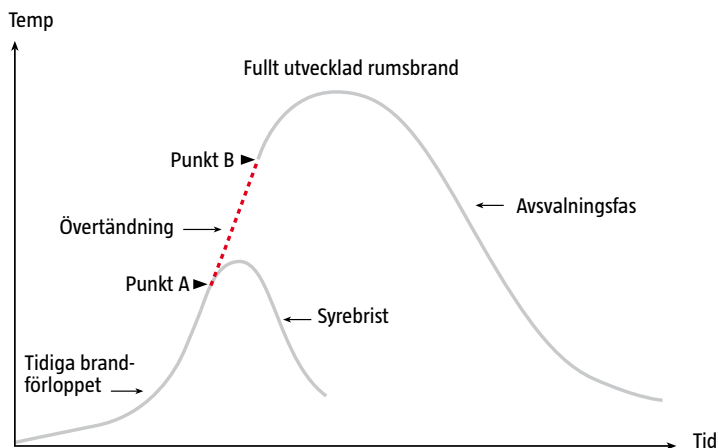
Denna definition är snarlik den som används t.ex. i England.<sup>20</sup>  
Av definitionen följer att övertändning inte klassificeras som  
en mekanism utan som en övergångsperiod, som är beroende  
av ett antal mekanismer som var och en bidrar till att initial-  
branden växer till den fullt utvecklade branden. Begreppet  
övertändning, vilket kallas "flashover" på engelska, används i  
många länder, exempelvis England, USA, Spanien, Japan, Nya  
Zeeland och Australien.

En övertändning leder alltid till den fullt utvecklade bran-  
den. Punkt A i figur 60 kan motsvara stadiet då flammorna  
nått taket i ett rum. Vid tidpunkt B har den fullt utvecklade  
branden uppstått.

Tiden mellan A och B kan i vissa speciella fall vara kort,

En övertändning  
leder alltid till den fullt  
utvecklade branden.





Figur 60. Övertändning utgörs av en tidsperiod.

endast ett fåtal sekunder. Övertändning kan sägas bestå av tidsperioden från det att branden är lokalt belägen till dess att hela rumsvolymen är involverad i flammor. Periodens längd beror bl.a. på rumsgeometrin.

Denna beskrivning förutsätter att branden är bränslekontrollerad till en början, dvs. att det finns en öppning i rummet. När övertändningen inträffar övergår branden till att bli ventilationskontrollerad. Detta kan förklaras genom att alla de pyrolytiska produkter som bildas inne i rummet inte kan förbrännas på plats, pga. syrebrist. De oförbrända gaserna kommer då att brinna utanför rummet, vilket syns i form av flammor.

Den effekt som krävs för att orsaka övertändning i ett normalstort rum ( $3,6 \cdot 2,4 \cdot 2,4$ ) m<sup>3</sup> med en dörr ( $0,8 \cdot 2$ ) m<sup>2</sup> är i storleksordningen 500–1000 kW (se vidare beräkningar i beräkningsbilagan). Detta kan jämföras med en soffa som utvecklar mellan 1000 och 2000 kW. I figur 61 visar en bildsekvens hur övertändning uppnås.

## 4.2 Förutsättningar för övertändning

Ett mycket stort antal fullskaleexperiment, som utförts både i Sverige och internationellt, har visat att för att en övertändning ska kunna inträffa, krävs det att branden överstiger en kritisk nivå som mäts i form av avgiven värmeeffekt (kW). Denna nivå beror främst på rummets storlek, väggarnas termiska egenskaper och ventilationsarean. Det krävs en viss bränslemängd/yta.



*Figur 61. Ett brandförlopp utvecklas till övertändning.*

Eftersom övertändning är en tidsperiod är det svårt att ange en exakt definierad tidpunkt för när den inträffar. De kriterier som används är framför allt temperaturen i brandgaslagret och strålningen till golvet. Resultat från olika försök visar att resultaten varierar stort. Det är svårt att finna två av varandra oberoende experter som skulle kunna utpeka exakt samma tidpunkt vid en övertändning. Det räcker med att man lyckas nå en uppskattning inom 5–10 sekunders differens. En sådan tidsskillnad gör att temperaturen i rummet hinner ändra sig kanske 100°C. Den hastighet som temperaturen ökar med i övertändningsperioden är mycket hög.

Vad temperaturen beträffar, varierar uppmätta värden vid övertändning mellan 450–771°C. Dock ligger de flesta värden i regionen 600–700°C. Strålningsvärdena varierar från 15 kW/m<sup>2</sup> till 33 kW/m<sup>2</sup>. De flesta värden ligger dock över 20 kW/m<sup>2</sup>. Att dessa värden skiljer sig åt beror givetvis också på att försöken utförts med olika bränslen och konfigurationer. Samtidigt beror det på att försöksledarna inte visuellt uppfattar övertändningen vid exakt samma tidpunkt.

Generellt kan sägas att när temperaturen är över 600°C i brandgaslagret anser de flesta att en övertändning har inträffat. Likaledes anser majoriteten att en strålningsnivå på mer än 20kW/m<sup>2</sup> är tillräcklig för att orsaka övertändning i ett rum.

Experimentella observationer har visat att strålningen vid golvnivå måste uppgå till ungefär 20 kW/m<sup>2</sup> och temperaturen under taket till ca 600°C (för takhöjder på ca 2,5–3,0 m) för att en övertändning ska kunna inträffa. I detta skede ökar strålningsnivåerna i rummet kraftigt, vilket leder till att pyrolysen ökar eftersom bränsleytan ökar. De flesta av dessa experiment har utförts i rum med öppningar av varierande storlek.

#### **4.2.1 Effektutveckling**

Effektutvecklingen styrs antingen av tillgången till syre eller bränslets förbränningshastighet.

När syretillgången är tillräcklig och brandens storlek kontrolleras av bränslets förbränningshastighet, kallas branden, som tidigare nämnts, bränslekontrollerad. När tillgången till

## Effektutveckling som krävs för övertändning

Korrelationer av data från över 100 experimentella brandförsök har utförts i varierande rumsstorlekar.<sup>21</sup> Försöken har bildat underlag till ekvation 18 nedan. Ekvationen kan användas för att bestämma vilken mängd bränsle som förbrukas när branden växer till övertändning. Den värmeutveckling som krävs för övertändning kan beskrivas med följande formel:

$$\dot{Q}_{fo} = 610(h_k A_T A_w \sqrt{H})^{0,5} \quad \text{Ekvation 18}$$

där	$\dot{Q}_{fo}$	–	den värmeeffekt som behövs för att initiera övertändning (kW)
	$h_k$	–	värmeövergångstalet (kW/m <sup>2</sup> K) som anger hur mycket värme som upptas av omslutningsytorna
	$A_T$	–	inre omslutningsarean i rummet (m <sup>2</sup> )
	$A_w$	–	area av ventilationsöppning (m <sup>2</sup> )
	$H$	–	höjden på ventilationsöppningen (m)

Ekvation 18 har tagits fram för rum av vanlig rumsstorlek. Den har dock visat sig gälla också för betydligt större rum. En mängd olika bränslen har testats, bl.a. trä, plast och olika gaser. Både fönster och dörrar har använts som öppningar. Materialet i väggar och tak har haft mycket varierande egenskaper.

Denna ekvation har dock vissa begränsningar. Den gäller endast för bränslekontrollerade bränder och när brandkällan inte är placerad nära någon vägg. Vore den placerad i närheten av en vägg skulle koefficienterna i ekvationen vara annorlunda. Ekvationen gäller för temperaturer mellan ca 20 och 700°C<sup>7</sup>.

För att visa användningsområdet för ekvationen finns ett beräkningsexempel på sid. 181. Ekvationen används ofta i dimensionerande syfte.

Den fullt utvecklade branden är ventilationskontrollerad, vilket gör att ekvation 18 inte kan tillämpas i detta stadium. När branden är ventilationskontrollerad begränsas nämligen effektutvecklingen i rummet av den mängd luft som strömmar in genom öppningen. Denna mängd ges av ekvation 19. När övertändningen väl skett kan man använda ekvation 19 för att uppskatta den faktiska effektutvecklingen.

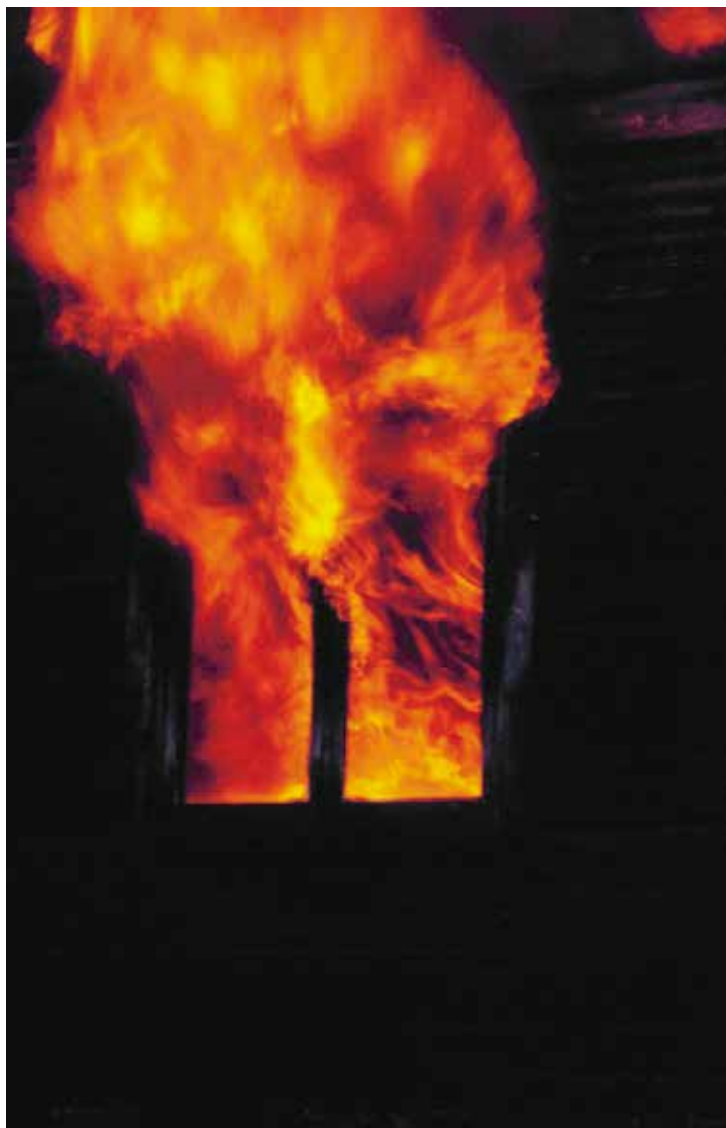
I verkligheten används inte all luft som går in i rummet till förbränningen. Därför utvecklas inte lika mycket energi i rummet som ekvationen 19 ger, men approximationen får anses vara fullgod i vår tillämpning.

$$\dot{m}_a = 0,5 A_w \sqrt{H} \quad \text{Ekvation 19}$$

där  $\dot{m}_a$  (kg/s) är massflödet av den inströmmade luften,  $A_w$  (m<sup>2</sup>) är arean av öppningen, och  $H$  (m) är höjden av öppningen. *forts. nästa sida* →

Mängden energi som frigörs när syret i 1 kg luft reagerar fullständigt med bränsle är ca 3 MJ/kg. En vanlig dörröppning på  $2 \cdot 1 \text{ m}^2$  möjliggör en effektutveckling på 4,2 MW, om det antas att allt syre används till förbränningen. Det extra bränsle som eventuellt finns kommer att brinna utanför rummet.

Viktigt att beakta är också att en del brinner utanför rummet. Med hjälp av ekvationen beräknas bara vad som maximalt utvecklas inne i rummet.



*Figur 62. I detta fall är branden ventilationskontrollerad. En del av effekten utvecklas inne i rummet och en del utanför.*

## Relationen värmeeffekt och förbränningshastighet

$$\dot{Q} = \dot{m}\Delta H_c\chi$$

*Ekvation 20*

där	$\Delta H_c$	–	förbränningsvärmets (J/kg)
	$\chi$	–	förbränningseffektivitet
	$\dot{m}$	–	förbränningshastighet (kg/s)

syre är begränsad och effektutvecklingen påverkas av detta kallas branden ventilationskontrollerad.

Brandeffekt relateras ofta till befintlig utrustning och vad man klarar att släcka. Som en jämförelse kan man säga att rökdykare klarar ungefär att bekämpa en brand på 15–20 MW. Denna effekt är större än den normala lägenhetsbranden.<sup>22</sup> Släckförmågan är givetvis beroende på åtkomlighet och individuell förmåga hos rökdykarna.

Den värmeeffekt som krävs för övertändning kan omräknas till förbränningshastighet (mängd pyrolyt från bränslet) med hjälp av ekvation 20.<sup>11</sup>

### 4.2.2 Ökning av förbränningshastigheten

I detta avsnitt ska vi diskutera vilka processer som gör att förbränningshastigheten, indirekt effektutvecklingen, ökar så att övertändning kan inträffa.

Figur 63 visar schematiskt värmebalansen vid en bränsleyta. I detta fall antar vi att vi har ett föremål som är placerat på golvet. Detta är givetvis inte helt representativt för en normal rumsbrand, men för att lättare förstå mekanismerna diskuterar vi utifrån denna figur.

Det är stor skillnad om t.ex. en möbel förbränns ute i det fria eller inne i ett rum, där den påverkas av strålning från flammor och väggar samt av brandgaser. Återstrålningen ökar och då avger bränslet mer pyrolysgaser och brandens effekt ökar.

Vi har alltså konstaterat att det behövs en viss effektutveckling i form av förbränningshastighet. Förbränningshastigheten styrs av:

1. Flamspridning och antändning (initialbrandens area ökar)
2. Ökad intensitet av förbränningen på en bestämd bränsleyta

Dessa två mekanismer är sedan var för sig beroende av tre processer som är nära knutna till varandra, nämligen:

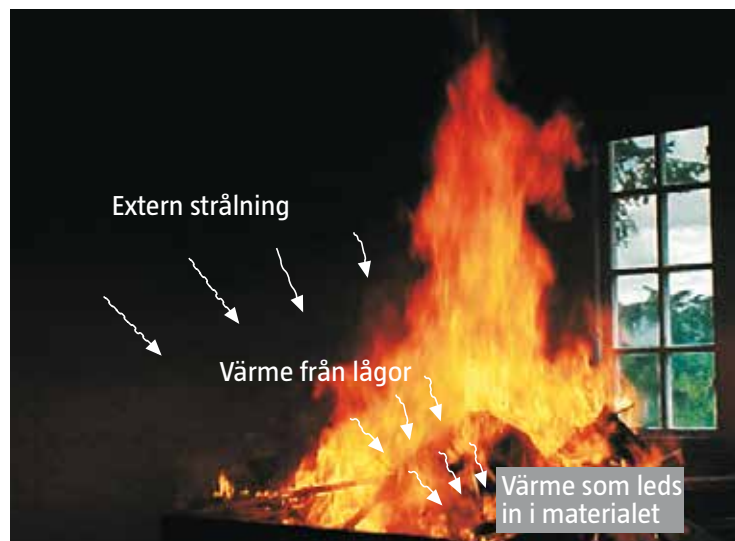
$\dot{q}''_{\text{loss}}$  (den energi som når bränslet men som inte används till förångning)

$\dot{q}''_f$  (värmens från flammen)

$\dot{q}''_{\text{ext}}$  (strålningen från omgivande områden)

$\dot{q}''_{\text{loss}}$

I början av brandförloppet används en stor del av den energi som transporteras till bränslet för att höja temperaturen hos bränslet istället för att producera ångor från ytan. Ett exempel på detta är en brinnande termoplast som inte kommer att nå sin maximala förbränningshastighet förrän en stor del av materialet har smält till en pölbrand. Denna process tar upp mycket energi. Efter ett tag kommer dock bränslet och dess underliggande ytor att bli mättade med värme och då kommer  $\dot{q}''_{\text{loss}}$  att minska. Enligt ekvation 21 ökar då förbränningshastigheten.



Figur 63. Värmebalans vid en bränsleyta.

## Värmebalans vid en bränsleyta

Värmebalansen vid en bränsleyta kan beskrivas med ekvation 21.<sup>11</sup>

$$\dot{m} = \frac{\dot{q}''_f + \dot{q}''_{ext} - \dot{q}''_{loss}}{L_v} A$$

*Ekvation 21*

där  $m$  är förbränningshastigheten i g/s,  $\dot{q}''_f$  är värmeövergången från flammen till den brinnande ytan (kW/m<sup>2</sup>) och  $A$  är bränslearean i m<sup>2</sup>.  $\dot{q}''_{ext}$  är strålningen till bränsleytan (kW/m<sup>2</sup>) från de varma omslutningsytorna, t.ex. väggarna, taket och brandgaslagret.

$\dot{q}''_{loss}$  motsvaras av den energi som leds in i materialet utan att direkt användas till att förångna bränslet. Då materialet har blivit mättat kommer värdet att minska.  $L_v$  (kJ/g) är förångningsvärmets, dvs. den värmemängd som behövs för att 1g gas ska lämna bränsleytan. Förångningsvärmets antas ofta vara en materialkonstant men är, för många material, en funktion av materialets temperatur.

$\dot{q}''_f$

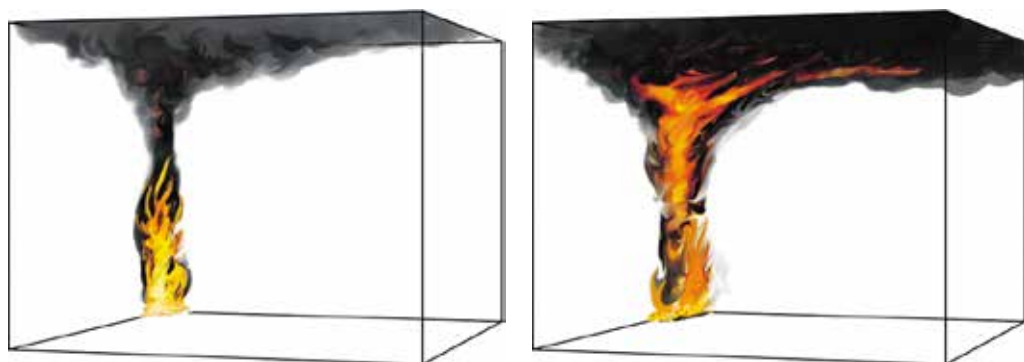
Värmen från flammen (initialbranden) bidrar dels till att förångna materialet under initialbranden, dels till att värma upp materialet utanför denna. Detta leder till flamspridning och ökad bränsleyta. Flamspridningshastigheten beror i hög grad på vilka material som är inblandade, men kanske ännu mer på konfigurationen av bränslearean runt initialbranden. Flamspridningen går exempelvis mycket snabbare på en vertikal yta jämfört med en horisontell.

När materialet väl har antänts kommer en brännbar väggbeklädnad att sprida flammorna mycket snabbt och ge förlängda flammor under taket. Strålningsnivåerna i rummet ökar då drastiskt. Detta inträffar ofta strax innan rummet blir övertänt (se figur 64).

Observera att vi inledningsvis diskuterade ett materials flamspridning på golvnivå, men principen för ökning av förbränningshastighet är givetvis densamma oavsett var materialet sitter. Flamspridningen leder till att övertändning kan uppstå eftersom effektutvecklingen ökar. Detta beskrivs i figur 64.

I ett flertal uppmärksammade olyckor under de senaste åren har brandförloppen varit mycket hastiga. Några exempel är





Figur 64. Flamspridning under taket.

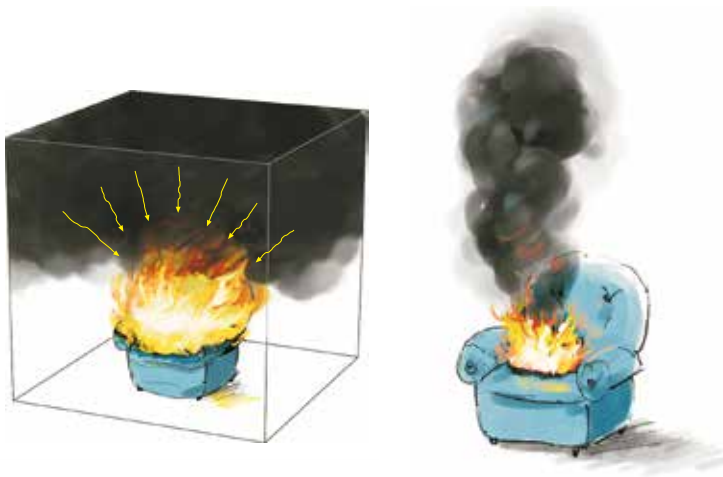
King's Cross tunnelbanestation i London där flera människor omkom och diskoteksbranden på Stardust Club i Dublin<sup>23</sup>. I dessa fall har flamspridningsprocessen varit helt avgörande för de tragiska händelseförloppen.

$$\dot{q}''_{ext}$$

Ökningen av förbränningshastigheten hos material som redan brinner i ett rum sker när värmestrålningen ökar från de övre delarna i rummet. Uppmätta värden visar att förbränningshastigheten kan öka många gånger om när material påverkas av extern strålning<sup>24</sup>. Hur stor ökningen blir beror på det specifika materialet.

Vid en rumsbrand samlas brandgaserna under taket. Den övre delen av rummet fylls också av brandgaser, under förutsättning att gaserna inte passerar ut genom befintliga öppningar. De instängda brandgaserna och de varma övre ytorna resulterar i värmestrålning till både bränslet och övriga brännbara ytor. Detta bidrar till ökad förbränningshastighet hos redan brinnande ytor samt uppvärmning av annat potentiellt bränsle. Detta ger en ökad flamstorlek, som i sin tur ökar temperaturen, som i sin tur ökar återstrålningen etc.

Den externa strålningen kommer också att bidra till att flamspridningsprocessen går snabbare. Under förutsättning att brandrummet innehåller tillräckligt med bränsle orsakar detta ett accelererande förlopp.



Figur 65. Fåtölj som påverkas av strålning utvecklar högre effekt.

### 4.3 Processer i brandgaslagret

Förbränningen av brandgaslagret är karakteristisk för över-tändningsprocessen. Brandgaslagret brukar antändas strax innan övertändningen äger rum.

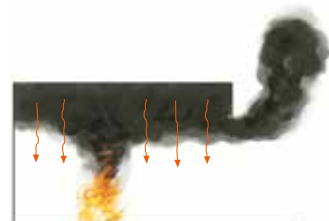
Vi har tidigare diskuterat flammor i brandgaserna och konstaterat av de består av diffusionsflammar. Det beror på att brandgaserna inte hinner blandas innan de antänds eftersom de hela tiden "äts upp" av den pågående branden. Därför går det inte att bygga upp några större mängder förblandade gasmassor.

Om brandgaslagret innehåller oförbrända brandgaser kan detta leda till förbränning, som i sin tur kan leda till en kraftig ökning av den externa strålningen.

De oförbrända brandgaserna bildas när syretillförseln inte är tillräcklig. Men också när det finns tillräckligt med syre bildas alltid en viss mängd oförbrända brandgaser. Ju mindre syre desto mer oförbrända gaser. I dessa situationer finns det också mycket pyrolytiska produkter från främst det brännbara takmaterialet.

När flammen växer i storlek nås ett stadium där flamtoppen tränger igenom brandgaslagret och slår i taket. När flamtoppen taket är situationen kritisk. När flammen breder ut sig under taket, strålar den mycket till ytorna i rummets nedre del. När brandgastemperaturen under innertaket har nått ca 600°C kan övertändningsprocessen starta.<sup>25</sup>

Då brandgaslagret sänker sig, minskar syretillförseln till den övre delen av flammen och förbränningen blir mindre



Figur 66. I detta fall utgår vi från att det bara finns bränsle i golvhöjd. På så sätt kan beskrivningen göras enklare.



Figur 67. Utveckling av brand på undersidan av brandgaslagret.

effektiv. Brandgaslagrets temperatur ökar också eftersom varmare luft tränger in i plymen. När förbränningen då ökar, till följd av högre återstrålning, kommer en större del av flammen att penetrera brandgaslagret, vars innehåll nu består av större mängder oförbrända brandgaser. Samtidigt minskar syret tills lagret är helt uttömt.

Utvecklingen av brand på ytan skapar en instabilitet på undersidan av brandgaslagret med en brinnande gasmassa (med temperaturer på 800–1000°C). Detta stimulerar att varma brandgaser och luft blandas in i brandgaslagret (se figur 67).

Strålningen ökar nu kraftigt, vilket leder till att förbrännings-hastigheten ökar. Detta är stadiet precis innan hela rummet är involverat i branden.

Ovanstående diskussion bygger på att det finns tillräckligt med bränsle för att förbrännings-hastigheten ska öka, och att tillgången på luft är fri.

Ju mer bränsle som finns i brandgaslagret, desto större sannolikhet är det att flammen kommer att brinna på undersidan av lagret. Detta har observerats i många praktiska fall. Men det är ändå svårt att generalisera genom att påstå att flammen alltid brinner på undersidan av brandgaslagret.<sup>26</sup>

En avgörande faktor kan också vara hur bränslekonfiguration i brandrummet ser ut. Denna kommer att styra luftströmmarna i rummet. Om ytskiktet i taket är brännbart kommer det att bildas en bränslerik blandning närmast taket, vilket förstärker sannolikheten för att flamman ska brinna på undersidan av lagret. Det är också svårt att observera exakt var flammorna existerar i rummet, eftersom det är svårt att se flammor genom tjocka brandgaser.

Det är av mindre vikt att veta exakt var flammorna kan existera. Rökdykarna kommer ändå att förstå vad som sker pga. värmen.

## 4.4 Riskbedömning

Att kunna bedöma faran i särskilda situationer är viktigt under räddningsinsatser. Under inga omständigheter får personalens säkerhet sättas på spel. Rökdykarna är speciellt utsatta, eftersom de ofta arbetar i en farlig miljö och har till uppgift att söka efter människor i rökfyllda utrymmen.

Förhållandena kan ändras drastiskt på ett fåtal sekunder. Därför är det av största vikt att rökdykarna och den personal som jobbar utanför byggnaden mycket väl känner till tecknen på att en övertändning snart kan ske. Ibland måste man kunna agera omedelbart.

Brandgasernas färg tas ofta som ett sådant kännetecken. Men det räcker inte. För att få en säker uppfattning om när en övertändning är nära förestående måste man kunna väga samman ett antal olika kännetecken.

### 4.4.1 Brandgasernas färg

Brandgasernas färg säger inte tillräckligt om hur nära förestående en övertändning är. Det beror på att det egentligen inte finns någon säker koppling mellan färgen och hur farlig en viss situation är.

I många fall beror brandgasernas färg på om branden är en flambrand eller en glödbrand. I litteraturen<sup>20</sup> nämns bl.a. följande brandgaser som farliga:

- tjock, tung, svart brandgas; bildas ofta vid förbränning av kolväten och innehåller sot, vilket ger den karakteristiska färgen. Ju mer underventilerad branden är desto

Strålningsnivån kommer att bli hög när brandgaslagret antänds, oberoende av var flammorna befinner sig.

Det är viktigt att skilja på förblandade flammor och diffusionsflammor. Under den normala övertändningsperioden är flammorna av typen diffusionsflammor, vilket gör att brandförloppet i de flesta fall går att kontrollera. Detta förutsätter att utrymmet är ungefär lika stort som i en normal lägenhet.

fler oförbrända produkter alstras.

- snabba färgförändringar hos brandgasen, från tjock, tät och svart till gul eller grågul.
- gul brandgas, som beror på salpeterhaltiga och svavelhaltiga polymerer (t.ex. däckmaterial).
- tjocka böljande moln av gul brandgas.
- vit kall brandgas, t.ex. från glödande skumgummi.

Detta är bara några av exemplen på vad som sägs känneteckna brandgasernas färg. Eftersom brandgasernas densitet och färg beror på vilket material det är som brinner måste man därför också känna till såväl branddrummets innehåll som geometri. Då brandgaserna ibland måste studeras natttid vid olika typer av gatljus eller andra ljuskällor, ökar svårigheterna att med hjälp av färgen få en tillräckligt bra uppfattning också av det skälet.

Ett exempel på att man inte kan betrakta brandgasernas färg som ett säkert tecken är explosionen vid "Catham Dockyard" i London.<sup>27</sup> En glödbrand i skumgummimadrasser fyllde hela byggnaden med brännbara pyrolysisprodukter. En explosion inträffade när man försökte ventilerade byggnaden. Brandgaserna uppfattades som kalla och hade en vit färg. Man drog därför slutsatsen att de var ofarliga. Två brandmän omkom.

Madrasser av *skumgummi* är tillverkade av naturligt gummi. Detta gummi brukar också kallas *latex*. *Skumplast* görs av *polyuretan*, ett tillverkat gummi. Polyuretan är vanligt i madrasser, skumgummi är däremot sällsynt, men kan förekomma. Skumgummi (eng. *foamed rubber*) har lättare för att brinna som glödbrand, medan polyuretan lättare brinner med flamma. Polyuretan kan visserligen i vissa fall också avge grå brandgas, men inte lika sval som skumgummi.

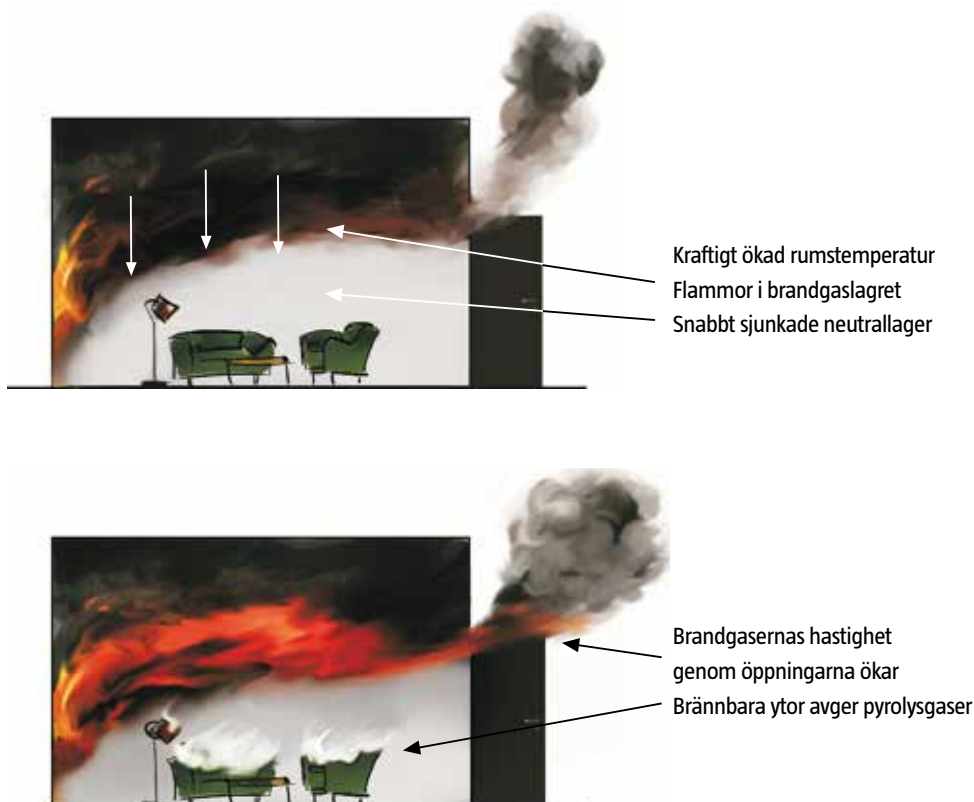
Risken i samband med plastbränder, att det byggs upp explosiva brandgaser, är störst där det finns skumgummi. Tändkällor som cigaretter, som inte flammar upp, kan leda till glödbränder, som avger svala gråa brandgaser. Det är lätt att misstolka dessa brandgaser.<sup>28</sup>

Mängden skumgummi som finns i bostäder är normalt inte tillräcklig för att nå de koncentrationer som krävs för en explosion.

Kännetecknen på förestående övertändning måste bedömas utifrån den specifika situationen. Tonvikten ska inte läggas på ett enda kännetecken, exempelvis brandgasernas färg. Om man däremot väger samman ett antal kännetecken får man en bra uppfattning om när en övertändning är nära förestående.



*Figur 68. Vita brandgaser är definitivt inte ofarliga. I det här fallet är bränslet någon typ av träskivor placerade i taknivå. Brandgasernas färg beror till stor del på om det är en glöd- eller flambrand.*



Figur 69. Olika kännetecken på en nära förestående övertändning.

Även andra material kan under vissa ventilationsförhållanden avge gråvita pyrolysgaser (se t.ex. figur 68). Färgen beror ofta på om branden är en glöd- eller flambrand.

#### 4.4.2 Kännetecken på en nära förestående övertändning

Rumstemperaturen är en avgörande faktor för övertändning. Här följer några kännetecken på hur en övertändning kan förutsägas. I vissa fall kan brandgasernas färg eller färgskiftning komplettera punkterna.

Vita brandgaser är definitivt inte ofarliga.

- Rumstemperaturen ökar kraftigt. Det ser ut som om branden ”skjuter fart”. När temperaturen stiger ökar tryckskillnaden mellan rummet och omgivningen. Neutrallagrets läge i öppningen, dvs. läget där tryckskillnaden är noll, kommer att sänka sig snabbt neråt.
- Flammor börjar synas uppe i brandgaslagret.
- Samtidigt som temperaturen ökar kommer också

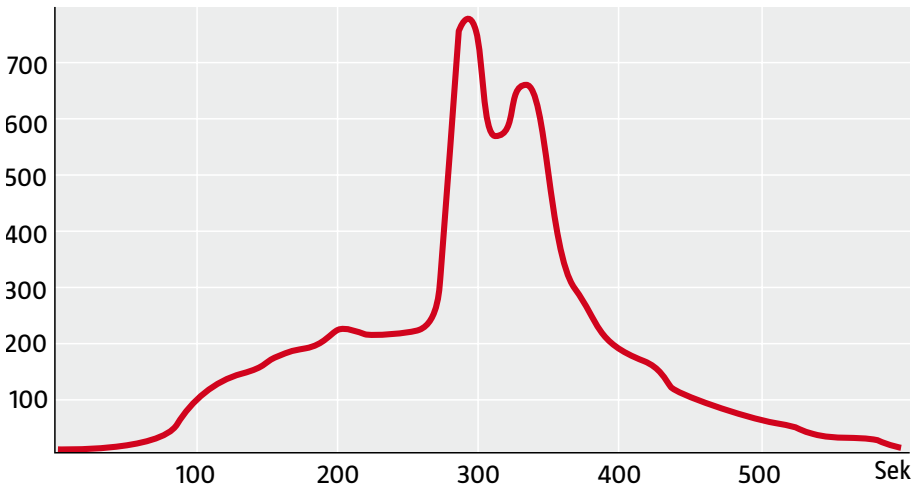


*Figur 70. Branden är lokalt belägen i hörnet. Ännu finns inga tecken på att brandförloppet ska kunna accelerera.*

*Figur 71. Tjugo sekunder senare. Branden är nu fullt utvecklad och temperaturen i hela utrymmet överstiger 500°C.*



## Brandgastemperatur



Figur 72. Temperaturkurvan för försöket. Övertändning inträffar mycket hastigt. Släckningsarbetet börjar vid 350 s.

brandgasernas hastighet genom öppningarna att öka.

Det är lättare för personal utanför byggnaden att observera detta.

- Alla brännbara ytor avger pyrolysgaser, vilket beror på att strålningsnivån i rummet ökar drastiskt. Det "ryker" från föremål i rummet.
- Flammor börjar sprida sig längs med taket. Detta kan bero på två saker: dels att takmaterialet är brännbart, vilket ger en flamspridning längs taket, dels att flammorna från branden är längre än takhöjden. Flammorna blir då tvungna att "vika sig" för att finna syre till förbränningen. Båda dessa situationer, då flammorna breder ut sig under taket, orsakar en kraftig återstrålning till alla delar av rummet vilket gör att mer bränsle kan pyrolyseras.

Övergången från en lokalt placerad brand till en brand som involverar hela rummets volym kommer under vissa förutsättningar att gå mycket snabbt. Observationer under fullskaleförsök visar att tiden från det att situationen verkar lugn till dess att rummet är övertänt kan vara mycket kort, ca 15–20 sekunder.<sup>29</sup>

Det är därför svårt att göra en exakt uppskattning av om övertändningen är nära förestående eller inte. Brandförloppets hastighet är naturligtvis starkt beroende av vilken typ av

bränsle det är frågan om och bränslekonfigurationen. Det tar ofta tid att värma upp väggarna, och fram till dess går brandförloppet ofta relativt långsamt. Räddningstjänstens personal får vara mycket observant.

#### 4.4.3 Åtgärder

Det är mycket viktigt att försöka släcka branden innan övertändningen sker, eftersom möjligheterna att rädda liv, egendom och miljö är mycket gynnsammare då. Givetvis måste riskerna sättas i relation till vad som kan uppnås med insatsen.

Som vi har diskuterat tidigare kan brandförloppet ibland accelerera helt oväntat, och det kan ställa till problem, speciellt vid långa inträngningsvägar. Larmställen uthärdar bara övertändning i ett litet antal sekunder. Kommunikationen mellan rökdykarledaren och rökdykarna är därför många gånger livsviktig.

Det är också viktigt att komma ihåg att ett normalt strålrör inte klarar hanteringen av större bränder än i omfånget 15–20 MW.<sup>30</sup> Detta mått är större än det som utvecklas i den normala lägenhetsbranden, men lägenhetsbränder där flera fönsterrutor gått sönder närmar sig sådana mått. Effektutvecklingen vid ventilationskontrollerade bränder går att uppskatta med hjälp av öppningarnas storlek.

### 4.5 Sammanfattning

Den svenska definitionen av övertändning lyder:

*”Under en rumsbrand kan det inträffa ett stadium där den termiska strålningen från branden, de varma gaserna och de varma omslutningsytorna orsakar att alla brännbara ytor i brandrummet pyrolyseras. Detta plötsliga och sammanhängande övergångsstadium av ökande brand kallas ’övertändning’”.*

Övertändningar uppstår i lokaler där det under ett visst skede finns god tillgång på luft. Rummet har en öppning av något slag. Definitionen förtydligar att man måste nå den fullt utvecklade branden för att en övertändning ska sägas ha inträffat. En viss effektutveckling krävs, vilket motsvarar en viss förbränningshastighet.

Förbränningshastigheten påverkas av strålningen från flaman, de varma brandgaserna och de varma väggarna. När övertändningen inträffar övergår branden oftast från att vara bränslekontrollerad till att bli ventilationskontrollerad.

Strax innan övertändningen sker antänds ofta brandgaslagret. Detta leder till en instabilitet som gör att bränslet och luften blandas och förbränns.

Processen styrs av en diffusionsflamma. Det går därför inte att använda ord som mager och fet för att beskriva en övertändning. Övertändningen har inget med förblandade flammor att göra.

Övertändning kan uppstå på ett fåtal sekunder. Det är därför det är så viktigt att räddningstjänstpersonalen är välinformerad om fenomenet övertändning och om de förhållanden som leder till den. På så sätt kan också en nära förestående övertändning förhindras. Detta är speciellt viktigt när man befinner sig i större lokaler eller när inträngningsvägarna är långa.

Kännetecknen för övertändning är förknippade med den temperaturökning som sker. Vanliga kännetecken är:

- Flammor börjar synas uppe i brandgaslagret
- Brandgasernas hastighet ut genom öppningar ökar
- Neutralzonens läge förändras.

Brandgasernas färg/färgskiftning kan användas som kännetecken endast om man har tillräcklig bakgrundsinformation om branden.

## Stanna upp och fundera!

1. Vilka flammor är involverade när det sker en övertändning?
2. Vilken temperatur uppstår under övertändning?
3. Övertändning beskrivs som en period. Hur lång tid är det fråga om?
4. Vilka mekanismer är avgörande för en övertändning?
5. Hur ska man skydda sig mot en övertändning?
6. Vilka kännetecken finns för övertändning?
7. Enligt statistiken uppkommer övertändning relativt sällan. Varför är det så?

8. Hur många procent av bostadsbränderna leder till övertändning i Sverige?
9. Jämför två rum, det ena har mineralull, det andra betong i de omslutande konstruktionerna. I vilken lokal behövs mest bränsle för att orsaka en övertändning?

## Branden i The Stardust Club i Dublin

På Stardust Club, ett diskotek i Dublin, inträffade 1981 en brand med ovanligt snabbt förlopp. Branden involverade en läktare med måtten  $17 \times 10 \text{ m}^2$ , se figur 73. Den började på läktaren som är markerad med ett "A" i figur 73.<sup>23</sup>

*Exemplet illustrerar hur avgörande flamspridningsprocessen är, för om övertändning ska uppstå eller inte.*

Läktaren lutade uppåt, mot bakväggen, där höjden var 2,4 m. Läktaren, som för tillfället var tom, var ofullständigt avskild från huvuddelen av dansgolvet med hjälp av en stor rullgardin (se figur 74). Den västra läktaren bestod av rader med säten som var 0,9 meter breda. Sätena bestod av polyuretan med ett överdrag av PVC. Raden längst bak var placerad tätt intill bakväggen. Bakväggen hade en brännbar beklädnad och undertaket bestod av obrännbar mineralull.

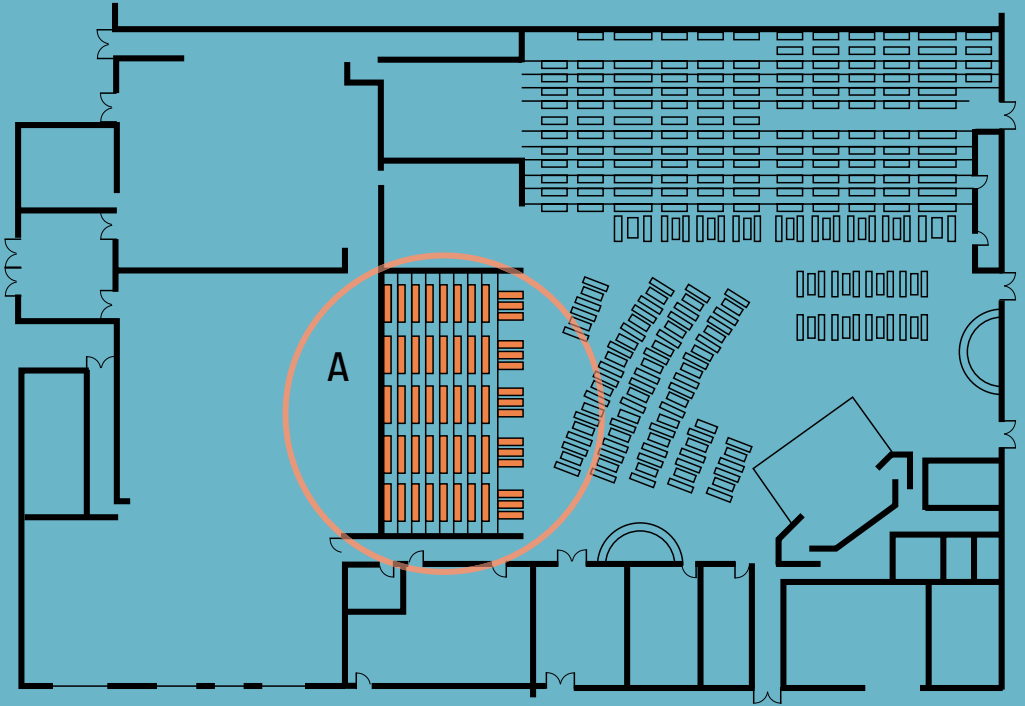
Branden började på bakre raden (se position Z i figur 74). Den spred sig snabbt längs raden. Personerna ute i den stora hallen märkte då att det var en liten brand i lokalen. Flammorna spred sig snabbt längs bakväggen, och därefter gick brandförloppet enormt snabbt. Inom några få sekunder hade branden involverat hela läktaren, som blev totalt övertänd. Brandgaser och flammor spreds ut över den stora danslokalen.

Branden rekonstruerades på Fire Research Station i England, och rekonstruktionen visade bl.a. att när ett säte antändes längs hela sin längd producerades strålningsnivåer på ca  $100 \text{ kW/m}^2$  mot bakväggen.

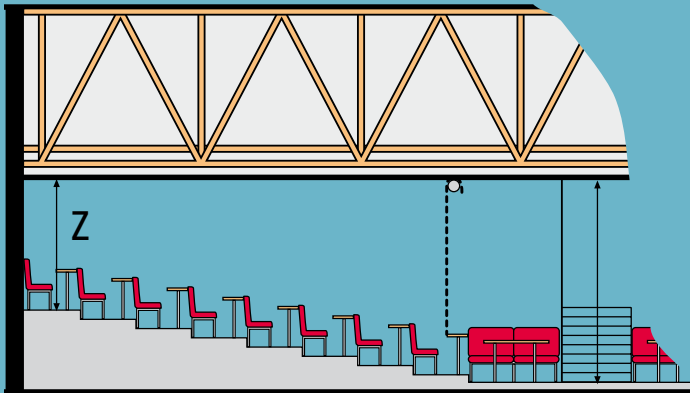
Kombinationen av brännbara säten och brännbar väggbeklädnad möjliggjorde en effektutveckling på  $800 \text{ kW/m}^2$  i bakre delen av rummet. Det medförde att flammor spred sig upp under taket och på så sätt producerade höga strålningsnivåer på sätena framför. En oväntad händelse under försöken var att värmestrålningen från flammorna strax framför bakväggen steg till  $100\text{--}200 \text{ kW/m}^2$ , vilket är väldigt mycket.

Detta resulterade i att toppen på sätena framför exponerades för en värmestrålning på  $60 \text{ kW/m}^2$ . En sådan mängd är tillräcklig för att orsaka antändning inom några få sekunder. Detta medförde att lokalen blev övertänd mycket snabbt.

Värt att notera i sammanhanget är att innertaket kollapsade och drog med sig en bit av yttertaket. Detta gjorde att värme- och brandgasbelastningen minskade. 48 människor omkom vid denna tragiska olycka, och det hade säkert blivit fler om inte taket rasat in.



Figur 73 (ovan). Planritning av diskoteket.



Figur 74 (till vänster). Sektionsritning över läktaren.



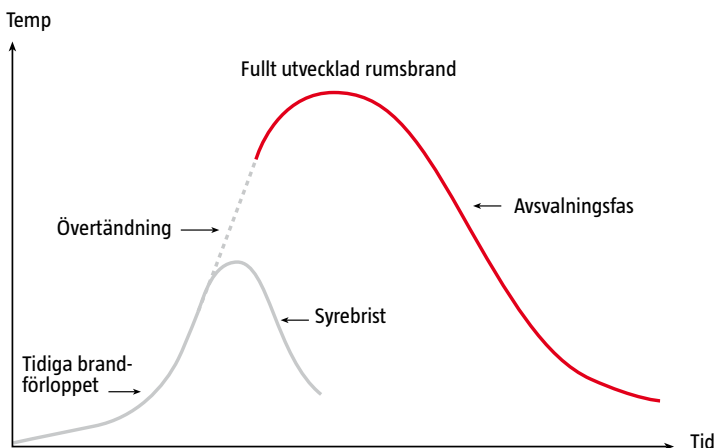
## Kapitel 5

# Fullt utvecklade rumsbrand och avsvlningsfas

Övertändningen leder fram till den fullt utvecklade rumsbranden. Under den fullt utvecklade rumsbranden kommer en del av förbränningen att ske utanför rummet. Detta beror ju på att branden är ventilationskontrollerad, och att branden då producerar ett överskott av brännbara gaser. Resultatet blir att flammor slår ut genom byggnadens öppningar.

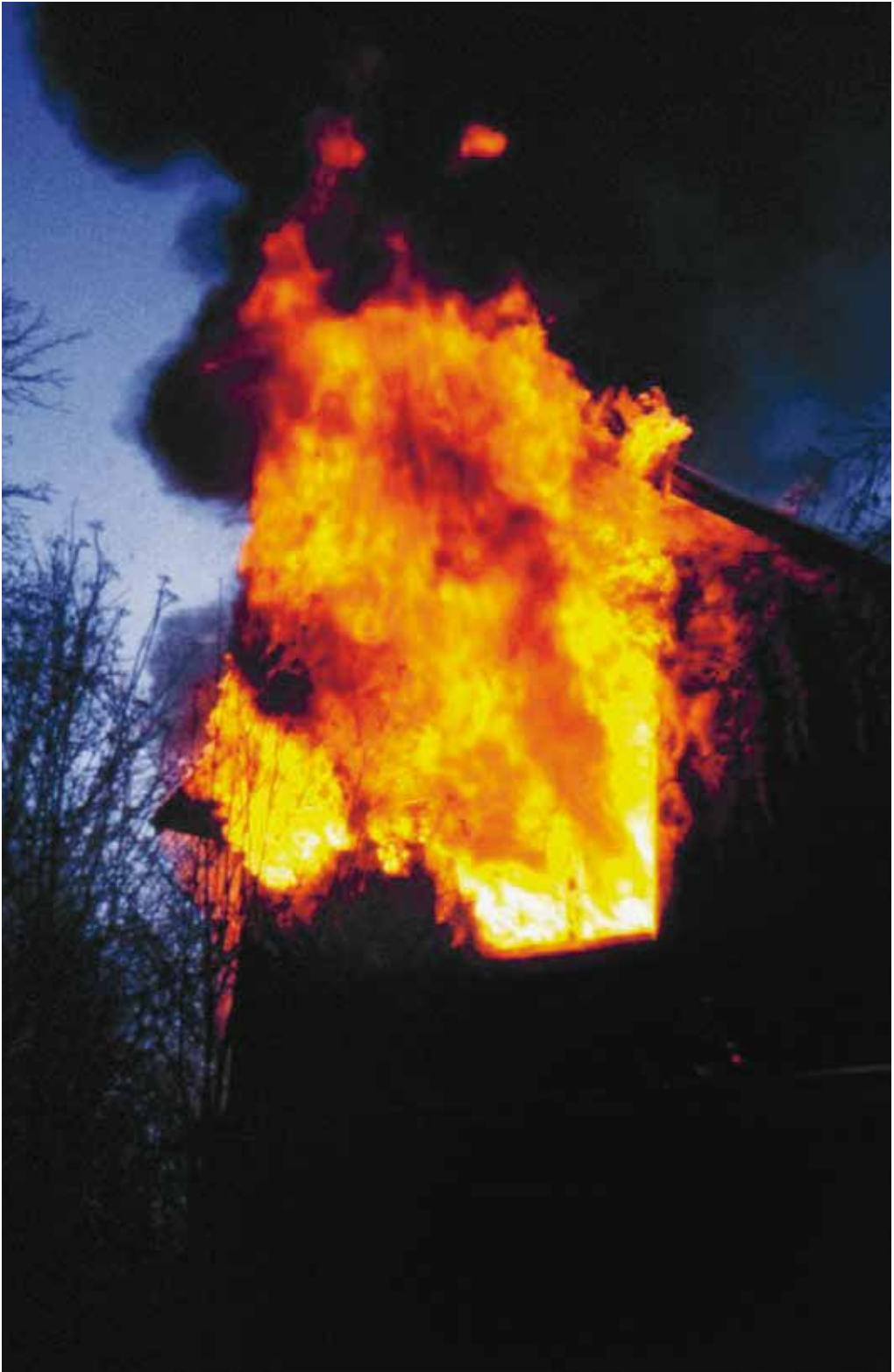
Den fullt utvecklade rumsbranden kan pågå under lång tid, ibland i flera timmar, till största delen beroende på den mängd bränsle som finns i rummet. Temperaturer på 800–900°C är vanliga. Så länge det finns bränsle i rummet och tillgång på syre för förbränning, håller sig temperaturen på denna nivå.

Länge har det ställts ganska höga krav på att byggnaders bärande konstruktioner ska kunna motstå brand. Tillgänglig statistik visar att dödsfall eller skador på människor vid brand



Figur 75.  
Brandgastemperaturen  
under brandens olika  
skeden.





mycket sällan beror på att byggnadskonstruktionen kollapsar. För byggnader som inte helt kan utrymmas vid brand är dessa högt ställda krav väl motiverade. Det är också viktigt för räddningstjänsten att det går att lita på stommens bärande förmåga. Den bärande konstruktionen dimensioneras olika, beroende på byggnadstypen. Det är vanligt att klassificera byggnader till att motstå brand upp till flera timmar.

Den fullt utvecklade branden i ett rum påverkas bl.a. av:

- Mängd och typ av brännbart material
- Densitet, form och placering av materialet
- Tillgänglig mängd luft
- Rummets storlek och geometri
- Egenskaper hos rummets omgivande konstruktion

Avsvlningsfasen kan pågå under lång tid, och det är mycket vanligt att branden här återgår till att bli bränslekontrollerad. Under detta stadium är glödränder mycket vanliga.

Ofta minskar konstruktionsmaterialets hållfasthet genom värmepåverkan. Detta kan leda till ett lokalt ras eller till att hela byggnaden kollapsar.

Stålmateriel är mycket känsliga för värme och förlorar vid 500°C hälften av sin hållfasthet. Betong har kvar ungefär 75% av sin hållfasthet vid 500°C.<sup>1</sup> Träkonstruktioner minskar i omfång genom förbränning och att det uppstår kolskikt. Träbalkar blir klenare och därmed svagare. Minskat tvärsnitt innebär minskad hållfasthet.

*Figur 76 (motstående sida). Fullt utvecklad brand. En del av förbränningen sker utanför rummet.*



## Kapitel 6

# Brandförlopp i utrymme med begränsad ventilation

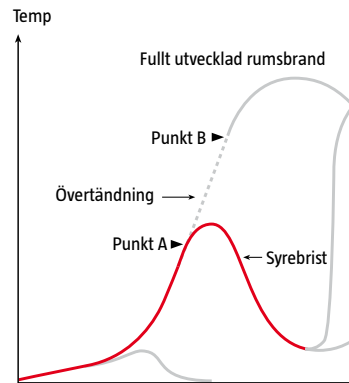
I detta kapitel ska vi diskutera hur bränder utvecklas i utrymmen med begränsad ventilation. Syrebristen gör att branden inte utvecklas till övertändning utan istället minskar i intensitet. Temperaturen sjunker, samtidigt minskar förbränningen. Avsvälningen av bränsleytorna går långsamt, vilket innebär att stora mängder pyrolysgaser fortfarande bildas. Vi kommer inte att passera punkt B, vilket ju är en förutsättning för att en övertändning ska kunna ske. Detta scenario är vanligt när branden utvecklas i ett stängt rum och när inga öppningar uppstår, genom att t.ex. ett fönster går sönder. Brandförloppet följer den markerade linjen i figur 77.

Vi har nu en situation där det kan finns mycket oförbrända brandgaser i rummet. Samtidigt är syrekoncentrationen låg. En rad olika händelser kan inträffa när räddningstjänsten kommer till platsen. Vi kommer att diskutera fyra olika utfall av branden, av vilka några är vanligare än andra. De fyra utfallen är: 1. Branden har självslocknat, 2. Brandförloppet återupptas, 3. Självantändning av brandgaserna, 4. Backdraft.

Innan dessa utfall sker kan det uppkomma pulsationer i brandförloppet. Vi kommer därför först att beskriva pulsationerna och sedan diskutera de fyra ovannämnda utfallen.

## 6.1 Pulsationer

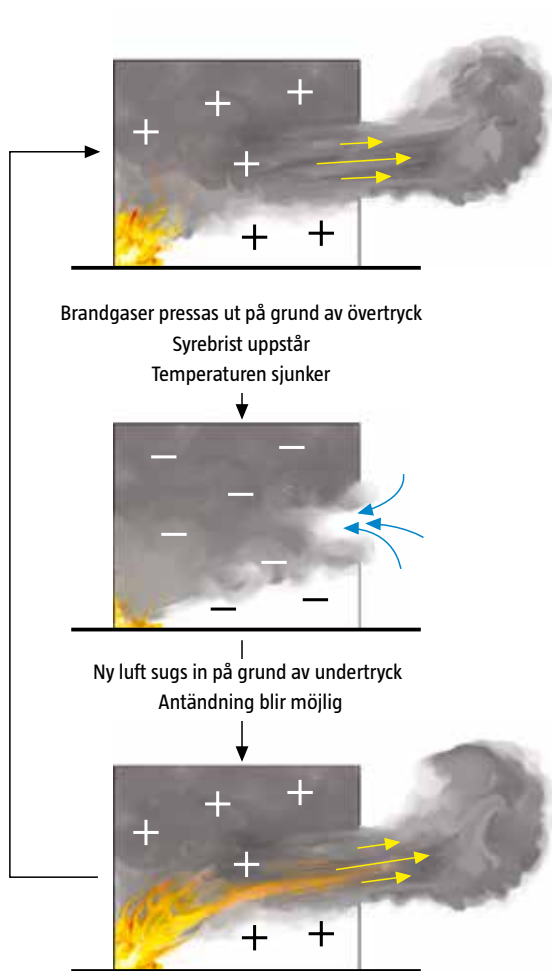
En ventilationskontrollerad brand innebär att brandens effektutveckling begränsas av den mängd syre som kommer in i rummet. Detta leder ibland till att branden "andas".



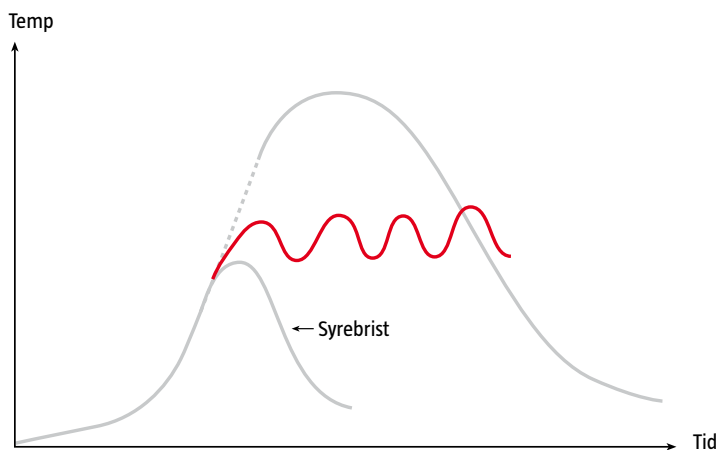
Figur 77. Brandförloppets utveckling då syremängden begränsar effektutvecklingen.

### Fyra utfall av brand:

1. Branden har självslocknat
2. Brandförloppet återupptas
3. Självantändning av brandgaserna
4. Backdraft



Figur 78. Branden pulserar.



Figur 79. Pulsationerna inritade i brandförloppskurvan.

Pulsationerna inleds med att effektutvecklingen minskar till följd av den begränsade syremängden. Då temperaturen sjunker kommer även gasvolymen i brandrummet att minska, vilket leder till att det bildas ett visst undertryck. Luft kan på nytt sugas in i brandrummet, och när syret reagerar med de brännbara gaserna uppstår en förbränning.

När brandgaserna antänds ökar volymen, vilket resulterar i ett övertryck. Brandgaser pressas då ut genom de befintliga öppningarna. Detta leder på nytt till syrebrist, vilket begränsar effektutvecklingen och nästa pulsation tar fart. Brandens pulsation kan beskrivas av figur 79.

Det är svårt att avgöra i vilka situationer branden kan börja pulsera. Pulsationerna beror bl.a. på öppningarnas storlek i förhållande till den effekt som utvecklas.

## 6.2 Branden har självslocknat

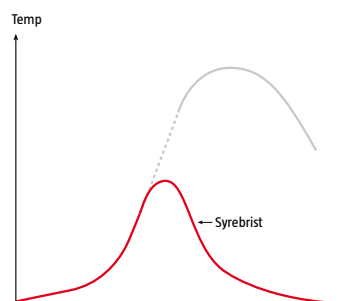
Om branden fortsätter i syrefattig miljö är det mycket sannolikt att den så småningom självslocknar eller övergår till glödbrand. Det sker troligen innan temperaturen i brandrummet har ökat tillräckligt för att leda till kraftig pyrolys av andra bränsleytor i rummet. Om bränsleytan samtidigt är begränsad blir sannolikheten för att gasmassan ska kunna antändas låg.

När temperaturen sjunker kommer trycket också att minska i brandrummet, vilket medför att det inte trycks ut så mycket brandgaser. Det kan därför ta lång tid innan branden upptäcks.

Denna situation är mycket vanlig vid lägenhetsbränder. Ofta får lägenheterna ganska omfattande rökskador, men att släcka branden medför oftast inga problem.

Även i den situationen kommer förhållandena i brandrummet att vara mycket farliga för människor. Brandgaserna innehåller en rad farliga ämnen, t.ex. kolmonoxid, som medför att sovande inte vaknar när det brinner. Brandvarnare är i det läget livsviktiga. I den situationen räddar de verkligen liv.

Figur 83 redovisar resultat från en rumsbrand. Branden startar i ett stängt utrymme. Som synes blir branden ventilationskontrollerad efter ca 300 sekunder och då minskar temperaturen och effektutvecklingen.



Figur 80. Branden har självslocknat på grund av syrebrist.

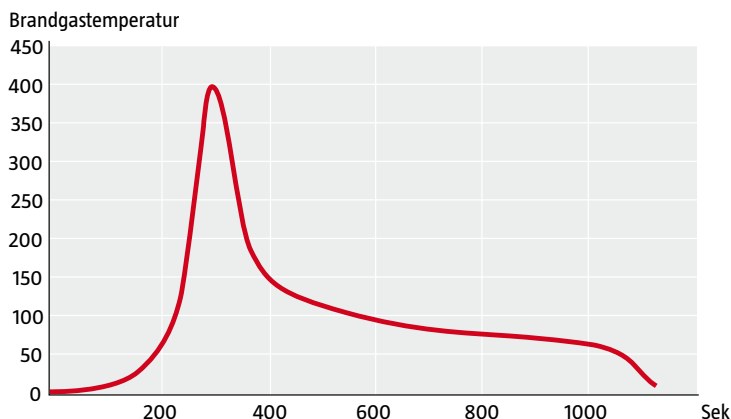


Figur 81 (ovan). Branden är på väg att självslockna i ett slutet utrymme. Brandgaserna sänker sig ner över brandhärden. Fri sikt finns endast vid golvet.

Figur 82 (till höger). Brandgaserna innehåller en mängd giftiga produkter.



Temperaturen sjunker snabbt och pyrolysen av materialet avstannar relativt snabbt. I detta fall innehåller inte brandgaserna tillräckligt med brännbara gaser för att kunna tändas. Människor utan andningsskydd kan emellertid ändå omkomma i rummet på grund av de giftiga brandgaserna. När dörren öppnas till utrymmet kan brandgaserna strömma ut, men gaserna som är relativt kalla, antänds inte och branden är lätt att släcka.



Figur 83. Temperaturen i ett stängt brandrum.

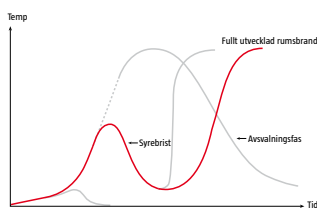
### 6.3 Brandförloppet återupptas

Vi utgår nu från en situation där branden har hunnit sprida sig till en rad andra föremål innan syrebrist uppstår. Värmepåverkan i brandrummet har varit stor. Brandrummet har fyllts upp med brandgaser, som innehåller en hel del oförbrända gaser. Detta innebär att branden får möjlighet att växa till en fullt utvecklad brand om det tillförs luft igen.

Vi antar att rökdykarna öppnar dörren till lägenheten eller att ett fönster går sönder på grund av värmen. Följden blir att det strömmar ut brandgaser genom öppningens övre del, samtidigt som det strömmar in luft genom öppningens nedre del; neutrallagret stiger. Luftströmmen gör att initialbranden flamar upp på nytt och branden växer. Flammorna når upp i brandgaslagret och en flamfront rör sig ut genom rummet.

Detta scenario utgör en fortsättning på det avbrutna brandförloppet. Tillväxten är snarlik den som inträffar när en brand utvecklas och leder till övertändning i ett rum, som har en öppning redan inledningsvis vid brandstarten. Figur 85 (se nästa sida) visar detta förlopp.

Förloppet är ofta lugnt, eftersom de flammor som uppstår är diffusionsflammar. Branden återupptar det avbrutna brandförloppet och utvecklas till övertändning, om det finns tillräckligt med syre och bränsle.



Figur 84. Brandförloppet återupptas och branden når den fullt utvecklade branden.





*Figur 85. Brandförloppet återupptas. Dörren öppnas och brandgaserna strömmar ut. Efter ett tag kan man observera flammor uppe under taket och snart syns flammor i hela utrymmet.*



*Figur 86. Brandgaserna självantänder vid kontakt med luften.*



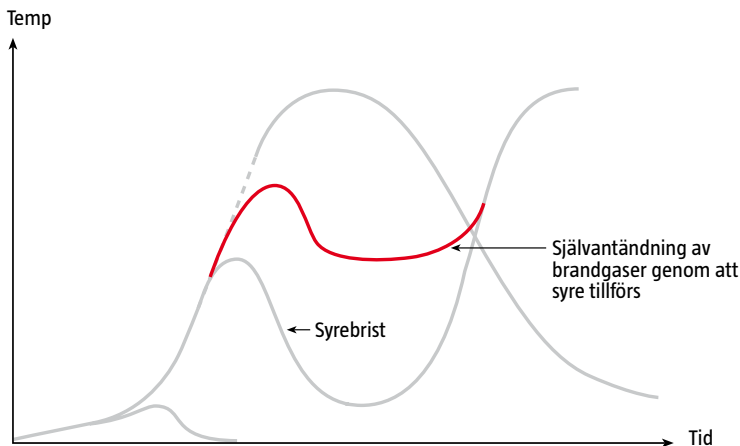
## 6.4 Självantändning av brandgaserna

I sällsynta fall kan brandgaserna självantända, t.ex. när man öppnar en dörr. För detta krävs att brandgasernas temperatur är hög. Temperaturerna behöver oftast ligga mellan 500–600°C.

Det syrefattiga utrymmet innehåller brandgaser, som har en temperatur som överstiger den termiska tändpunkten, vanligtvis över 500–600°C.

Då brandgaserna tillåts strömma ut genom en öppning, som kanske uppstått då rökdykarna tränger in i rummet, kommer brandgaserna att blandas med luft (syre). Eftersom gasernas temperatur befinner sig över den termiska tändpunkten kommer luft/bränsleblandningen att självantända och brinna utanför utrymmet.

När luft strömmar in i utrymmet blandas brandgaserna ut, och resultatet blir att det går att se hur branden succesivt växer in i rummet. Flammorna är i detta fall diffusionsflammar. Detta scenario är egentligen en fortsättning på det tidigare brandförlopp, som avbröts på grund av syrebristen. Branden kan nu nå den fullt utvecklade rumsbranden, under förutsättning att öppningen är tillräckligt stor. Brandförloppet kan accelerera till en fullt utvecklad rumsbrand (se figur 87).



Figur 87. Brandgasernas temperatur är i det här fallet högre än normalt.

Denna situation uppstår oftast när det finns någon mindre öppning i utrymmet. Öppningen förser branden med syre och är placerad så att utflödet av brandgaser blir begränsat. Ett exempel på detta kan vara en lägenhetsbrand, där brandgaser strömmar ut genom någon sprucken ruta på baksidan av byggnaden. När sedan dörren till trapphuset öppnas kan gaserna vara heta och självantända.

Stänger man till utrymmet, sedan man utanför dörren har sett en självantändning av brandgaserna, kommer lågorna att försvinna allt eftersom syret förbrukas.

Självantändning av brandgaser kan ibland observeras då man försöker ventilera en vindsbrand. Brandgaserna tändes då direkt vid kontakt med luften. Detta förutsätter givetvis att branden är ventilationskontrollerad.

Det kan vara svårt att uppfatta utifrån om brandgaserna självantändes i öppningen eller om flammorna härstammar från rummets inre delar.

## 6.5 Backdraft

Detta avsnitt ger en definition av fenomenet backdraft. Vidare beskrivs ett typiskt scenario om inströmningen av luft då en öppning görs. Avsnittet beskriver också vilka förhållanden som leder till att backdraft inträffar och kännetecknen på nära förestående backdraft.

I enstaka fall kan brandgaser antändas mycket snabbt. Detta brukar kallas backdraft. Antändningen kan ske så kraftfullt att man inte hinner reagera. Backdraft är ett mycket farligt fenomen som kan överraska räddningstjänstens personal. Det är därför mycket viktigt att kunna identifiera de situationer som kan leda till backdraft.

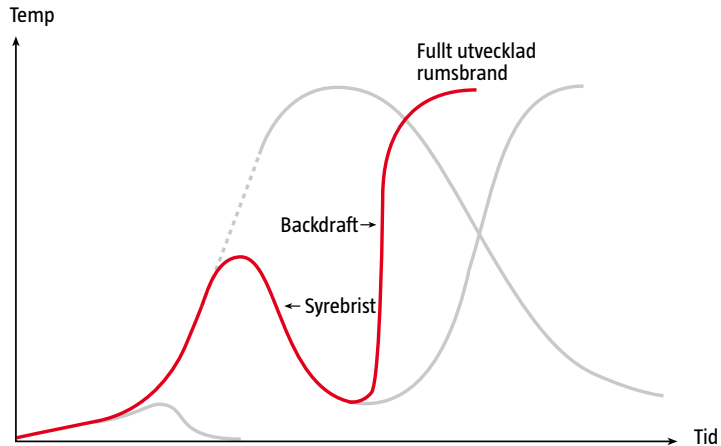
En backdraft kan inträffa på följande sätt: En brand har blivit ventilationskontrollerad. Det har samlats mycket oförbrända gaser i brandrummet. Då öppnas dörren och det strömmar in luft. Luftströmmen skapar en förblandad gasblandning – en förblandad zon. Tändkällans placering spelar här en avgörande roll. Det är placeringen som avgör hur mycket brandgaser som blir förblandade innan antändning sker.

Det uppstår en diffusionsflamma och en förblandad flamma. I den förblandade zonen, som uppstår mellan det bränlerika



*Figur 88. Brandmännen har precis slagit in rutan för att ventilerat ut brandgaser. När luft strömmar in tänds brandgaserna och ett eldklot kastas ut ur öppningen.*

Figur 89. Backdraft innebär en hastig ökning av temperatur och tryck.



Lufttillförseln är den utlösande faktorn för backdraft.

brandgaslagret och den inkommande luften, breder en förblandad flamma ut sig mycket snabbt. Bakom denna flamma pressas de varma pyrolysisprodukterna nedåt och blandas med det luftrika skiktet. Detta orsakar en diffusionsflamma. Som synes sker det alltså en snabb förbränning och expansion i brandrummet, vilket gör att de brandgaser som inte antänds i brandrummet "skjuts ut" och antänds utanför. Genom att backdraft är en snabb och kraftig expansion av brandgaser blir resultatet en eldboll utanför öppningen. Backdraft kan leda till stadiet "fullt utvecklad rumsbrand" men ibland bara till att utrymmet töms på brandgaser och kvar i rummet blir bara små brandhårdar eller glödbrännder.

### 6.5.1 Definition av backdraft

Fenomenet backdraft har ännu inte definierats av internationella standardiseringsorganisationen. De definitioner av fenomenet som används internationellt (t.ex. NFPA, FRSS och IFES) är dock likartade. Begreppet backdraft används i många länder, bl.a. USA, England, Japan och Nya Zeeland.

Fire Research Station (FRS) har föreslagit följande definition (översatt till svenska):

Begränsad ventilation kan leda till att en brand producerar brandgaser som innehåller stora mängder oförbrända gaser.

Om dessa samlas, kan tillförseln av luft till brandrummet, när en öppning görs, leda till en deflagration som sprider sig genom rummet och ut genom öppningen. Denna deflagration kallas "backdraft".<sup>20</sup>

National Fire Protection Association (NFPA) har följande definition:

*"Backdraft is the burning of heated gaseous products of combustion when oxygen is introduced into an environment that has a depleted supply of oxygen due to fire. This burning often occurs with explosive force."*<sup>20</sup>

Institute of Fire Engineers (IFE) föreslår följande:

*"An explosion of greater or lesser degree, caused by the inrush of fresh air from any source or cause, into a burning building, in which combustion has been taking place in a shortage of air."*<sup>20</sup>

Definitionerna är snarlika och vilken som används är relativt oväsentligt. I vissa definitioner används ordet "explosive" vilket indikerar att en explosion skulle uppstå. Så behöver dock inte vara fallet; backdraft inträffar ofta på ett relativt lugnt sätt.

Sverige använder en egen definition, i riktlinje med de övriga. Den lyder:

*"Backdraft är den förbränning av oförbrända brandgaser som kan inträffa då luft introduceras i ett utrymme vars syreinhåll är starkt reducerat på grund av branden. Förbränningen kan då ske mer eller mindre snabbt."*

En backdraft förutsätter att en viss del av innehållet är förblandat, annars klassificeras inte händelsen som en backdraft.<sup>31</sup>

I en backdraft ingår följande moment:

- Oförbrända gaser ackumuleras
- En luftrik ström kommer in
- En välblandad region av oförbrända gaser och luft uppstår
- En tändkälla antänder gaserna i den välblandade regionen
- En turbulent deflagration uppstår i rummet
- Ett eldklot trycks ut ur rummet.

Backdraft kan uppstå när branden blir ventilationskontrollerad på ett mycket tidigt stadium, exempelvis om rummet är stängt från början, eller om det endast har begränsade öppningar (se figur 89).

När syrenivån sjunker avtar temperaturen i rummet. Om dörren till rummet sedan öppnas kan brandgaserna antändas och orsaka en backdraft (se figur 89). När backraften har inträffat kan hela rummet involveras i flammor, vilket leder till en fullt utvecklad rumsbrand. Backdraft kan orsaka stor skada i utrymmet utanför eftersom tryckuppsyggnaden kan bli mycket hög där.

### 6.5.2 Ett typiskt backdraftscenario

En brand börjar i ett rum. Förbränningen sker antingen som flammförbränning eller glödbrand. Rummet har en begränsad ventilationsöppning, t.ex. normala läckageareor. Branden växer till dess att syrenivån i rummet blir begränsad. Under denna period kommer ett varmt brandgaslager att ha bildats under taket och det sänker sig neråt. Allteftersom brandgaslagret växer kommer luften, som dras in i brandplymens övre del, att innehålla allt högre mängder oförbrända gaser och allt lägre andel syre.

Denna process leder till ofullständig förbränning. I takt med att effektutvecklingen pga. syrebrist minskar samlas oförbrända gaser i det varma brandgaslagret. Därefter kommer branden antingen att fortgå som en glödbrand eller självslockna, beroende på mängden bränsle och ventilationsöppningens storlek.

Allteftersom tiden går kommer koncentrationen av oförbrända gaser att öka. Det bildas en bränslerik atmosfär i rummet. Bränslets karaktär är mycket avgörande för hur mycket gaser som kommer att ha bildats. Vissa material har lättare för att avge pyrolysoxidprodukter än andra.

En dörr eller ett fönster öppnas därefter i rummet. Detta kan ske t.ex. i samband med att räddningstjänsten tränger in i en lägenhet eller att ett fönster spricker. De varma brandgaserna strömmar ut genom öppningen, och det kommer att sugas in luft i den nedre delen av öppningen (se figur 91).

Detta inflöde av kall luft kallas *tyngdkraftsstyrd strömning*



*Figur 90. Bilden visar en ventilationskontrollerad brand som gått tillbaka till en glödbrand. Det bildas oförbrända brandgaser.*

(engelska: gravity current).<sup>32</sup> När luften rör sig in i rummet blandas den med de bränslerika brandgaserna och det bildas en förblandad gasmassa i en viss zon. Den turbulenta omrörningen sker på luftströmmens ovansida eller genom den turbulens som alstras när det står föremål, t.ex. möbler, i vägen för luftströmmen.

Figur 93 nedan visar den turbulenta mixningen längs med luftströmmen. Denna mixning skapar en blandning som kan ligga innanför brännbarhetsområdet, då pyrolysoverprodukterna späds ut.

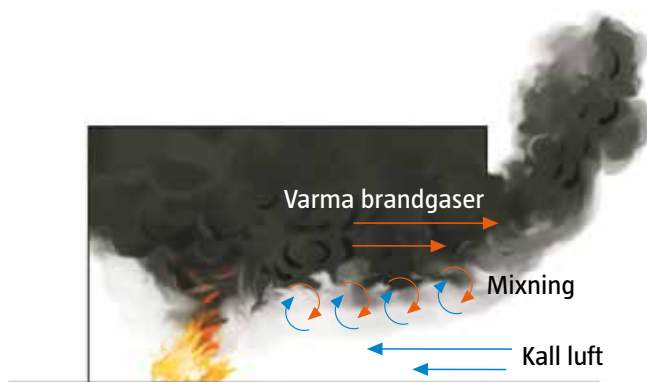
Om brandgaserna befinner sig inom brännbarhetsområdet och en antändningskälla är närvarande, t.ex. en flamma, glödande partiklar eller en elektrisk gnista, kommer blandningen att antändas.

Figur 92 visar hur flammen sprider sig längs den mixade regionen.

Det är flammen som orsakar den snabba expansion av brandgaserna, som tvingar det resterande bränslet med mycket hög hastighet ut genom öppningen där de oförbrända gaserna blandas med frisk luft. När flammen utbreder sig i det förblandade skiktet orsakar antändningen en omedelbar tryckökning. Detta resulterar i ett eldklot, som är mycket karakteristisk för backdraft. Ju mer oförbrända brandgaser det finns, desto större eldklot bildas.

Koncentrationen av brännbara ämnen måste vara hög för att blandningen ska hamna inom brännbarhetsområdet när de bränslerika gaserna späds med luft.<sup>33</sup>

I en backdraft är flammorna delvis förblandade flammor, vilket medför att händelseförloppet blir snabbt.



Figur 91. Luft strömmar in och brandgaser strömmar ut.

Backdraft uppstår i situationer där branden blir ventilationskontrollerad på ett mycket tidigt stadium.



Figur 92. Antändning av den förblandade regionen, motsvarande det mörka området.

Figur 93. En idealiserad bild av tyngdkraftsstyrd strömning in i rummet.



Strömningen som gör att brandgaser och luft blandas är helt avgörande för händelseförloppet. Därför ska vi nu ta reda på vad det är som styr strömningen in i rummet.

### 6.5.3 Tyngdkraftsstyrd strömning

Som tidigare nämnts kommer kall luft att strömma in i rummet om det öppnas. De varma brandgaserna strömmar då ut, och eftersom strömningen styrs av tyngdkraften skapar det en blandning inom brännbarhetsområdet.

Hastigheten hos den inströmmande luften beror på bl.a. följande faktorer:

- Rummets storlek (Hur lång tid tar det för luftströmmen att komma in i rummet?)
- Rummets öppningsfaktor (olika typer av öppningar ger olika mixning).
- Densitetsskillnaden (styr luftströmmens hastighet).
- Takhöjden (skapar olika tyngdkraft i låga respektive höga rum).
- Turbulens (kan t.ex. bero på att brandmännen sitter i dörröppningen).

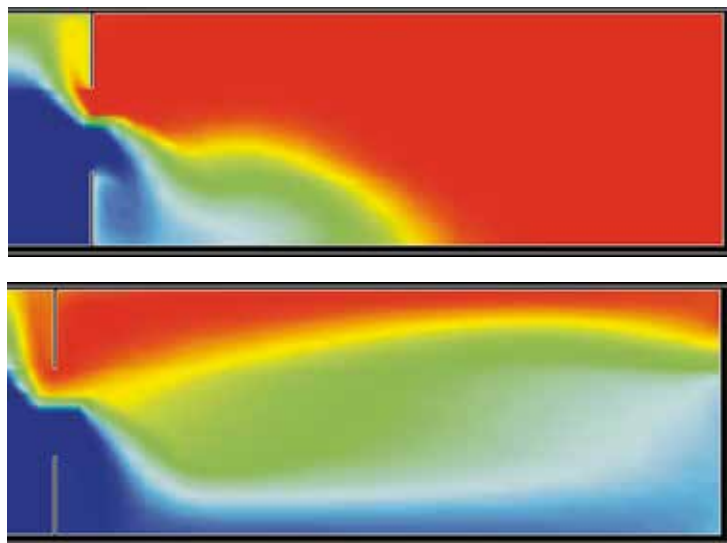
Figur 94 är enbart kvalitativ, hämtad från en datorsimulering.<sup>34</sup> Första sekvensen är tagen när luftströmmen är på väg in i rummet, och den andra bilden är tagen när luftströmmen har vänt mot bakväggen. Blått motsvarar luft och rött motsvarar brandgaser. Grönt och gult är blandat i något förhållande och skulle kunna motsvara en brännbar region.

Mixningen kommer att uppstå pga. att det skapas turbulens när luftströmmen passerar in i rummet. *Givetvis är området mellan det bränslerika skiktet och luftströmmen mest välblandat.*

Om luftströmmen vänder mot bakväggen blir den blandade regionen mycket större. Sammanfattningsvis kan man säga att en eventuell fördröjning kan bli mycket farlig.

Om strömmen får möjlighet att reflekteras mot bakväggen kommer det förblandade området att öka mycket. Det måste beaktas vid inträngning i en lägenhet. En fördröjning kan vara mycket farlig.

För att få en uppfattningen om hur lång tid det tar för en luftström att komma in i ett rum är det bra att känna till några



Figur 94. I detta fall är öppningen ett fönster. Bilderna visar att en mycket större del blir förblandad när luftströmmen har vänt mot bakväggen och är på väg ut igen.<sup>34</sup>

schablonvärden. Hastigheter på luftströmmen i storleksordningen  $\approx 1\text{--}2$  m/s kan ses som ett sådant schablonvärde. Hastigheten kan beräknas med en enkel ekvation, som finns beskriven på sid. 182.

Ju högre brandgasernas temperatur är desto snabbare rör sig luftströmmen in i rummet.

En brandman öppnar dörren, kryper in i lägenheten och stänger därefter dörren efter sig. I de flesta fall är den luftström han har släppt in tillräcklig för att skapa en brännbar blandning inne i rummet. *Det är mycket viktigt att veta vad som händer när man öppnar en dörr till ett brinnande rum.*

Ju högre brandgasernas temperatur är, desto snabbare rör sig luftströmmen in i rummet.

Brandgastemperatur (°C)	v (m/s)
150	1,1
300	1,6
500	2,2

Strömningen i rummet uppstår när flödet passerar öppningens kanter. Där alstras turbulensen. På samma sätt alstras turbulens när det finns mycket inredning i rummet, eller när vi själva kryper omkring inne i rummet eller t.ex. använder

Tabell 7. Luftströmmens hastighet vid olika temperatur (ungefärliga värden). Värdena påverkas bland annat av rummets höjd och typ av öppning.

en fläkt. Därmed inte sagt att man inte bör använda fläktar. Snarare bör man iakttaga särskild försiktighet och vara medveten om riskerna när man använder en fläkt.

När vi nu går vidare ska vi diskutera antändning av gasmassan. Då är det viktigt att ha kännedom om hur brandgaserna mixas.

#### **6.5.4 Antändning av den förblandade regionen**

Nedanstående beskrivning förutsätter ett rum som öppnas efter ett litet tag. När rummet öppnas kommer det in luft som blandas med de bränslerika brandgaserna i rummet. För att antändning ska kunna ske krävs att det finns en tändkälla i den förblandade regionen. Antändningen kan ske vid olika tidpunkter i förloppet. Den förblandade regionen kommer att uppstå på olika platser och dessa varierar med tiden.

1. När luftströmmen är på väg in i rummet.
2. När luftströmmen ska lämna rummet.
3. Med mycket lång fördröjning när luftströmmen lämnat rummet.

Den förblandade regionen kommer i dessa olika fall att vara olika stor, och detta medför att antändningen kommer att resultera i olika kraftiga backdraft. Tändkällan i figurerna nedan är placerad längst in i rummet vid bakväggen. I verkliga fall kan tändkällan givetvis befinna sig varsomhelst i rummet.

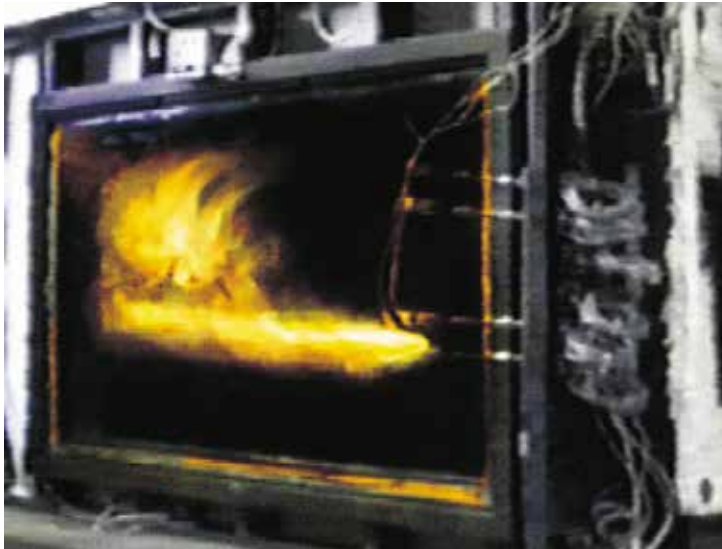
##### *1. När luftströmmen är på väg in i rummet*

Om antändningen uppstår när luftströmmen är på väg in i rummet kommer en förblandad flamma att utvecklas i gränsskiktet, se figur 95. Observera att bilderna endast schematiskt beskriver vad som händer. Som tidigare är det gula och gröna någon typ av förblandad zon.

När de förblandade gaserna antänds kommer det att finnas en turbulent förbränningsregion bakom den förblandade flamman (se figur 96). Denna region uppstår då de varma produkterna stiger upp och pressar ner de oförbrända brandgaserna. Gaserna träffar det luftrika skiktet och förbränns. Expansionen trycker ut de resterande brandgaserna genom öppningen. Det är detta som skapar det karakteristiska eldklotet.<sup>32</sup>



*Figur 95. Luftströmmen har precis nått bakväggen. Det blandade området är stort.*



*Figur 96. Här visas de olika typer av flammor som utvecklas. I underkanten syns en förblandad flamma och mot bakväggen en diffusionsflamma.*

Ju större del av volymen som är förblandad vid antändning desto snabbare blir förloppet. Förblandade flammor och diffusionsflammor visar stora skillnader när det gäller förbränningshastigheter. I detta exempel finns tändkällan placerad i den förblandade zonen, vilket är en förutsättning för antändning.

I många verkliga fall finns tändkällan långt nere i brandrummet, t.ex. vid glödbränner. Tändkällan är ofta initialbranden, som flamar upp.

## 2. När luftströmmen ska lämna rummet

Om antändningen inte sker förrän luftströmmen har reflekterats mot bakre väggen kommer det förblandade området att vara mycket stort (se figur 97).

Om gasblandningen antänds blir flammen mer sfärisk i sin

Figur 97. En större del är förblandad när luftströmmen vänt, nästan halva rummets volym.



utbredning, och tryckökningen blir kraftigare på grund av att en större del av gasmassan är förblandad. Ju mindre öppning rummet har desto större blir tryckökningen i rummet. Flammans utbredning visas i figur 98.<sup>32</sup>

Resultatet av expansionen blir ett stort eldklot utanför rummet. Eldklotets storlek beror på hur mycket oförbrända gaser som har samlats i rummet.

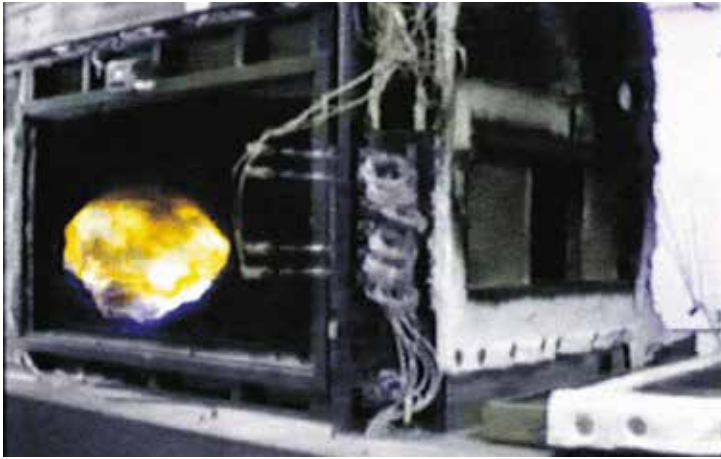
### 3. Med mycket lång fördröjning, då luftströmmen har lämnat rummet

När den inkommande luftströmmen har blandats med de bränslerika gaserna och studsat mot bakväggen och där efter lämnat rummet, består den nedre delen av rummet nästan enbart av ren luft. Trots detta kan det fortfarande finnas brännbara gaser ovanför dörrkarmen i rummet (se figur 101).

När antändningen inträffar sker flamspridningen i höjd med dörrkarmen. Då de brännbara gaserna har mindre volym blir effektutvecklingen inte lika kraftig. Det är dock viktigt att observera att det i större, framför allt högre lokaler, kan finnas större mängder brännbara gaser. Då är riskerna stora.

Fördröjningen kan vara ett antal minuter. Figur 102 visar hur flammen sprider sig i höjd med dörrkarmen, och hur de resterande gaserna slungas ut ur rummet och brinner i en mindre eldboll. I det här försöket har alltså tändkällan varit placerad högt uppe i rummet.

Om avståndet är stort mellan dörrrens övre kant och taket kan mycket gaser blandas där och skapa allvarliga konsekvenser,



*Figur 98. Här visas att flammen är mer sfärisk i sin utbredning när antändning sker på den reflekterande luftströmmen.*



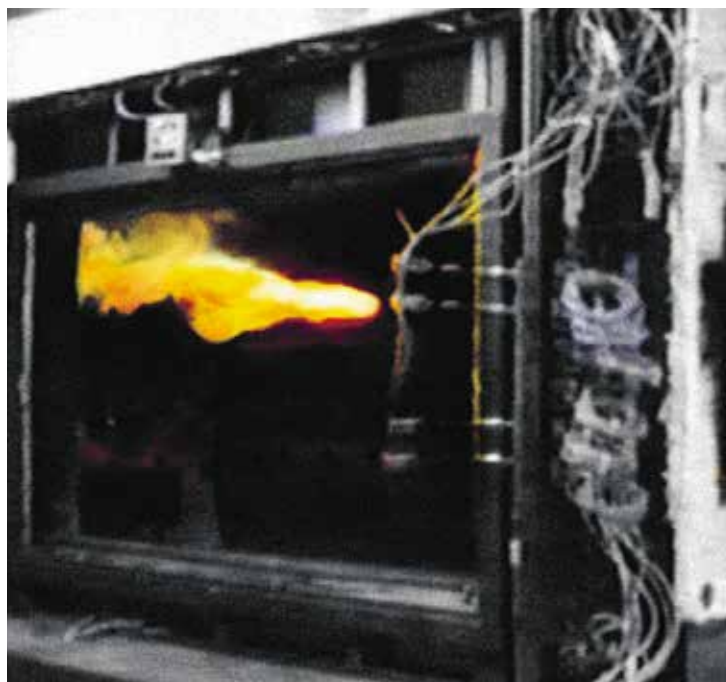
*Figur 99 och 100. Eldklot som skapas pga. expansion av de varma brandgaserna.*



*Figur 101. Det finns fortfarande brännbara gaser högst uppe i rummet.*



*Figur 102. Flamman sprider sig i höjd med dörröppningen. Längre ner i rummet finns inga brännbara gaser.*



även om miljön i nedre delen av rummet är bra. Detta har inträffat några gånger i Sverige.

Om vi jämför de tre situationerna kan vi konstatera att den största tryckökningen uppstod vid antändning medan luftströmmen är på väg att lämna rummet. Detta beror på att det förblandade området då är som störst. Ju mindre öppning desto större tryck.

Observera att antändningskällans placering givetvis styr de förlopp som kommer att bli följden. I figurerna ovan finns tändkällan placerad långt bak i rummet och en bit från golvet. Om en tändkälla skulle finnas någon annanstans så kommer givetvis inte förloppet att se likadant ut. Detta är viktigt att

veta när man diskuterar olika backdriftssituationer. Tändkällan måste finnas i den brännbara regionen exakt vid rätt tillfälle. Sannolikheten för detta är relativt liten. Detta är en av orsakerna till att backdrift inte inträffar så ofta.

### 6.5.5 Förhållanden som leder till backdrift

Att säga exakt vilka förhållanden som skapar backdrift är en svår uppgift. Man kan dock ange några av de faktorer som krävs för att en backdrift ska uppstå.

Att backdrift sällan inträffar beror på att vi är bra på att kyla brandgaserna med vatten och att det sällan finns tillräcklig mängd brännbara gaser och tändkälla närvarande vid samma tidpunkt. I allmänhet är det svårt att åstadkomma de höga bränslemängder som krävs.

Följande faktorer påverkar uppkomsten av backdrift:

- *Närvaron av en tändkälla.* En tändkälla måste finnas inom den brännbara regionen. Oftast finns det mest brännbara området i gränsskiktet mellan det bränslerika brandgaslagret och den inströmmande luften. I många fall kan tändkällorna finnas långt nere i rummet. Det är kanske främst därför som backdrift inte är en så vanlig företeelse.
- *Bränslets placering (och typ av bränsle).* Ju högre upp bränslet är placerat i rummet desto mer brännbara pyrolysoxidprodukter kommer att bildas där.<sup>35, 36</sup> Den självklara förutsättningen är givetvis att det finns tillräckligt med bränsle i rummet för att den gaskoncentration som krävs för backdrift ska uppnås.
- *Öppningarnas placering/storlek (ursprungsöppningarna).* Ju lägre ner öppningen sitter desto mindre andel av pyrolysoxidprodukterna försvinner ut genom öppningen. Om öppningen är för liten är det sannolikt att branden självslocknar. Är den för stor kommer branden att växa till övertändning direkt. Öppningen behöver därför vara lagom stor. Observera att detta gäller den öppning som finns i rummet när branden startar, dvs. inte den öppning som görs vid inträngningen.
- *Isoleringen i rummet.* Ju bättre isolerat rummet är desto

Bastubränder kan leda till backdrift.





*Figur 103. Bastu. Ett vanligt scenario som kan leda till backdraft.*

högre temperatur bildas där. Temperaturen kan också bibehållas längre tid även om branden i det närmaste har självslocknat. Speciellt om bränslet är högt placerat i rummet kommer mycket oförbrända produkter att bildas. Ju lägre pyrolystemperatur bränslet har desto lättare uppnås den koncentration som krävs för att backdraft ska kunna uppstå. Koncentrationen av bränsle måste vara mycket hög.<sup>37</sup>

Vid bastubränder förekommer de flesta av dessa faktorer. Det finns gott om bränsle som är placerat högt upp i rummet. Utrymmet är välisolerat, vilket gör att temperaturen bibehålls länge. En springa på dörrens nedre kant tillåter ofta att en mindre mängd syre kan komma in i brandrummet. Halten oförbrända gaser är uppenbarligen tillräcklig vid bastubränder.



*Figur 104. Brandgaser läcker ut ur en byggnad men inga flammor syns till. Räddningsledaren överväger vad han ska göra.*

## 6.6 Riskbedömning

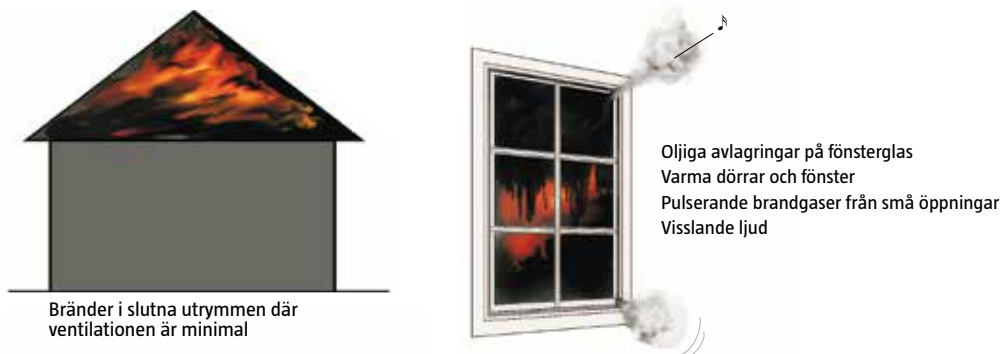
Givetvis finns det risker med att hantera en ventilationskontrollerad brand. Dessa situationer kan vara mycket riskfyllda och tyvärr är det inte alltid enkelt att upptäcka varningssignaler. Det är svårt att veta vad som kommer att ske innan vi går in i utrymmet. Men ju fler varningssignaler som passar in på backdraft, desto större är sannolikheten att en sådan inträffar. Är kännetecknen inte så tydliga kan någon av de andra situationerna uppstå.

Här får vi göra en återblick till övertändningsavsnittet där brandgasernas färg diskuterades ingående. Brandgasernas färg kan ibland användas som kännetecken på en nära förestående backdraft. Enbart brandgasernas färg kan inte användas, men i kombination med ett antal andra kännetecken kan man få en bra uppfattning om det är någon fara för en backdraft. Den utlösande faktorn vad gäller backdraft är luft.

Nedan anges ett antal kännetecken på en nära förestående backdraft.

### 6.6.1 Varningssignaler

Det är viktigt att göra noggranna riskbedömningar, både före och under en pågående insats. Nedanstående tecken i kom-



Figur 105. Varnings-  
signaler för backdraft.

ination, bör uppfattas som varningssignaler på en nära förestående backdraft. Att enbart beakta brandgasens färg som en varningssignal är således långt ifrån tillräckligt. Innan brandmannen öppnar dörren till brandrummet måste följande beaktas:

- bränder i slutna utrymmen där ventilationen är minimal, t.ex. slutna rum eller undertaksutrymmen.
- oljiga avlagringar på fönsterglas, vilket är ett tecken på att pyrolysisprodukter kondenserat på kalla ytor. Tecken på underventilerad brand.
- varma dörrar och fönster som indikerar att branden pågått ett tag, kanske med begränsad ventilation.
- pulserande brandgaser från små öppningar i rummet, alltså kännetecknen på underventilerade förhållanden. När luften kommer in i rummet sker en förbränning, vilket gör att syret tar slut samtidigt som temperaturen stiger. Därefter sjunker temperaturen långsamt och när trycket minskat lite kan luft sugas in i rummet.
- visslande ljud i öppningar som kan relateras till brandens pulsation.

Brandgasernas färg är ingen säker varningssignal.

I de fall där beslut om inträngning tas bör brandmannen vara uppmärksam på följande kännetecken, precis när han har öppnat brandrummet eller tittar in i rummet. Också dessa tecken, i kombination, kan vara varningssignaler för en nära förestående backdraft.



- en orange glöd eller en icke synlig brand som kännetecknar att branden pågått en längre tid med syrebrist.
- brandgas som dras tillbaka genom öppningen vilket kännetecknar att en luftström kommer in i rummet. Varma brandgaser kommer att lämna rummet, kanske genom en annan öppning, och ersättningsluft kommer att dras in genom öppningen. Det kan se ut som om brandgaserna dras mot branden.
- Neutrallagret befinner sig nära golvet.
- Visslande ljud kan uppkomma på pga. att luft dras in med hög hastighet genom små öppningar. Tyvärr kan backraften då redan vara ett faktum och de personer som befinner sig i öppningen kan komma att skadas svårt, till och med dödligt.

### 6.6.2 Åtgärder

Det är mycket viktigt att vi gör riskbedömningen noggrant. Varje inblandad är sitt eget skyddsombud och bör fundera kring frågor som t.ex.:

*Figur 106. Räddningsledaren måste värdera riskerna i förhållande till vad som kan uppnås med insatsen.*



Figur 107. Brandgaserna väller ut från en vindsbrand.

1. Hur tät är konstruktionen? Finns det läckage i golvnivå? Är utrymmet välisolerat?
2. I vilken fas är branden? Bränslekontrollerad eller ventilationskontrollerad? Hur länge har det brunnit?
3. Var finns den största brandpåverkan? Var kan tändkällor finnas? Var ska vi ventilera?
4. Hur stor är brandbelastningen? Mängden brännbart material och hur det är placerat kan avgöra mängden brännbara gaser. Vilket material är det fråga om?
5. Hur sker luftinströmning vid insats? Bildas det mycket turbulens? Turbulens kan påverka förloppet.

Det är givetvis viktigt att tänka på, och ta ställning till de risker som är förknippade med den inriktning som man väljer.<sup>38</sup> Precis som det står i 11§ i AFS 1995:1 "Räddningsledaren ska se till att de risker som rök- och kemdykare utsätts för är rimliga med tanke på vad som kan uppnås med insatsen".

Om riskerna tycks vara för stora i förhållande till målet med insatsen kanske man blir tvungen att använda en defensiv taktik.

Vid risk för backdraft är det bäst att ventilera utrymmet direkt till det fria, om detta är möjligt.

Ventileringen ska ske så högt som möjligt för att få ut oförbrända brandgaser. Eftersom det finns ett övertryck är det viktigt att det finns en "fri väg" ut för en eventuell backdraft. Annars kan tryckökningen bli mycket stor. Backdraft är en kortvarig händelse. Därför har rätt klädda brandmän goda möjligheter att klara sig, även om de blir överraskade av en antändning.

Man kan också försöka att kyla brandgaserna. Bäst gör man det utan att öppna utrymmet, t.ex. genom dimspik eller skärsläckaren.

**Dimspiken** finns i två utföranden, *dimspik attack* och *dimspik begränsning*. Tillvägagångssättet är följande: först slår man ett hål i konstruktionen. Därefter slår man in dimspiken. Eftersom man vid denna släckning inte öppnar dörrar och fönster eller gör håltagning får man inte in något extra lufttillskott i branden som skulle kunna öka brandens intensitet. Dimspiken ger ungefär 70 l/min vid 8 bars tryck. Dimspik kan med fördel användas vid t.ex. vindsbränder, där branden ännu inte brutit igenom taket (se figur 108).



Figur 108. Dimspik.

**Skärsläckaren** är en utrustning som är under utveckling i Sverige. Skärsläckaren har en unik förmåga att penetrera väggar och ytskikt i kombination med avsevärd släckförmåga, egenskaper som är mycket värdefulla vid brandbekämpning. Vattendropparna i strålen sänker temperaturen mer effektivt än ett vanligt dimstrålrör.<sup>39</sup>

Skärsläckaren finns i två varianter. Den första versionen som togs fram är fast monterad på utsidan av korgen på



Figur 109. Skärsläckare med handhållen lans.



*Figur 110. Skärsläckare med fast monterad lans.*

hävaren. I detta utförande körs den på trycket 200 bar och ger ungefär 40–50 liter/min. Den finns också som handhållen lans och körs här på 300 bars tryck och ger ungefär 30 liter/min.

I vissa fall kan det vara nödvändigt med en snabb invändig insats inifrån, t.ex. vid en livräddningssituation. Ibland måste man öppna utrymmet. Då finns det två alternativa förhållningssätt:

1. Öppna dörren snabbt. Kyl. Stäng dörren snabbt. Upprepa tills temperaturen och trycket har minskat i rummet. Observera att om dörren är öppen bara ett fåtal sekunder är det tillräckligt för att det kommer in för mycket luft, vilket möjliggör en backdraft.
2. Rökdykarna kryper in och drar igen dörren efter sig så snabbt som möjligt, och kyler brandgaserna. Denna metod kan medföra stora risker för personalen. Det är viktigt att inte fastna i dörröppningen. Förutom att riskerna är större där bidrar det också till att skapa ökad turbulens.



Figur 111. Övertrycksfläkt.

I vissa fall kan en övertrycksfläkt användas vid ventilationskontrollerade bränder. Det är dock stor risk att brandens effekt ökar då, eftersom det kan komma in luft i utrymmet.

Fläktar bör användas med stor försiktighet i en backdraft-situation. Fläktar orsakar kraftig turbulens, vilket leder till att brandgaserna blandas och därmed kan bli antändningsbara. Brandgaserna ska kylas före ventilering. Annars är det stor risk att de antänds. Samtidigt medför fläktanvändning att ett utrymme snabbt kan tömmas på brandgaser. Man måste bedöma om fläktar ska användas från fall till fall. I detta val finns inga givna svar.

Fläktar bör användas med stor försiktighet vid ventilationskontrollerade bränder.



## 6.7 Sammanfattning

Vi har sett att det kan uppstå åtminstone fyra olika situationer när vi befinner oss i ett ventilationskontrollerat läge och luft tillförs brandrummet: 1. Branden självslocknar, 2. Brandförloppet återupptas, 3. Självantändning av brandgaserna, 4. Backdraft uppstår.

De vanligaste situationerna är nr 1 och 2, men situation 4 är den absolut farligaste. Detta är skälet till att den beskrivs mest utförligt.

En backdraft inträffar då en mängd oförbrända gaser samlats i brandgaslagret. Om t.ex. en dörr öppnas kommer en luftström att sugas in i brandrummet. Det uppstår en välblandad region, som kan antändas om det finns någon tändkälla närvarande. Detta leder i sin tur till en flamfront, som sprider sig ut genom öppningen och skapar ett eldklot. Processen kan således sägas genomgå följande skeden:

### Fyra utfall av brand:

1. Branden har självslocknat
2. Brandförloppet återupptas
3. Självantändning av brandgaserna
4. Backdraft

- Ansamling av oförbrända brandgaser.
- Inflöde av luftström.
- Mixning av luft och brandgaser.
- Antändning av den förblandade regionen.
- Turbulent deflagration.
- Bildandet av eldboll utanför brandrummet.

Den förblandade regionen är ungefär lika stor för en dörröppning som för en fönsteröppning. Mixning skapas när strömmen passerar en skarp kant på väg in i rummet. Mixning kan också skapas av rökdykarna när de befinner sig i dörröppningen.

Om luftströmmen får vända mot bakväggen kommer det förblandade området att bli mycket större. Sker antändning i det läget blir tryckökningen mycket kraftigare än om antändningen sker när luftströmmen är på väg in i rummet.

Ett tredje scenario inträffar om luftströmmen har lämnat rummet lång tid innan antändningen inträffar. Det kan då fortfarande finnas brännbara gaser ovanför dörrkarmen. I de flesta fall kommer inte den antändningen att orsaka någon kraftig backdraft, vilket helt enkelt beror på att den brännbara gasmassan är så liten. I större lokaler, framför allt där

avståndet mellan taket och överkanten av öppningen är stort, kan volymen bli mycket större. Situationen kan förefalla lugn och brandpersonal kan avancera långt in i rummet utan att märka att det finns kvar brandgaser. När antändningen sker blir konsekvenserna allvarliga.

Backdraft är en kortvarig händelse till skillnad från övertändning. Den utlösande faktorn för backdraft är tillförseln av luft. För övertändning är temperaturen den utlösande faktorn, som gör att strålningsnivån i rummet ökar.

En backdraft består av både en förblandad flamma och en diffusionsflamma. I den förblandade zon som uppstår mellan det bränslerika brandgaslagret och den inkommande luften utbreder sig en förblandad flamma mycket snabbt. Bakom denna flamma pressas de varma pyrolyprodukterna neråt och blandas med det luftrika skiktet. Detta orsakar en diffusionsflamma. Skillnaden i förbränningshastighet hos en förblandad flamma och en diffusionsflamma är mycket stor.

Ju mer av brandgaserna som har förblandats desto snabbare blir flödet ut genom öppningen. Det är därför en backdraft blir kraftigare om antändningen sker när luftströmmen har reflekterats mot bakväggen och är på väg mot öppningen. Ju mindre öppningen är desto kraftigare blir tryckökningen.

Gränserna mellan en övertändning och en backdraft kan i många fall vara flytande. De får avgöras från fall till fall. Ett exempel: *En rumsbrand har pågått en längre tid. Det har samlats oförbrända gaser i rummet. Dörren öppnas till rummet. Det tar ca 20–30 sekunder innan man kan se någon flamma inne i rummet. När flammorna kommer ut genom öppningen är hastigheten låg och det bildas inget eldklot utanför rummet. Är detta en backdraft eller en normal övergång till den fullt utvecklade branden?*

Någonstans finns ju givetvis en gräns mellan en övertändning och en backdraft men den är inte alltid lätt att hitta. Detta beskrivs i kapitel 8.

Backdraft är ett sällsynt fenomen. Detta beror på att de bränslekoncentrationer som krävs för att backdraft ska kunna uppstå är mycket höga. Om en backdraft uppstår beror bland annat på följande faktorer:

- närvaron av tändkälla
- bränslets placering
- öppningarnas placering/storlek
- isoleringen i rummet.

Kännetecken för en förestående backdraft är framför allt pulserande brandgaser från små öppningar och inget synligt tecken på brand.

I många verkliga fall av backdraft får olyckorna allvarliga konsekvenser. Förklaringen är ofta att det är så svårt att uppfatta varningssignalerna för en backdraft.<sup>40, 41</sup>

## Stanna upp och fundera!

1. Vilka flammor är inblandade i en backdraft?
2. En backdraft innefattar ett antal moment. Vilka?
3. Backdraft inträffar mycket sällan enligt statistiken. Varför är det så?
4. Vilka kännetecken finns på en backdraft?
5. Uppstår backdraft pga. ventilationskontroll eller bränslekontroll?
6. Hur kan man skydda sig mot en backdraft?
7. Vilken taktik kan man använda?
8. Leder en backdraft alltid till en fullt utvecklad brand?
9. Vilka är förutsättningarna för att en backdraft ska kunna uppstå?
10. Nämn någon lokaltyp där du tror att backdraft kan uppstå.
11. Ibland kan man se att en brand pulserar. Förklara vad det är som sker då.
12. Vad ska du titta på när du gör en riskbedömning inför en insats?
13. Du öppnar en dörr till en lägenhet där en ventilationskontrollerad brand har pågått ett tag. Vilka olika utfall kan man förvänta sig?
14. Vilket av dessa utfall tror du är vanligast?
15. När du öppnar en dörr till en lägenhet självantänder gaserna direkt. Är detta vanligt? Varför blir det så?
16. Förklara hur en ventilationskontrollerad brand kan leda till övertändning.

17. Vad avgör storleken på ett eldklot i en backdraftsituation.
18. Hur kan det komma sig att en flamma kan komma ut med 15–20 m/s i en backdraft när flammor normalt rör sig betydligt långsammare?
19. Kan en brand i ett enstaka föremål vara farlig ur backdraftsynpunkt?

## Branden på 62 Watts Street

New Yorks brandkår fick den 24 mars 1994 larm om rökutveckling från en skorsten på ett trevåningshus på Manhattan i New York.<sup>42</sup> Byggnaden innehöll fyra lägenheter, en per våning. Samtliga lägenheter hade ingång från ett gemensamt trapphus, utom lägenheten i källarplanet, som hade egen ingång. Byggnaden, som var från slutet av 1800-talet men nyrenoverad, ansågs vara mycket tät. I figur 112 visas en skiss av huset.

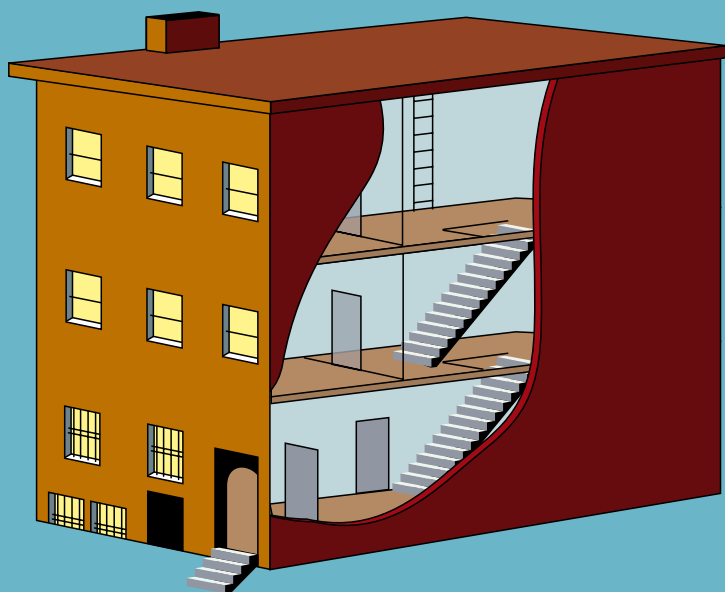
När räddningstjänsten, tre släckbilar och två stegbilar, anlände kom rök från skorstenen, men inga andra tecken på brand syntes. Personalen fick i uppgift att öppna takluckan i trapphuset, och två rökdykargrupper fick i uppdrag att via samma trapphus ta sig in i lägenheterna på första våningsplanet, dvs. bottenvåningen, respektive andra våningen. Rökdykargruppen på bottenvåningen öppnade lägenhetsdörren och noterade att luft drogs in i lägenheten. Därpå följde en varm utåtgående luftström, och det uppstod en backdraft med flammor som sträckte sig från dörren vidare ut i trapphuset. Flammorna sträckte sig från första våningen ända upp genom takluckan i trapphuset och varade i 6,5 minuter. Rökdykargruppen på första våningsplanet (bottenvåningen) hann ducka och dra sig tillbaka ut genom trapphuset. Rökdykargruppen på andra våningen hade ingen reträttväg och de tre brandmännen omkom i denna backdraft.

Exemplet visar att det krävs försiktighet även vid insatser som till det yttre ser ut att vara rutinmässiga och välkända. Det kan finnas parametrar som gör att insatsresultatet blir förödande om de vanliga åtgärderna används vid fel situationer.

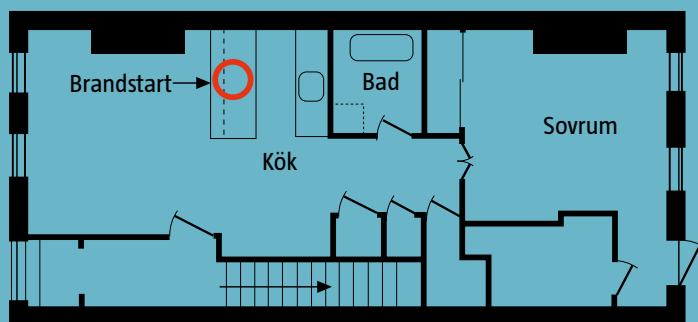
Var kom då allt bränsle ifrån, som kunde underhålla flaman så länge? En skiss över bottenvåningen visas i figur 113. Lägenhetsinnehavaren hade lämnat sin bostad omkring klockan halv sju på morgonen. Han hade placerat en soppåse på den avstängda gasspisen i köket och troligen var det spisens tändlåga som antände påsen. Branden spred sig därefter till ett antal spritflaskor och vidare till trägolvet och annat brännbart. Dörrar och fönster var stängda; den enda källan till förbränningsluft var i vardagsrummet, genom skorstenen till den öppna spisen. Det var från denna skorsten rök och gnistor upptäcktes, omkring en timme efter det att innehavaren lämnat bostaden. Till en början fungerade skorstenen som tryckavlastning och efter ett tag började rök välla ut.

Branden pågick alltså länge under kraftigt underventilerade förhållanden. Den typen av förbränning producerar en mängd oförbrända gaser i form av kolmonoxid och andra gaser. Studier visar att när någon öppnar dörren till lägenheten blandas det in luft och de varma oförbrända brandgaserna kan förbrännas. Det är dock ovanligt att så mycket bränsle samlas som i detta fall.

Vid National Institute of Standards and Technology (NIST) i USA genomfördes en datorsimulering av branden. Indata byggde dels på uppgifter från brandmännen, dels på mätningar vid brandplatsen. Vid simuleringarna kunde situationen återskapas och det visade sig rimligt att så mycket oförbrända brandgaser ansamlats i rummet att flammans kunde brinna i 6,5 minuter.



Figur 112. Byggnaden på 62 Watts Street. Branden var på bottenvåningen och de omkomna brandmännen befann sig på andra våningsplanet.



Figur 113. Planritning över bottenvåningen till byggnaden på 62 Watts Street.



← ★ UT NOD

THE ROYAL SUITE

DU

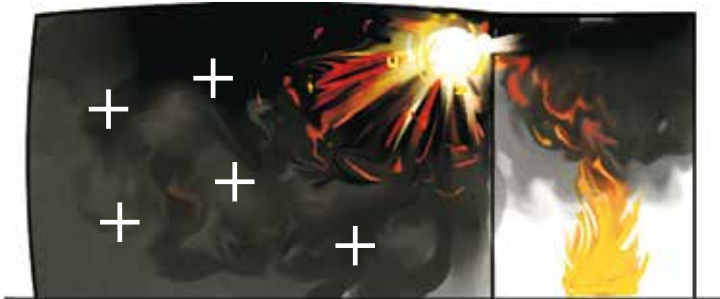
## Kapitel 7

# Brandgasexplosion

Genom boken har vi följt inomhusbrandens utveckling i ett diagram där olika situationer kan identifieras. Diagrammet behandlar dock endast det som händer i brandrummet och inte förhållandena i angränsande rum. Brandgasexplosioner inträffar oftast i angränsande rum. I detta kapitel diskuteras vilka situationer som kan leda till en brandgasexplosion. Dessutom diskuteras hur en brandgasexplosion kan definieras och hur höga tryck den kan bilda.

En backdraft kan ge upphov till kraftiga tryckökningar, om ventilationsöppningarna i rummet är små. Däremot ger en övertändning inte upphov till några särskilt kraftiga tryckökningar. Förutsättningen för en backdraft är att ventilationsförhållandena ändras under brandförloppets gång. Ju större del av gasmassan som är förblandad innan antändning sker, desto kraftigare blir tryckökningen. Vanligtvis är det bara en liten del av gasmassan som är förblandad i en backdraftsituation.

I vissa situationer kan brandgaserna blandas mycket väl med luften innan de antänds. Detta är vanligast i utrymmen



*Figur 114. Brandgaserna har läckt in i angränsande utrymme och antänds av en sticklåga.*



som gränsar till brandrummet, och där det nästan inte finns någon öppning. Eftersom utrymmet då inte kan tryckavlasta en eventuell antändning blir deflagrationen mycket kraftig. Den kan förstöra hela byggnadskonstruktioner. Det är detta fenomen som kallas brandgasexplosion. Brandgasexplosioner kan också inträffa i brandrummet, något som dock är mer sällsynt.

## 7.1 Definition av brandgasexplosion

Begreppet brandgasexplosion finns inte definierat som en ISO-standard. Begreppet används dock i många länder, och de definitioner som existerar är snarlika. I den här boken används följande definition:

*När brandgaserna läcker in i utrymmen som gränsar till brandrummet kan de blandas mycket väl med luften. Denna blandning kan fylla ut hela eller delar av volymen och ligga inom brännbarhetsområdet. Om blandningen antänds kan tryckökningen bli mycket kraftig. Detta kallas brandgasexplosion.*

Det är viktigt att betona att en brandgasexplosion är en deflagration, inte en detonation. Den kan alltså jämföras med en explosion. Begreppen deflagration och detonation har diskuterats tidigare i kapitel 3. En brandgasexplosion uppstår utan att någon öppning i rummet ändras. För att en backdraft ska uppstå krävs att ventilationsförhållandena i rummet ändras under brandförloppets gång. Givetvis kan gränsen mellan de båda begreppen i vissa fall vara flytande. Detta återkommer vi till i kapitel 8.

## 7.2 Förutsättningar för brandgasexplosion

Risken för brandgasexplosion är störst i rum som gränsar till brandrummet. I sådana utrymmen kan blandningen vara väl förblandad. Det enda som saknas för antändning av gasmassan är en tändkälla. Den resulterande effektutvecklingen och flamspridningen sker i en väl förblandad gasmassa, vilket leder till att gaserna expanderar mycket kraftigare än vid

övertändningar och backdraft. Den tändkälla som behövs för att tända en förblandad gasmassa kan vara mycket liten (se kapitel 3).

Ett alternativt scenario för brandgasexplosion kan eventuellt uppstå i brandrummet. Om det endast finns en liten öppning i brandrummet, dvs. om öppningen inte är tillräcklig för att orsaka en övertändning i brandrummet, kommer branden att fortgå under syrebrist. Detta leder till att en stor mängd oförbrända brandgaser ansamlas i brandrummet. Branden i rummet kan skenbart även självslockna. Om temperaturen fortfarande är hög i rummet kan mycket oförbrända gaser ansamlas i brandgaslagret, speciellt om det finns mycket brännbart material högt uppe i rummet. Om rummet är välisolerat kan temperaturen vara hög under en lång tid.<sup>35</sup>

Detta kan förefalla ofarligt, men efter lång tid börjar rummet kylas och luft sugas in. Den bränslerika atmosfären blandas med luft. Syrehalten stiger upp mot ca 10 vol %, som är den ungefärliga mängd som behövs för att gaserna ska kunna tändas. Gaserna i rummet har nu blandats mycket väl, men de tänder inte eftersom det inte finns någon tändkälla närvarande. Tändkällan, t.ex. glöd som fladdrar upp från initialbranden, kan uppstå senare och antända en mer eller mindre förblandad gasmassa.<sup>36</sup> Brandgasexplosionen blir kraftig.

Sannolikheten att tändkällan uppstår när gasmassan är förblandad måste dock anses vara liten. Brandgasexplosioner är svåra att förutsäga och därmed också svåra att skydda sig emot. De inträffar bara några få gånger per år i Sverige. Tyvärr är de så farliga att de kan få dödliga konsekvenser.<sup>40</sup>

### **7.2.1 Faktorer som påverkar kraften i en brandgasexplosion**

#### *Ventilationsöppningens/öppningarnas storlek*

Ju större öppningen är desto lättare tryckavlastas rummet. Om rummet är i det närmaste stängt blir trycket mycket högt om gasmassan antänds. Teoretiskt sett skulle tryck på upp till åtta bar kunna uppstå i ett helt slutet rum.

### Andelen förblandad volym

Ju större del av rumsvolymen som är förblandad desto större blir tryckökningen. Det räcker med att ett fåtal volymprocent av brandgaserna är förblandade för att trycket ska bli mycket högt, se tidigare kapitel 3.

### Byggnadsdelarnas trycktålighet

Den klenaste byggnadsdelen ger vika först, därefter kommer trycket att minska. Om byggnaden vore helt slutet och byggnadsdelarna klarade tryckökningarna skulle trycket kunna bli upp till 8 bar.<sup>12</sup> I de flesta byggnader finns t.ex. fönster, vilket medför att tryckökningen oftast är måttlig. Nedanstående tabell visar ungefärliga värden för hur högt tryck olika byggnadsdelar tål:

**Typiska tryck vid vilka olika byggnadskonstruktioner förstörs**

Konstruktion	Tryck (mbar)	Tryck (Pa)
Glasfönster	20–70	2 000–7 000
Rumsdörrar	20–30	2 000–3 000
Lättväggar (trästomme och träskiva)	20–50	2 000–5 000
Dubbla gipsplattor	30–50	3 000–5 000
10 cm tegelvägg	200–350	20 000–35 000

Tabell 8. Trycktålighet hos olika konstruktioner.<sup>12</sup>

### Förbränningshastigheten ( $S_u$ )

Ju högre förbränningshastighet desto snabbare expansion. Hastigheten beror av vilket ämne som deltar i förbränningen och varierar också beroende på var antändningen av gasmassan sker i förhållande till stökiometri. Förbränningshastigheten är högst vid stökiometriska förhållanden. En vanlig missuppfattning är att blandningen måste ligga mycket nära stökiometri för att resultera i stora tryckökningar. Men trycket blir mycket högt även när gasblandningen ligger nära brännbarhetsgränserna. Förbränningshastigheten påverkas också av turbulensen i rummet. Ju högre turbulens desto högre förbränningshastighet. Turbulensen påverkas t.ex. av inredningen i rummet eller genom brandmännens rörelser.

### *Expansionsfaktorn*

Ju högre sluttemperatur produkterna får i förbränningsprocessen, desto mer expanderar de. Ju mer de expanderar, desto större blir tryckökningen. Produkternas temperatur beror dels på vilket ämne som deltar i förbränningen, dels på var någonstans inom brännbarhetsområdet blandningen antänds.

## **7.3 Riskbedömning**

### **7.3.1 Kännetecknen på en nära förestående brandgasexplosion**

Tyvärr är det mycket svårt att förutsäga en brandgasexplosion. Det kan i sin tur leda till direkt olämpliga handlingar. Därför kan också en brandgasexplosion få allvarliga konsekvenser.

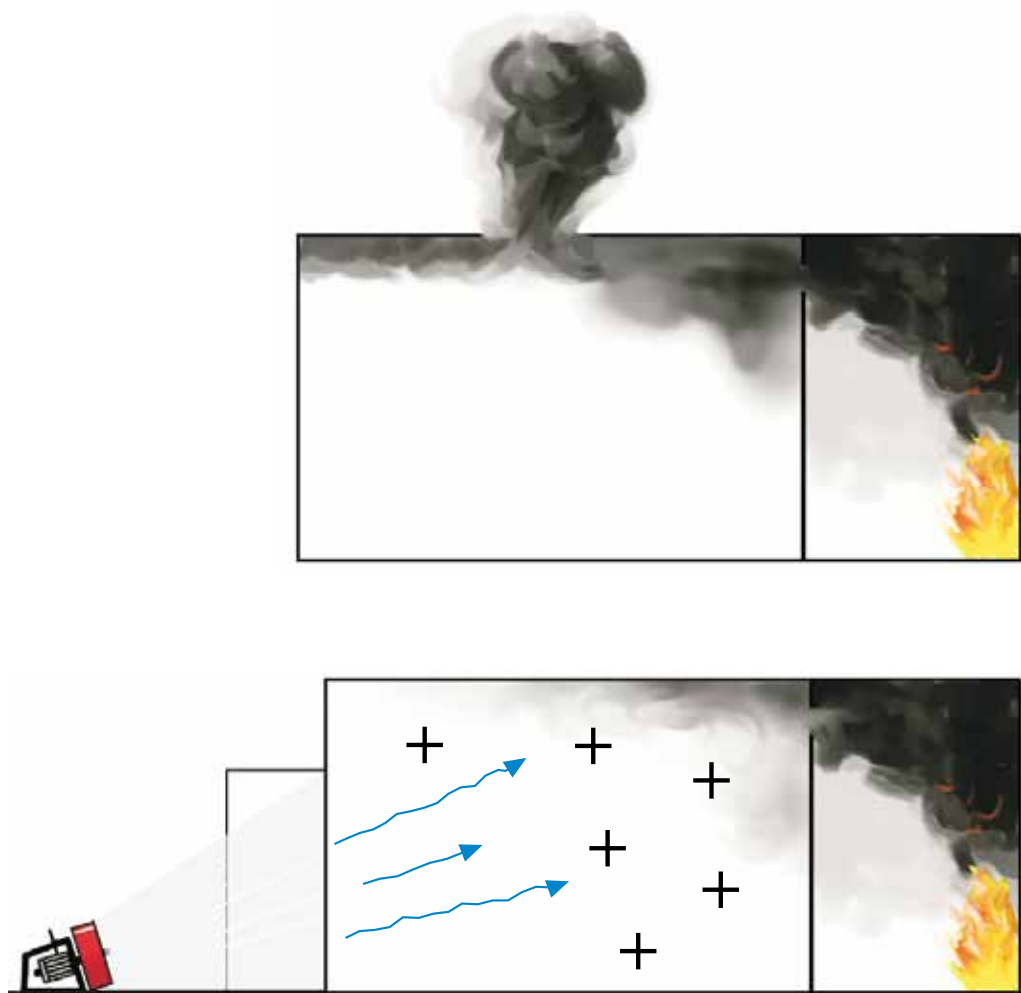
När riskbedömningen genomförs bör följande beaktas:

- Finns det dolda utrymmen? Om så är fallet är det möjligt att det kan samlas brandgaser där. Dolda utrymmen är vanliga mellan tak och undertak och vid sneda tak.
- Är konstruktionen i sig brännbar? Om så är fallet kan man misstänka att materialet på "andra sidan vägg" kan pyrolyseras när värmen leds genom konstruktionen. Detta gäller givetvis också de föremål som kan finnas nära väggen.
- Är genomföringarna dåligt utförda? Då kan man misstänka att brandgaser lätt kan läcka från brandcellsgränser som för övrigt verkar intakta.

Kännetecknen finns i detta fall mer på förebyggande underhåll. Dåliga genomföringar är något som måste åtgärdas långt i förväg. I vissa fall kan det vara möjligt att installera sprinkler eller detektorer, som upptäcker när det samlas brandgaser, såväl i brandrummet som i angränsande utrymmen.

### **7.3.2 Åtgärder**

Om det redan har bildats brandgaser i det angränsande utrymmet är situationen mycket svår att lösa. Det är till att börja med mycket svårt att inertera gaserna genom att spruta in



*Figur 115. Det är viktigt att på ett tidigt stadium ventilerar angränsande utrymme eller att sätta utrymmet under övertryck.*

finfördelat vatten på dem. Brandgaserna kan mycket väl vara relativt kalla och därför mycket svåra att förånga vatten på. Ändå är de ju livsfarliga, temperaturen har ingen betydelse i detta fall.

Bestämmer vi oss för att ventilerat utrymme måste vi vara försiktiga så att vi inte orsakar gnistbildning, vilket är allra farligast. Detta kan bli svårt, om vi måste genomföra håltagning för att få ut brandgaserna. I andra fall är det kanske inte möjligt att ventilerat utrymme på ett enkelt sätt, och då står vi inför en ännu svårare situation.

Så den övergripande slutsatsen måste bli att brandgasexplosioner enklast undviks genom förebyggande underhåll, samt att utrymme ventileras på ett tidigt stadium innan det har hunnit bildas brandgaser inom brännbarhetsområdet. Förutsättningen är givetvis då att brandkåren får ett tidigt larm och snabbt kan vara på plats.

På brandplatsen kan det vara viktigt att få tag i personer som är välbekanta med objektet. Om vi på ett tidigt stadium får tillgång till ett bra ritningsunderlag, så underlättar det arbetet avsevärt.

Ibland hinner vi kanske trycksätta utrymme innan det fylls med brandgaser. Det räcker dock med mindre läckage för att det ska bli svårt att göra detta.

## 7.4 Sammanfattning

En brandgasexplosion uppstår då en förblandad gasmassa antänds i ett rum eller ett utrymme. Det vanligaste är att det sker i ett utrymme i närheten av brandrummet. Där kan brandgaserna blandas väl. Det är till största del förblandade flammor som styr detta fenomen. Brandgasexplosionen kan också inträffa i brandrummet, men det är mer sällsynt.

Hur kraftig tryckökning brandgasexplosionen orsakar beror bl.a. på följande:

- ventilationsöppningens/öppningarnas storlek
- andel förblandad volym
- byggnadsdelars trycktålighet
- förbränningshastigheten ( $S_u$ )
- expansionsfaktorn.

Det bör tilläggas att det, när man jämför den tryckökning som uppstår, inte finns någon skarp gräns mellan en brandgasexplosion och backdraft. Backdraft förutsätter dock att någon ventilationsöppning ändras. Karakteristiskt för brandgasexplosion är att brandgaserna är förblandade och att tryckökningen därför kan bli mycket stor. Under en över-tändning är det däremot diffusionsprocessen som styr.

Vid läckage av brandfarliga vätskor bildas ofta stora mängder förblandade volymer, vilket kan leda till kraftiga tryckökningar om de antänds. Detta beror på vätskornas flampunkt.

Givetvis kan samma situation uppstå även när brandfarliga vätskor inte är inblandade. Enda skillnaden är att brandgaser innehåller en hel del partiklar som verkar som termisk barlast och som därför sänker förbränningshastig-heten något.

Kännetecknen på en nära förestående brandgasexplosion kan i många fall vara svåra att uppfatta. De har till stor del med byggnadstekniska åtgärder att göra, t.ex. hur genom-föringar är utförda, om brandcellsgränserna är intakta och om det finns dolda utrymmen. Detektorer eller sprinkler kan hjälpa till att förebygga brandgasexplosioner. Åtgärder på platsen kan bli att ventiler eller trycksätta utrymmet innan brännbara brandgaser samlas.

## **Stanna upp och fundera!**

- 1. Varför uppstår brandgasexplosioner så sällan?*
- 2. Vilka faktorer avgör hur kraftig en brandgasexplosion blir?*
- 3. Vilka flammor är involverade i en brandgasexplosion?*
- 4. Behöver gasmassan uppta hela volymen för att det ska bli höga tryck?*
- 5. Hur höga tryck kan teoretiskt uppstå i en brandgas-explosion?*
- 6. Hur höga tryck kan praktiskt uppstå i en brandgas-explosion?*
- 7. Varför är det osannolikt att en brandgasexplosion ska uppstå i brandrummet?*

8. Vilka kännetecken finns på en nära förestående brandgasexplosion?
9. Hur ska vi göra för att förhindra en brandgasexplosion i ett utrymme?
10. Vilka förebyggande brandskyddsåtgärder kan förhindra brandgasexplosioner?



## Explosionen på Grand Hotel i Helsingborg

Brandgasexplosioner inträffar som tur är inte så ofta. Det som inträffade på Grand Hotel i Helsingborg var dock en sådan olycka.

Klockan 20.39 den 12 januari 1995 kom ett automatiskt brandlarm från Grand Hotell till Helsingborgs brandförsvär. Någon minut senare kom det också ett telefonlarm från hotellet. Personalen tyckte att det luktade rök från konferensavdelningen. När räddningsstyrkan anlände till olycksplatsen några få minuter efter larmet hördes en kraftig explosion. Stora fönsterrutor krossades i byggnaden och glassplittret hamnade ute på gatan. Den tryckvåg som skapades var således kraftig.

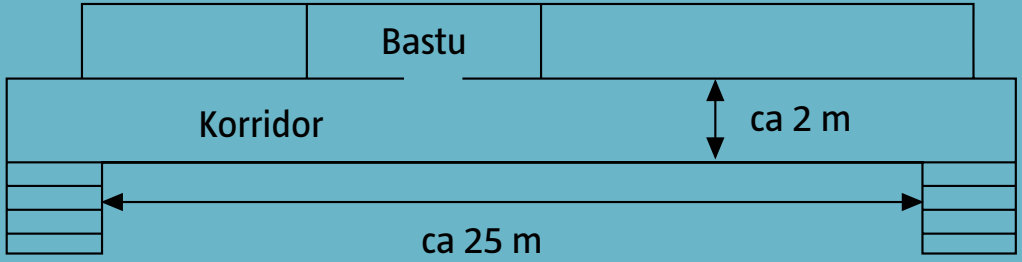
Utredningen visade efteråt att branden börjat i en bastu, som var belägen mitt på andra våningsplanet. Bastun låg i anknäring till en hotellkorridor (se figur 116). Hotellkorridoren var ca 25 meter lång.

Branden hade orsakats av ett elfel och troligen pågått en längre tid utan att det automatiska brandlarmet hade reagerat. Bastun var avskild från korridoren med dubbla gipsskivor och dessa lyckades begränsa branden. Men brandgas kunde läcka ut till ett utrymme mellan undertaket och det ordinarie taket; detta utrymme fanns ovanför hotellkorridoren (se figur 117).

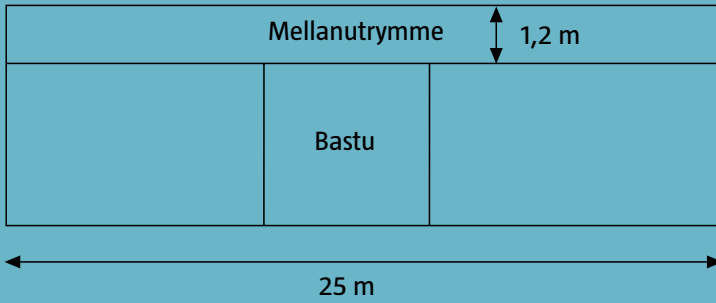
Utrymmet var 2,2 meter brett och 1,2 meter högt och innehöll bl.a. ventilationskanaler. Hotellkorridoren var som nämnts ca 25 meter lång, vilket innebar att en stor volym fylldes med brandgaser. I detta utrymme fick brandgaserna möjlighet att blanda sig mycket väl med luften, eftersom det inte fanns någon tändkälla i inledningsskedet. Blandningen befann sig inom brännbarhetsområdet när den sedan antändes. Tändkällan kan möjligtvis ha varit en sticklåga från bastun.

Antändningen orsakade en kraftig brandgasexplosion, och trycket uppskattades till ca 50–250 mbar övertryck. Detta medförde att glassplitter sköts in i väggarna, dörrar sprängdes, fönsterrutor trycktes ut på gatan och stora delar av undertaket rasade ner. Denna typ av förbränning, dvs. när en större brandgasvolym antänds inom brännbarhetsområdet, ger en avsevärd tryckökning. Ju närmare stökiometri blandningen befinner sig desto större blir tryckökningen när antändningen sker.

Fem personer skadades vid denna brandgasexplosion, dock ingen allvarligt. Totalt fanns 32 personer på hotellet när den inträffade.



Figur 116. Planritning över  
2:a våningsplanet  
(obs, ej skalenlig figur).



Figur 117. Sektionsritning  
över bastu.  
(obs, ej skalenlig figur).



## Kapitel 8

# Gråzon mellan olika fenomen

Vi har hittills beskrivit några fenomen som kan uppstå i rumsbranden. Tidigare har vi poängterat att brandförloppen kan utvecklas på skilda sätt. I verkligheten möter vi ibland situationer som ligger någonstans mellan olika fenomen. Nedan ska vi belysa fem situationer som kan vara svåra att skilja åt.

### 8.1 Att skilja på övertändning och backdraft

En övertändning beror på att det finns god tillgång på luft och att det finns en viss mängd bränsle. Backdraft har ett helt annat ursprung och uppstår då det finns ett begränsat luftflöde in i byggnaden/rummet, vilket gör att förbränningen pågår med begränsad syretillförsel. Det bildas då en mängd oförbrända gaser, som i ett senare skede kan antändas när luft tillförs.

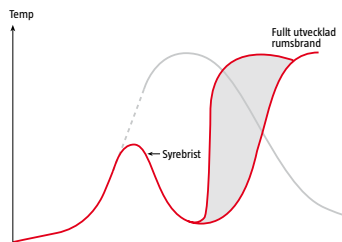
Hur kommer det sig då att dessa situationer skulle vara så svåra att skilja åt? Vi utgår ifrån en ventilationskontrollerad brand där en dörr eller ett fönster öppnas och luft strömmar in.

Vi konstaterar direkt att det inte blir någon häftig backdraft utan att flammorna kommer smygande ut genom öppningen.

Denna situation har tidigare benämnts ”brandförloppet återupptas”, vilket är precis vad som sker. Om det nu skulle finnas ett litet större område med brandgaser som är förblandade så skulle flammorna komma snabbare ut mot öppningen.

Det säger sig då själv att vi befinner oss i någon slags gråzon,

Det är förståelsen av de olika processerna som är det viktiga, men självklart är en enhetlig terminologi också viktig.



Figur 118. Gråzonen.

där mängden förblandad brandgas styr hur snabbt förloppet blir. Är det vi ser en backdraft eller en fortsättning på ett avbrutet brandförlopp? Givetvis får det bli en bedömnings-situation från fall till fall. Detta illustreras i figur 118.

## **8.2 Att skilja mellan brandgasernas självantändning i öppningen och backdraft**

Situationen där brandgaserna självantänder uppstår då brandgaserna har en temperatur som är högre än den termiska tändpunkten. I vissa fall då detta sker kan det skapas turbulens som sprider sig in i rummet och rör om kraftigt, vilket kan leda till en backdraft av mindre format. Detta är sällsynt men har inträffat i enstaka situationer. Situationen ligger givetvis i samma gråzon men utgår från en brandförloppskurva som ligger på en högre utgångstemperatur än tidigare (se figur 118).

## **8.3 Att skilja på självantändning av brandgaserna och att brandförloppet återupptas**

Det kan vara svårt att uppfatta den situation då brandgaser självantänder i öppningen. Ibland ser det ut som om lågorna uppstår där, men de kan egentligen ha sitt ursprung längre in i rummet. Det kan därför vara svårt att avgöra om brandgaserna självantänder eller om brandförloppet återupptas.

## **8.4 Att skilja mellan backdraft och brandgasexplosion**

Backdraft och brandgasexplosion har helt olika ursprung. Backdraft uppstår i ett rum där ventilationsförhållandena har ändrats. Det kan t.ex. vara ett rum där rutorna spricker och släpper in luft, vilket medför antändning. Brandgasexplosion uppstår oftast i ett utrymme som gränsar till brandrummet. Därför är inte brandgasexplosionen med i de grafer som presenteras i denna bok.

Generellt kan sägas att en backdraft leder till lägre tryck-uppbyggnad än en brandgasexplosion. Backdraft förutsätter att ventilationsförhållandena förändras och att detta i sig verkar som tryckavlastning. I kapitlet om brandgasexplosioner diskuterades också att det kan uppstå en brandgasexplosion i brandrummet, men att det är sällsynt. Detta beror på att det

oftast finns en tändkälla, som förbrukar den brännbara gasmassan så fort den uppstår. I regel uppstår inte tillräckligt stor mängd brännbar gasmassa.

Man får försöka skapa sig en uppfattning om huruvida antändningen beror på att en ventilationsöppning har förändrats eller inte. Har den med ventilationsförändring att göra är det fråga om en backdraft.

## **8.5 Att skilja mellan övertändning och brandgasexplosion**

Dessa båda situationer är enklast att skilja från varandra, eftersom övertändning involverar diffusionsflammar medan brandgasexplosion involverar förblandade flammar. Det är därför mycket osannolikt att dessa situationer förväxlas.

## **8.6 Sammanfattning**

Sammanfattningsvis kan konstateras att det är viktigt att förstå de processer som styr uppkomsten av brandfenomenen för att kunna uppfatta vad det är som egentligen har inträffat. Givetvis har också begreppen som sådana central betydelse, eftersom det i situationer som kräver snabb och korrekt handling inte finns utrymme för missförstånd.

Generellt kan det sägas vara svårt att skilja mellan olika fenomen som hör samman med samma flamtyp. Övertändning involverar ju diffusionsflammar medan backdraft involverar både förblandade flammar och diffusionsflammar. Det kan då vara svårt att skilja dessa åt. Om vi istället jämför övertändning med brandgasexplosion som involverar förblandade flammar så är det mycket lättare att skilja dessa åt.

## Bastubrand i Kiruna

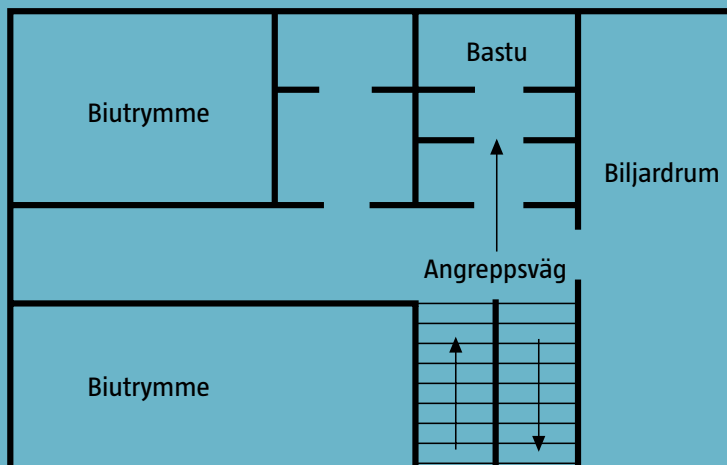
Händelsen inträffade den 5 oktober 1999.<sup>43</sup> Räddningstjänsten i Kiruna fick larm om bastubrand på Malmfältens folkhögskola. En minut efter det att räddningstjänstens fordon rullat ut från stationen, kom även automatlarm från folkhögskolan. På plats konstaterade räddningstjänsten att trapphuset vid bastun var fyllt med vit, ljus rök.

Rökdykare sattes in för att via trapphuset gå ner i källaren och släcka. De sökte först av biljardrummet intill bastun för att säkerställa att det inte fanns någon kvar där och fortsatte sedan mot bastun. Ingen högre temperatur registrerades vid dörren, däremot hördes knastrande ljud från bastun. När rökdykarna öppnade bastudörren kändes ett mycket starkt insug genom dörröppningen. Ögonblicket därefter slog en blåaktig låga ut från bastun. Brandgaserna utanför bastun antändes och en smäll hördes – allt inom bråkdelen av en sekund.

Rökdykarledaren matade slang när han hörde en kraftig smäll. Han såg en tavla komma flygande, hörde glas krossas och rök tryckas ut genom huvudentrén. Oroad anropade han rökdykarna. De svarade omedelbart att det inte var någon fara.

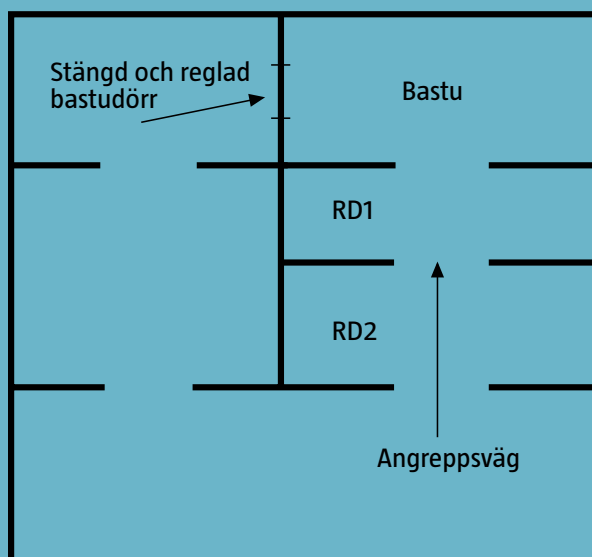
I angränsande utrymmen till trapphuset i markplan hade delar av undertaket rasat. Detta trots att trapphuset utgjorde en egen brandcell och sålunda var avskilt från de angränsande utrymmena.

Skadorna var störst längst upp i trapphuset, där ett glasparti krossats samt en låst dörr tryckts upp, och delar av dörrkarmen slitits loss. Frånsett att stora delar av huset rökfylldes begränsades skadorna till själva bastun, som blev totalt utbränd.



Figur 119. Planritning över källarvåningen. Observera att trapphuset är öppet och leder upp till entréplanet.

Det troliga förloppet var följande: Branden i bastun hade pågått under en längre tid, och stora delar av värmen och brandgaserna hade stannat kvar där. Brandgaserna kom dock ut bland annat i trapphuset, men hade inte tillräckligt hög temperatur för att lösa ut värmedetektorerna. Brandgaserna i trapphuset blandades även ut med luft och hamnade inom brännbarhetsområdet. Då rökdykarna öppnade dörren till bastun fanns en bränslerik atmosfär i bastuutrymmet. Den blåaktiga lågan, som slog ut från bastun, antände brandgaserna utanför. Själva brandförloppet var inte så våldsamt i källardelen som högre upp i trapphuset. Där var skadorna som värst.



*Figur 120. En detaljskiss över bastun. Angreppsvägen är alltså direkt ner från trapphuset och rakt in i bastun. Observera att sidoutrymmena först söktes av.*



## Ordförklaringar

<i>Adiabatisk</i>	Om all energi som frigörs vid en förbränning går åt till att <i>flamtemperatur</i> värma upp de produkter som bildas vid förbränningen, kallas den temperatur som uppnås för adiabatisk flamtemperatur. Det är den högsta temperatur som kan förekomma. Adiabatisk flamtemperatur förekommer dock sällan i praktiken eftersom en del energi förloras vid förbränningen.
<i>Avsvalningsfas</i>	Avsvalningsfasen är perioden efter den fullt utvecklade rumsbranden. Här börjar temperaturen att sjunka eftersom bränslet börjar att ta slut. Branden blir bränslekontrollerad.
<i>Backdraft</i>	Begränsad ventilation under ett brandförlopp kan leda till att det produceras en stor mängd oförbrända gaser. Om en öppning plötsligt tillkommer så kan den inströmmande luften blandas med brandgaserna och skapa en brännbar blandning någonstans i rummet. Om det finns en tändkälla av något slag t.ex. en glöd så kommer detta att leda till en antändning av gasmassan, vilket i sin tur resultera i en mycket snabb förbränning. Expansionen av gasvolymen leder till att resterande oförbrända gaser trycks ut genom öppningen och orsakar ett eldklot utanför öppningen. Detta fenomen inträffar sällan, men kan vara extremt farligt.
<i>Brandgasexplosion</i>	När oförbrända brandgaser läcker in i utrymmen angränsande till brandrummet så kan dessa blandas mycket väl med luften och skapa en brännbar blandning. Om en tändkälla finns tillgänglig eller uppkommer på annat sätt så kan brandgaserna antändas med mycket stor förödelse som resultat. Detta fenomen uppkommer som tur är sällan.
<i>Brännbarhetsområde</i> <i>Bränslekontroll</i>	Det område inom vilket gas/luftblandningar går att antända. Efter antändning och i början av brandens utveckling kallar man branden bränslekontrollerad, eftersom det finns tillräckligt med luft för förbränningen och brandens utveckling styrs helt av bränslets egenskaper och dess placering. En brand kan också vara bränslekontrollerad i ett senare skede av branden.
<i>Deflagration</i>	Deflagration används för att beskriva en flamspridning i en förblandad gasmassa. I brandsammanhang rör sig flamfronten med hastigheten ca 3–5 m/s. En brandgasexplosion är alltså en deflagration.

<i>Detonation</i>	Detonation syftar på en förbränningssituation som leder till att flammor transporteras mycket snabbt, ibland tom snabbare än ljudet. Chockvågen och flamfronten är sammankopplade och transporteras genom gas/luft blandningen med hög hastighet. I praktiken orsakas detonationen av fasta sprängämnen, inte av gasblandningar.
<i>Diffusionsflamma</i>	En diffusionsflamma uppstår då bränslet och luften inte är blandade med varandra då antändning sker. Bränsle och luft diffunderar in i varandra och ett brännbart område uppstår i gränsskiktet mellan dem. Stearinljuset är ett vanligt exempel.
<i>Effektutveckling</i>	När ett material förbränns kommer värme att utvecklas. Den utvecklade värmen mäts i Watt (J/s).
<i>Expansionsfaktor</i>	När en gasblandning antänds kan temperaturen stiga upp till en faktor 8. Detta gör att volymen ökar med motsvarande storleksmått.
<i>Explosion</i>	En exoterm kemisk process som, när den sker vid konstant volym, ger upphov till en plötslig och betydande tryckökning.
<i>Fullt utvecklad rumsbrand</i>	Detta stadium inträffar efter att övertändning uppnåtts. Branden är här ventilationskontrollerad och det är vanligt med brandgastemperaturer i storleksordningen 800–900°C. Flammor sprider sig ut genom byggnadens öppningar. En del förbränning sker alltså utanför rummet.
<i>Förblandade flammor</i>	En förblandad flamma uppstår då bränslet och luften är väl blandade med varandra innan antändning sker.
<i>Förbränningseffektivitet</i>	Ett ämne som brinner frigör sällan all sin energi även om syretillförseln är god. En del lämnas oförbrukad i den plym som för brandgaserna till taket. Ju sämre syretillförsel desto mer oförbrända gaser produceras.
<i>Förbränningshastighet</i>	Förbränningshastighet är den hastighet med vilken pyrolys sker från ett material, kallas ibland också pyrolyshastighet. Denna mäts ofta i enheten g/m <sup>2</sup> s. Förbränningshastighet används också för att beskriva med vilken hastighet en flamma rör sig i en gasmassa. Enheten är då m/s. Det är mycket viktigt att hålla isär dessa två.
<i>Förbränningsvärme, <math>\Delta H_c</math></i>	Är ett mått på hur mycket energi materialet avger när det brinner. Enheten är MJ/kg eller kJ/g.
<i>Förångningsvärme, <math>\Delta H_v</math> (ibland <math>L_v</math>)</i>	Förångningsvärmets är den värmemängd som behövs för att 1g gas skall lämna bränsleytan.

<i>Laminär strömning</i>	Det förekommer två olika typer av strömning. Detta visar sig t.ex. när rök strömmar upp ur en smal skorsten. Först rör sig röken i parallella skikt utan att blanda sig. På ett visst avstånd från utsläppet ändrar emellertid strömningen karaktär och rökpartiklarna rör sig i oregelbundna banor med överlagrade virvlar. Den skiktade strömningen kallas laminär och den oregelbundna turbulent. Ordet laminär kommer från det latinska ordet lamina (platta, skiva) och turbulent från det latinska ordet turbulentur (orolig, stormig).
<i>Oförbrända gaser</i>	Fortgår branden under otillräcklig syretillförsel kommer det att bildas oförbrända brandgaser. Oförbrända gaser bildas alltid även om det finns god tillgång på luft. De oförbrända gaserna innehåller potentiell energi som kan frigöras under senare skede och orsaka temperaturhöjning.
<i>Pulsation</i>	Pulsationer uppstår ibland då branden går in i ett ventilationskontrollerat läge. Om det finns någon öppning i utrymmet så kan branden få tillgång till luft så att förbränning skall kunna ske. Detta leder i sin tur till att det bildas ett övertryck i rummet och temperaturen stiger. Branden minskar på grund av syrebrist och temperaturen sjunker så småningom och ny luft kommer att kunna sugas in i rummet.
<i>Pyrolys</i>	Pyrolys är en kemisk sönderdelning eller annan kemisk omvandling från komplexa till enklare beståndsdelar, orsakad genom inverkan av värme.
<i>Stökiometri (ideal blandning)</i>	När det finns precis så mycket luft som behövs för att förbränna bränslet fullständigt råder stökiometri. Då bildas enbart koldioxid och vatten. Detta förekommer ytterst sällan i praktiken.
<i>Tidigt brandförlopp</i>	Motsvarar perioden från att branden startar tills att övertändning inträffar. Under denna period kan branden sprida sig från startföremålet och det finns stora risker för de människor som finns i byggnaden att skadas.
<i>Turbulensfaktor</i>	När flamman utbreder sig kommer flammans area att öka och den bryts upp vilket gör att flamfrontens area blir större. Detta leder till att förbränningshastigheten ökar.

<i>Turbulent strömning</i>	Det förekommer två olika typer av strömning. Detta visar sig t.ex. när rök strömmar upp ur en smal skorsten. Först rör sig röken i parallella skikt utan att blanda sig. På ett visst avstånd från utsläppet ändrar emellertid strömningen karaktär och rökpartiklarna rör sig i oregelbundna banor med överlagrade virvlar. Den skiktade strömningen kallas laminär och den oregelbundna turbulent. Ordet laminär kommer från det latinska ordet lamina (platta, skiva) och turbulent från det latinska ordet turbulentur (orolig, stormig).
<i>Ventilationskontroll</i>	Allt eftersom branden växer kan den eventuellt bli ventilationskontrollerad, då det tillgängliga syret inte är tillräckligt för att förbränna de pyrolysgaser som bildas. Brandens effektutveckling styrs då helt av den mängd luft som finns tillgänglig och branden kallas därför ventilationskontrollerad.
<i>Övertändning</i>	Övertändning är en övergångsperiod från det att branden är lokalt belägen tills att hela rummet är involverat i branden. Övertändning inträffar när brandens effektutveckling överstiger en viss kritisk nivå. Bidragande orsaker till att brandens effekt ökar är flamspridning över brännbara ytor och återstrålning från det varma brandgaslagret. Övertändning är övergången från det tidiga brandförloppet till den fullt utvecklade rumsbranden.

# Förslag till lösning på kontrollfrågorna

## Kapitel 2

1. I normala fall i storleksordningen 300–400°C.
2. Flamspridning sker snabbast på en träfiberskiva eftersom värmeupptagningsförmågan är mindre för detta material. Ytan på materialet värms då upp snabbare.
3.  $\rho$ ,  $k$  står för värmeledningsförmågan,  $\rho$  står för densiteten och  $c$  för värmekapaciteten. Stål och furuträ har höga värden.
4. Genom ledning, konvektion och strålning. Ledning innebär att ett material leder värmen genom kroppen. T.ex. leds värme genom stål mycket bra och kan vid t.ex. fartygsbränder göra att material i kontakt med stålkonstruktionen kan antändas. Konvektion innebär att värme överförs från t.ex. varma brandgaser till en värmedetektor. Strålning innebär att angränsande byggnader kan antändas när de påverkas av höga strålningsnivåer.
5. Flamspridningshastigheten påverkas främst av materialets värmeupptagningsförmåga, ytans orientering, ytans geometri samt förvärmning av materialet.
6. Vertikalt uppåtriktad flamspridning och flamspridning på undersidan av ett tak. Detta beror på att ytorna föruppvärms kraftigt.
7. Beräkningen finns i kapitel 2. Överslagsmässigt tar det ungefär ca 5–15 sekunder.
8. Flamspridning gör att effektutvecklingen kan öka drastiskt på några få sekunder. Rökdykarna måste vara beredda på att agera snabbt och korrekt om en övertändning är nära förestående.
9. I normala fall ca 500–600°C.
10. Plastmaterial med en låg värmeupptagningsförmåga t.ex. polyuretan. Porösa träfiberskivor är ett annat exempel.

### Kapitel 3

1. Mager och fet kan användas när en gasmassa är förblandad.
2. Ca 8 bar.
3. Dessa brukar delas in i normala tryckskillnader och tryckskillnader skapade av branden. Normala tryckskillnader kan bestå av vindpåverkan, komfortventilation och temperaturskillnader mellan ute- och inneluft. Tryckskillnader skapade av branden är förhindrad termisk expansion och termisk stigitkraft.
4. Förblandade flammor uppstår när bränsle och luft är förblandade innan antändning sker medan diffusionsflammor uppstår när bränsle och luft inte är förblandade när antändning sker.
5. En förblandad flamfront rör sig med ungefär 3–5 m/s.
6. En deflagration är en flamutbredning i en förblandad gasmassa.
7. En detonation är en flamutbredning i en förblandad gasmassa där en chockvåg är sammankopplad med flamfronten vilket leder till att mycket höga tryck och hastigheter kan uppstå.
8. När branden är bränslekontrollerad styrs effektutvecklingen av bränslet. Vid ventilationskontrollerade bränder så styrs effektutvecklingen av öppningarnas storlek. Det är mycket viktigt att veta om branden är bränsle- eller ventilationskontrollerad, t.ex. när man använder fläkt. Konsekvenserna av att tillföra luft kan då förutsägas.
9. Det bildas en mängd produkter vid brand bl.a. koldioxid och vatten som är de vanligaste. När förbrännings-effektiviteten sjunker bildas oförbrända gaser så som kolmonoxid och oförbrända kolväten.
10. Givetvis kan man hitta de produkter som beskrivs i fråga 9 men också en mängd luft som har följt med plymen upp.
11. Hastigheten styrs av med vilken hastighet molekylerna diffunderar in i varandra. Denna hastighet ökar t.ex. med temperaturen.

12. I ett öppet rum kommer det att finnas ett övertryck uppe i rummet vilket gör att brandgaser läcker ut. I rummets nedre del finns ett undertryck vilket gör att luft sugas in.
13. I ett slutet rum kommer det att finnas ett övertryck i hela rummet som följd av termisk expansion. Men så fort mindre läckage uppkommer så kommer tryckökning till följd av termisk expansion att minska och tryckbildningen kommer att se ut som i ett öppet rum.
14. Under den normala rumsbranden dominerar diffusionsflamman.
15. I storleksordningen 2000–7000 Pascal.
16. Ca 15–20 Pascal. Det beror på hur varma brandgaserna är.
17. Materialet avger en viss mängd värmeenergi vid förbränning och kan i vissa fall droppa och sprida branden. Flamspridningen går olika snabbt beroende på specifikt material.
18. I flera fall är rutorna intakta när brandkåren kommer till platsen. Detta innebär att branden kan ha gått in i ett ventilationskontrollerat förlopp.
19. Det extra syret kan markeras på båda sidor med symbolen X. På samma sätt kan det extra bränslet markeras på båda sidor. Ekvationen balanseras med 5 syremolekyler. Produkterna blir 3 koldioxid och 4 vattenmolekyler. Propan innehåller 3 kol och 8 väte.
20. Utanför brännbarhetsområdet kommer inte flammen att kunna existera eftersom det finns en för stor termisk ballast. Den utvecklade energin är alltså inte tillräcklig för att värma upp alla produkterna så att förbränningen kan fortgå.

#### **Kapitel 4**

1. En övertändning styrs av diffusionsflammar.
2. Ca 500–1 000°C
3. Perioden varierar beroende på en rad förutsättningar, bl.a. rummets geometri. Ibland är perioden bara några få sekunder.

4. Framför allt återstrålning från brandgaslagret och flamspridning på olika ytor.
5. Skydd mot övertändning handlar framför allt om att kunna förutsäga när en brand närmar sig övertändning. Då behövs det bra kunskaper i brandförlopp. Kunskaper om kännetecknen är mycket viktigt. Mer konkret handlar det om att minska temperaturen i brandgaserna så att inte återstrålningen och effektutveckling blir för höga.
6. I litteraturen nämns bl.a. förändring av brandgaslagrets läge, hastigheten på de utströmmande brandgaserna, pyrolys från olika bränslepaket och flammor i brandgaslagret. Brandgasernas färg eller ändring i färg kan användas med viss försiktighet.
7. I många fall sprider sig branden inte från startföremålet och brandens effekt är då inte tillräcklig för att orsaka övertändning. I vissa situationer blir branden ventilationskontrollerad och effektutvecklingen begränsas då innan övertändning nås.
8. Några få procent.
9. I lokalen där det är betong i den omslutande konstruktionen. Detta beror på att mer energi försvinner genom värmeledning.

## Kapitel 6

1. En backdraft involverar både förblandade flammor och diffusionsflammor.
2. Ansamling av oförbrända brandgaser, inströmning av luft, blandning av gaser och luft, antändning med någon typ av tändkälla, en turbulent deflagration uppstår och ett eldklot utanför rummet
3. Förhållandena som behövs är mycket speciella. Sannolikhet för att en tändkälla skall finnas i det ögonblick som den förblandade regionen uppstår i rummet är mycket låg.
4. Pulsationer från små öppningar runt t.ex. dörrkar-mar, varma dörrar och fönster, ingen synlig brand och visslande ljud runt öppningar.



5. Backdraft uppstår när branden varit ventilationskontrollerad ett tag.
6. Genom att kyla brandgaserna innan de tändes eller att ventileras ut brandgaserna innan man går in i utrymmet. Här finns det många alternativ. Rätt klädsel är viktigt i dessa situationer.
7. Det bästa är att försöka kyla brandgaserna innan man släpper in för mycket luft.
8. Nej, det beror på strålningsnivåerna och vilka material som finns i närheten.
9. Det måste finnas en hög koncentration av oförbrända brandgaser. Detta kan skapas genom att byggnaden är välisolerad, att det finns mycket brännbart material högt upp i rummet, att det finns mindre läckageareor långt ner i rummet och att en tändkälla kan uppstå.
10. Bastu är vanlig.
11. När förbränning sker i ett relativt tillslutet rum kommer ett övertryck att bildas som leder till att brandgaser pressas ut genom öppningarna. Samtidigt sjunker syrehalten och flammen slocknar. Efter ett tag sjunker temperaturen vilket leder till att ett undertryck uppstår och ny luft kan då sugas in i rummet. Därefter är antändning möjlig igen. Det är mycket svårt att förutsäga om en brand kommer att pulsera eller inte.
12. Fundera på i vilket stadium branden är, hur länge det har brunnit, överväga riskerna och jämföra med vad som kan vinnas med insatsen.
13. Backdraft, att brandförloppet återupptas, branden kan ha självslocknat eller att brandgaserna självantänder i dörröppningen.
14. Branden har självslocknat eller att brandförloppet återupptas och branden ökar i intensitet.
15. Det är inte vanligt. Fenomenet uppstår eftersom brandgasernas temperatur är högre än självantändningstemperaturen. Gaserna tändes i direkt kontakt med luften.

16. Om branden är ventilationskontrollerad när vi öppnar dörren så får den ny fart och brandförloppet kan då återupptas.
17. Den mängd oförbrända gaser som finns i rummet och blandningen. Ju större del av brandgaserna som är förblandade desto högre tryck.
18. Det beror på att det bildas ett övertryck i brandrummet.
19. Troligtvis inte, men man kan aldrig vara helt säker.

## Kapitel 7

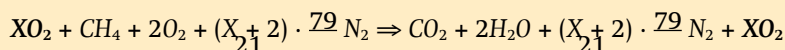
1. Många faktorer ska infalla samtidigt. En brännbar blandning skall finnas i ett sidoutrymme och en tändkälla måste finnas där också.
2. Andel förblandad volym, byggnadsdelarnas trycktålighet och ventilationsöppningarnas storlek.
3. Förblandade flammor
4. Nej, det räcker med en mindre del av gasmassan.
5. Ca 8 bars tryck om utrymmet är helt stängt.
6. Inte högre tryck än vad som bildas då den klenaste konstruktionen ger vika. Därefter sjunker trycket.
7. Det kommer mycket sällan att kunna bildas en så stor mängd förblandad gasmassa i själva brandrummet eftersom där oftast finns en tändkälla fortlöpande.
8. Tyvärr väldigt få. Ofta ligger detta på det förebyggande planet. Ibland kan man skapa sig en uppfattning om dåligt isolerade genomföringar och fundera på var det kan finnas dolda utrymmen. Ofta inträffar brandgasexplosioner i utrymme som man inte visste existerade.
9. Om det är möjligt trycksätt utrymmet innan det hin- ner byggas upp farliga koncentrationer.
10. Se till att brandcellsgränser är intakta. Detektorer eller sprinkler kan också hjälpa till att förebygga brandgasexplosioner.

## Beräkningsexempel

### Brännbarhetsgränser

Beräkningsexempel: Undre brännbarhetsgränsen

Utgångspunkten är den stökiometriska reaktionen för metan. Ett okänt antal mol syrgas adderas på båda sidor. Den energi som utvecklas kommer att gå åt för att värma upp ett antal extra produkter jämfört med vid stökiometri. X löses ut och andelen metan i blandningen beräknas. Följande reaktionsformel används:



Metan utvecklar 800 KJ/mol och  $C_p$  för de ingående produkterna hämtas från tabell 4 sid 57.

Sambandet  $\Delta H_c = \Sigma (C_p \cdot \Delta T)$  används, där  $\Delta T$  är skillnaden mellan den adiabatiska flamtemperaturen och begynnelsestemperaturen. Begynnelsestemperaturen sätts till 300 K och den adiabatiska flamtemperaturen antas till 1 600 K.

$$\frac{800\,000}{(1\,600 - 300)} = 54,3 + 2 \cdot 41,2 + X \cdot 34,9 + X \cdot \frac{79}{21} \cdot 32,7 + 2 \cdot \frac{79}{21} \cdot 32,7$$

Ekvationen ger  $X = 1,47$  och med hjälp av detta räknas andelen metan i blandningen ut, alltså antalet mol  $CH_4$  delat med det totala antalet mol reaktander.

$$\frac{1}{1,47 + 1 + 2 + (1,47 + 2) \frac{79}{21}} = 5,7 \text{ vol } \%$$

Ekvationen ger att 5,7 % av reaktanderna är metan. Den undre brännbarhetsgränsen för metan är alltså 5,7 %. Detta räknas om till  $g/m^3$  med hjälp av densiteten för metangas. Sambandet blir:

$$16/29 \cdot 1,2 = 0,65 \text{ kg}/m^3$$

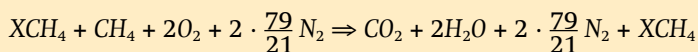
Massan blir då lika med  $0,65 \cdot 0,05 \approx 35 \text{ g}/m^3$ .

Man bör beakta att denna beräkning bygger på utgångstemperaturen 300 K och att den kemiska reaktionen är förenklad. I vissa tabeller bygger data på annan temperatur men framför allt på experiment där den riktiga reaktionsformeln används indirekt.

*Beräkningsexempel: Övre brännbarhetsgränsen*

Metan utvecklar 800 kJ/mol och  $C_p$  för de ingående produkterna hämtas från tabell 4.

Sambandet  $\Delta H_c = \Sigma (C_p \cdot \Delta T)$  används, där  $\Delta T$  är skillnaden mellan den adiabatiska flamtemperaturen och begynnelsestemperaturen. Begynnelsestemperaturen sätts till 300 K och den adiabatiska flamtemperaturen sätts till 1 973 K, vilket är något högre än normalt.<sup>11</sup> Reaktionsformeln är enligt följande:



$$\frac{800\,000}{(1\,973 - 300)} = 54,3 + 2 \cdot 41,2 + X \cdot 34,9 \cdot 2,33 + 2 \cdot \frac{79}{21} 32,7$$

Ekvationen ger  $X = 1,17$  och med hjälp av detta räknas andelen metan ut i blandningen.

$$\frac{1,17 + 1}{1,17 + 1 + 2 + (2) \frac{79}{21}} = 18 \text{ vol } \%$$

Ekvationen ger att 18 % av reaktanderna är metan. 18 % räknas om till ett antal g/m<sup>3</sup> med hjälp av densiteten för metangas.

Sambandet blir:

$$16/29 \cdot 1,2 = 0,65 \text{ kg/m}^3$$

Massan blir då lika med  $0,65 \cdot 0,18 = 117 \text{ g/m}^3$ .

Man bör beakta att denna beräkning bygger på begynnelsestemperaturen 300 K och att reaktionsformeln är mycket förenklad. I vissa av de tabeller som finns bygger data på annan temperatur men framför allt på experiment där den riktiga reaktionsformeln används indirekt.

*Beräkningsexempel:*

*Temperaturens inverkan på undre brännbarhetsgränsen*

Utgångspunkten är beräkningsexemplet där den undre brännbarhetsgränsen för metan beräknades. Begynnelsestemperaturen,  $T_0$ , byts ut i beräkningarna och ersätts med 500 K. Beräkningar är mycket approximativa men ger en grov uppskattning av temperaturens inverkan på den undre brännbarhetsgränsen.

Sambandet  $\Delta H_c = \Sigma (C_p \cdot \Delta T)$  används, där  $\Delta T$  är skillnaden mellan den adiabatiska flamtemperaturen och begynnelsestemperaturen. Begynnelsestemperaturen sätts till 500 K. Reaktionsformeln är enligt tidigare (se Beräkningsexempel: undre brännbarhetsgränsen.)

$$\frac{800\,000}{(1\,600 - 500)} = 54,3 + 2 \cdot 41,2 + X \cdot 34,9 + X \cdot \frac{79}{21} \cdot 32,7 + 2 \cdot \frac{79}{21} \cdot 32,7$$

Ekvationen ger  $X = 2,18$  och med hjälp av detta räknas andelen metan ut i blandningen.

$$\frac{1}{2,18 + 1 + 2 + (2,18 + 2) \frac{79}{21}} = 4,8 \text{ vol } \%$$

Ekvationen ger att 4,8 % av reaktanderna är metan. Detta kan jämföras med den beräknade undre brännbarhetsgränsen från det tidigare exemplet, 5,7 %, där begynnelsestemperaturen antogs vara 300 K.

Om temperaturen fortsätter att höjas kommer i princip även små mängder bränsle att vara brännbara. Den övre

brännbarhetsgränsens temperaturberoende kan beräknas med samma metod.

## Övertändning

*Beräkningsexempel: Effektutveckling som krävs för övertändning*

Antag ett rum med måtten 3,6 m · 2,4 m · 2,4 m.

Öppningen är en dörr med bredden 0,8 m och höjden 2 m.

De omslutande materialen är lättbetong. Beräkna den effektutveckling som behövs för att branden i rummet skall utvecklas till övertändning.



*Figur 121. Vilken effektutveckling behövs för att nå övertändning?*

Inledningsvis räknas  $h_k$  ut. För relativt korta tider bestäms  $h_k$  av  $h_k = (k\rho c/t)^{0,5}$  där  $k\rho c$  är materialegenskaper och  $t$  är tiden från det att branden börjar.  $k\rho c$  för lättbetong är ungefär  $75\,000\text{ W}^2\text{s/m}^4\text{K}^2$ . Tiden antas vara 10 minuter; vid denna tidpunkt kan man anta att räddningstjänsten anländer.

$h_k$  beräknas med uttrycket  $\sqrt{k\rho c/t}$  och blir lika med  $0,0112\text{ kW/m}^2\text{K}$

Värdena sätts in i ekvationen:

$$\dot{Q}_{fo} = 610 (h_k A_T A_W \sqrt{H})^{0,5}$$

$$\text{Denna ger: } \dot{Q}_{fo} = 610 (0,0112 \cdot 44,48 \cdot 1,6 \cdot 2^{0,5})^{0,5} = 650\text{ kW}$$

Detta kan jämföras med en soffa som utvecklar ca 1–2 MW. Effekten som behövs är alltså mycket mindre än detta.

Om vi istället hade beräknat effektutvecklingen som behövs för att ge övertändning efter 2–3 minuter skulle den blivit mycket större. Du kan själv prova genom att variera tiden ( $t$ ) i uttrycket för  $h_k$ .

## Backdraft

*Beräkningsexempel:*

*Hastigheten hos den inkommande luftströmmen*

Rummets storlek är  $2,4 \cdot 2,4 \cdot 6 \text{ m}^3$  och öppningen är en bred springa som motsvarar ungefär en tredjedel av höjden, d.v.s. 0,8 meter.

Bredden på öppningen är ca 2,2 meter. Brandgastemperaturen är ca  $150^\circ\text{C}$ . Detta ger en ungefärlig brandgasdensitet på  $0,84 \text{ kg/m}^3$ .

Luftens densitet är ca  $1,2 \text{ kg/m}^3$  vilket ger  $\beta$

$$\beta = (1,2 - 0,84)/0,84 \approx 0,42$$

$v^*$  hämtas från referens 32. Detta värde hör ihop med öppningens storlek i förhållande till geometrin, i detta fall den breda springan.

$$v^* = v/(g \cdot h \cdot \beta)^{0,5} \text{ vilket ger}$$

$$v = 0,35 \cdot (9,81 \cdot 2,4 \cdot 0,42)^{0,5} \approx 1 \text{ m/s}$$

Detta ger enligt ekvationen ovan en hastighet på ca 1 m/s vilket också visuellt verkar vara en bra approximation. Det är viktigt att inte använda detta resultat som något exakt värde utan bara som ett överslagsvärde. Det kan därmed konstateras att det kan ta ett antal sekunder innan en brännbar blandning når antändningskällan, om den är placerad långt in i rummet.

Ovanstående ekvation går också bra att applicera på den utgående luftströmmen och det är viktigt att konstatera att det kan ta många sekunder innan luftströmmen, som har reflekterats vid bakre väggen, når dörröppningen igen. Blandningen i rummet kan då vara mycket väl blandad och antändningen kan därmed leda till mycket snabb effektutveckling med livsfarliga konsekvenser.

## Storhetsguide

$$t_a = \frac{(T_{sa} - T_i)_2}{4(\dot{q}'')^2} k\rho c \cdot \pi$$

$$T_s - T_i = \frac{2\dot{q}''}{\pi^{0,5}} \frac{t^{0,5}}{(k\rho c)^{0,5}}$$

- $T_{sa}$  – temperaturen på ytan vid antändningsögonblicket (°C)  
 $t_a$  – tid till antändning (s)  
 $\dot{q}''$  – tillförd värme  $W/m^2$  – Strålningsenergi  
(I det här fallet från branden)  
 $T_s$  – temperaturen vid ytan (°C) på bränslet  
 $T_i$  – initialtemperatur (°C) på bränsleytan  
(ursprungstemperatur)  
 $k$  – värmeledningsförmåga  $W/m \text{ } ^\circ C$  – Ett högt tal innebär att materialet leder värme lätt  
 $\rho$  – densiteten i  $kg/m^3$   
 $c$  – specifik värmekapacitet i  $J/kg \text{ } ^\circ C$  – Innebär förmåga för materialet att lagra värme  
 $t$  – tid i sekunder (s)

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

- $\dot{Q}$  – värmeeffekt i W  
 $\dot{m}''$  – förbränningshastighet i  $kg/m^2s$  eller  $g/m^2s$   
 $A_f$  – bränsleytans storlek i  $m^2$   
 $\Delta H_c$  – förbränningsvärme vid fullständig förbränning i  $J/kg$   
 $\chi$  – förbränningseffektivitet som styr hur effektivt bränslet förbrukas (dimensionslöst)

$$\Delta H_c = \Sigma (C_p \cdot \Delta T)$$

- $\Delta T$  – temperaturdifferensen (°C)  
 $C_p$  – gasernas värmekapacitet ( $J/mol \cdot K$ )  
 $\Delta H_c$  – förbränningsvärmerna vid fullständig förbränning  
( $MJ/kg$  eller  $kJ/g$ )



$$S_f = S_u \cdot E \text{ (m/s)}$$

E – expansionstal (dimensionslöst)

$S_u$  – laminär förbränningshastighet (m/s)

$S_f$  – flamhastighet (m/s)

$$E = (T_f/T_i) (N_b/N_u)$$

$T_f$  – temperaturen av produkterna (K)

$T_i$  – ursprungstemperaturen (K)

$N_b$  – summan av de produkter som finns efter reaktionen

$N_u$  – summan av de reaktander som finns före reaktionen

$$S_f = S_u \cdot (T_f/T_i)$$

$$S_f = S_u \cdot \beta \cdot (T_f/T_i)$$

$\beta$  – turbulensfaktorn (dimensionslöst tal)

$$\Delta p = (\rho_a - \rho_g)gh$$

$\Delta p$  – tryckskillnaden i Pa

g – gravitationskonstanten (m/s<sup>2</sup>)

h – höjden (m)

$\rho_a$  – den omgivande gasens densitet (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_g$  – gasernas densitet (kg/m<sup>3</sup>)

$$\rho = \frac{pM}{RT}$$

M – molekylvikt (kg/kmol eller g/mol)

R – 8,31 (J/molK)

T – temperaturen (K) Obs! Ej C° i ekvationen.

p – trycket (Pa)

$$\Delta p = 353(1/T_a - 1/T_g)gh$$

353 – konstant

$T_a$  – omgivningens temperatur (K)

$T_g$  – gasernas temperatur (K)

$$\frac{(p - p_a)}{p_a} = \frac{\dot{Q}t}{V\rho_a c_v T_a}$$

- $\dot{Q}$  – effektutvecklingen (W)
- $V$  – utrymmets volym (m<sup>3</sup>)
- $P_a$  – det normala trycket (Pa)
- $P$  – bildat tryck (Pa)
- $t$  – tiden (s)
- $T_a$  – temperaturen (K)
- $\rho_a$  – densiteten för vanlig luft (kg/m<sup>3</sup>)
- $c_v$  – specifik värmekapacitet vid konstant volym (J/kgK)

$$\Delta p = \frac{(\dot{Q}/c_p T_e A_e)^2}{2\rho_e}$$

- $\dot{Q}$  – effektutvecklingen (W)
- $C_p$  – specifik värmekapacitet vid konstant tryck (J/kgK)
- $\rho_e$  – densiteten på utströmmande gas (kg/m<sup>3</sup>)
- $T_e$  – temperaturen på utströmmande gas (K)
- $A_e$  – läckagearean (m<sup>2</sup>)

$$\dot{Q}_{f0} = 610 (h_k A_T A_w \sqrt{H})^{0.5}$$

- $\dot{Q}_{f0}$  – den värmeeffekt som behövs för att initiera övertändning (kW)
- $h_k$  – värmeövergångstalet (kW/m<sup>2</sup>K) som anger hur mycket värme som leds in i omslutande konstruktioner.
- $A_T$  – inre omslutningsarean i rummet (m<sup>2</sup>)
- $A_w$  – area av ventilationsöppning (m<sup>2</sup>)
- $H$  – höjden på ventilationsöppningen (m)
- 610 – konstant framtagen genom regression

$$\dot{m}_a = 0,5 A_w \sqrt{H}$$

- $\dot{m}_a$  – massflödet av den inströmmande luften (kg/s)
- $A_w$  – arean av öppningen (m<sup>2</sup>)
- $H$  – höjden av öppningen (m)

$$\dot{Q} = m\Delta H_c\chi$$

- $\dot{Q}$  – värmeeffekt (W)  
 $\Delta H_c$  – förbränningsvärmets (MJ/kg eller KJ/g)  
 $\chi$  – förbränningseffektivitet (dimensionslöst)  
 $\dot{m}$  – förbränningshastighet (kg/s)

$$\dot{m} = \frac{\dot{q}''_f + \dot{q}''_{ext} - \dot{q}''_{loss}}{L_v} A$$

- $\dot{q}''_{loss}$  – värmeförluster från bränsleytan (kW/m<sup>2</sup>)  
 $\dot{q}''_{ext}$  – strålning från omgivande delar (kW/m<sup>2</sup>)  
 $\dot{q}''_f$  – värmeövergång från flammen (kW/m<sup>2</sup>)  
 $\dot{m}$  – förbränningshastigheten i g/s  
 $A$  – bränslearean i m<sup>2</sup>  
 $L_v$  – förångningsvärmets (kJ/g)

$$v^* = v/(g \cdot h \cdot \beta)^{0.5} \text{ vilket ger}$$

- $v$  – hastigheten på luftström (m/s)  
 $v^*$  – dimensionslöst Froudes tal  
 $h$  – rummets höjd (m)  
 $g$  – tyngdkraften (m/s<sup>2</sup>)  
 $\beta$  – densitetsskillnad mellan medier (dimensionslöst)

## Referenser

1. Ondrus, J., *Brandteori*, Räddningsverket, 1996
2. Bengtsson, L-G., *Övertändning, backdraft och brandgasexplosion sett ur räddningstjänstens perspektiv*, Institutionen för brandteknik, Lunds universitet, Lund, 1999
3. McIntyre, C., Munthe, J.; *Räddningsinsatser*, Räddningsverket, Karlstad, 1996
4. Erlandsson, U., *Sirenen nr 8*, Räddningsverket, Karlstad, 1999
5. Ondrus, J., *Brandförlopp*, Institutionen för brandteknik, Lunds Universitet, Lund 1990
6. *Analytisk lösning av värmeledningsekvationen*, Institutionen för brandteknik, Lunds Universitet, Lund 1990
7. Karlsson, B., Quintere, J., *Enclosure Fire Dynamics*, Institutionen för brandteknik, Lunds Universitet, Lund 1997
8. Bengtsson, L-G., et al, *Brandventilation i teori och praktik*, R53-146/96, Räddningsverket, Karlstad, 1996
9. Glassman, Irvin., *Combustion*, Third edition, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Princeton University, Princeton, New Jersey 1996
10. Drysdale, D.D., Brenton, J. R., *Flames in Fires and Explosions*, Fire Engineers Journal, July, 1997
11. Drysdale, D., *An introduction to Fire Dynamics*, John Wiley and Sons, Chichester 1985
12. Harris, R.J., *The investigations and control of gas explosions in buildings and heating plant*, London 1983
13. Holmstedt, G., *Kompendium i släckmedel och släckverkan*, avdelningen för brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 1999
14. Särdaqvist, S., *Manuell brandsläckning med vatten*, avdelningen för brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund 1999
15. Svensson, S., *Brandgasventilation*, Räddningsverket, Karlstad, 2000

16. Gordonova, P., *Spread of smoke and fire gases via the ventilation system*, Department of Building Sciences, Lunds university, Lund 1998
17. Backvik, B., et al, *En handbok om brandskyddsteknik för ventilationssystem*, ISBN 91-630-4419-6, Stockholm 1996
18. Andersson, P., *Datorprogram FREIA*, Institutionen för brandteknik, Lunds Universitet, Lund
19. ISO/IEC Guide 52, *Glossary of Fire Terms and Definitions*, International Standards Organisations 1990
20. Chitty, R., *A survey of backdraft*, Fire Research and Development group, Home Office 1994
21. McCaffrey, B.J., Quintiere, J.G., Harkelroad, M.F., *Estimating room temperatures and the likelihood of flashover*, Fire Technology 17 98-119 18 122 (1981)
22. Särdaqvist, S., *Initial Fires*, ISSN 1102-8246, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund 1993
23. Rasbash, D.J., *Major Fire Disasters Involving Flashover*, Fire Safety Journal, Vol. 17, No. 2, 1991
24. Friedman, R., *Behavior of fires in compartment*, International symposium in Fire Safety of combustible materials, (Edinburgh University), 1975
25. Beyler, C.L., *Major species production by diffusion flames in two-layer compartment environment*, Fire Safety Journal, 10 47–56 (1986)
26. Bengtsson, L-G., *Experiment och modeller*, Institutionen för brandteknik, LTH, Lund 1997
27. Wolley, W.D., Ames, S., *The Explosion Risk of Stored Foam Rubber*, Building Research Establishment, CP 36/75 1975
28. Hägglund, A., Lundin, B., *Plaster och brand*, SBF, Svenska Brandförsvarsföreningen, Stockholm, 1979
29. Bengtsson, L-G., *Resultat av fullskaleförsök*, SANDÖ, Räddningsskolan i Sandö, 1997
30. Särdaqvist, S., Svensson, S., Lundström, S. *Släckförsök vid brand i stor lokal*, Räddningsverket, ISBN 91-7253-048-0, Karlstad 2000

31. Fleischmann, C., Pagni, P.J., Williamson, R.B., *Quantitative Backdraft Experiments*, Proceedings of the 4th International Symposium on Fire Safety Science (IAFSS) 1994
32. Fleischmann, C., *Backdraft phenomena*, University of California, NIST-GCR-94-646, 1994
33. Gottuk, D.T., Peatross, M.J., 1995 *Class B Firefighting Doctrine and Tactics: Final Report*, Naval Research Laboratory, Washington DC 1996
34. Gojkovic, D., *Initial Backdraft Experiments*, Avdelningen för brandteknik, Lunds universitet, Lund, 2000
35. Hayasaka, H., Kudou. Y., *Backdraft experiments in a small compartment*, Hokkaido University, Sapporo, Japan 1997
36. Hayasaka, H., Kudou. Y., *Burning rate in a small compartment fire*, Hokkaido University, Sapporo, Japan 1997
37. Millar, D.J., *Full Scale Limited Ventilation Fire Experiments*, Fire Engineering Research report, University of Canterbury 1995
38. Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling, *Rök- och kemdykning*, AFS 1995:1, ISBN 91-7930-295-5
39. Bengtsson, L-G., *Fullskaleförsök med skärsläckaren*, Helsingborgs Brandförsvär, Helsingborg, 2000
40. Croft, W.M., *Fires involving Explosions – A literature Review*, Fire Safety Journal, Vol. 3, 1980
41. Dunn, V., *Beating the backdraft*, Fire Engineering/ April 45–48, 1988
42. Bukowski, R.W., *Modelling a backdraft*, NFPA Journal, nov/dec 1995
43. Kiruna Räddningstjänst, *Sirenen 7/98*, Räddningsverket, Karlstad, 1999

## Bildförteckning

Tecknade illustrationer och foton:

Per Hardestam om ej annat anges.

Omslagets framsida samt sid 6: Peder Doverborg

Omslagets flik, författarfoto: Daniel Jönsson

s. 10 övre bild: Peter Frennesson

s. 10 undre bild, 16, 34, 84 samt 162: Olle Johansson

s. 110, 114: Peter Lundgren

s. 150: Roland Stregfelt

Figur nr:

20, 32 till höger, 33: Sven-Ingvar Granemark

27, 62, 76: Nils Bergström

28, 63: Illustration Per Hardestam, på foto Peder Doverborg

29: Peder Doverborg

35: Jan Tapani

68: Bild ur videofilm, Jan Tapani

70, 71, 81: Bild ur videofilm, Sven-Ingvar Granemark

88: Bild ur videofilm, Birger Markusson

94, 95, 97, 101: Daniel Gojkovic/Rapporten Initial backdraft experiments

96, 98, 99, 100, 102: Bild ur videofilm, Charles Fleischmann

106, 107: Kjell Nilsson

109, 110: Bo Andersson

111: Peter Lundgren.

## Register

- 62 Watts street 148  
Adiabatisk flamtemperatur 56  
AFS 1995:1 140  
Allmänna gaskonstanten 72  
Allmänna gaslagen 72  
Ammoniak 45  
Antändning 18, 20, 23, 35, 54, 61, 77, 116, 127, 130, 152  
Avsvlningsfas 12, 111, 113  
Backdraft 14, 122, 137, 151, 163  
Bastubrand i Kiruna 166  
Bastubränder 135, 166  
Begynnelsestemperatur 178  
Betong 113  
Brand, "andas" 115  
Brand, tillväxt 35  
Branddräkt 47  
Brandförlopp, begränsad ventilation 115  
Brandförlopp, tidigt 11, 35  
Brandförlopp, återupptas 119, 164  
Brandförloppskurva 11  
Brandgaser 36, 44, 46, 71, 76, 96, 116, 121  
Brandgaser, antändning 49, 76, 141, 164  
Brandgaser, färg 40, 99, 137  
Brandgaser, hastighet 102, 106  
Brandgaser, stignkraft 71  
Brandgaser, temperatur 11, 36, 122  
Brandgasexplosion 79, 151, 160  
Brandgaslager 35  
Brandorsak 17  
Brandplym 37  
Brandstart 17  
Brandstiftare 17  
Brännbarhetsgränser 55  
Brännbarhetsområde 55  
Bränslekonfiguration 14, 18, 42  
Bränslekontroll 14, 18, 35, 46, 85  
Bränslerik atmosfär 98, 126, 167  
Bränslets placering 14, 19, 135  
Bränsleyta 21, 43, 63, 95  
Byggnaders bärande konstruktioner 111  
Byggnadsdelars tryckttålighet 76, 80, 154  
Cellplatser 27  
Cellulosa 25  
Chockvåg 80  
Cyanväte 45  
Deflagration 79, 125, 152  
Densitet 27, 31, 38, 71  
Detonation 80  
Diffusion 50  
Diffusionsflammar 37, 48, 78, 97, 106, 131  
Dimspik 141  
Dimstrålrör 141  
Dynamit 80  
Effektutveckling 50, 91  
Eldklot 48, 124  
Elektrisk gnista 127  
Energiinnehåll 44  
Exoterm 50  
Expansionsfaktor 155  
Extern strålning 96  
Flameover 86  
Flamfront 80  
Flamförbränning 24, 126  
Flamhastighet 61, 64  
Flamspridning 25, 95, 108  
Flashover 87  
Fläkt 130, 143  
Fullständig förbränning 57  
Fullt utvecklad rumsbrand 12  
Förblandad gasmassa 54  
Förblandad zon 122, 130  
Förblandade flammar 131  
Förbränningseffektivitet 39



Förbränningshastighet 93, 96, 154  
Förbränningsprocessen 24, 31  
Förbränningsregion 130  
Förbränningsvärde 42  
Förbränningsvärme 42  
Förbränningszon 50  
Förhindrad termisk expansion 68, 74  
Förvärmningszon 64  
Förångningsvärme 42  
Gasfasverkan 63, 65  
Gasmassa, temperatur 59  
Glödbrand 24  
Gnistor 61  
Grand Hotel 160  
Gravity current 127  
Hållfasthet 113  
Hörnor 29  
Initialbrand 17, 95  
Isoleringsmaterial 45  
Klorväte 45  
Kolmonoxid 24, 44, 117  
Konkalorimeter 21  
k3c 22  
Kvävedioxid 45  
Kyla brandgaser 141  
Laminär 51  
Laminär förbränningshastighet 61, 64  
Latex 100  
Luftströmmens hastighet 129  
Långa inträngningsvägar 105  
Läckage 13, 68, 126, 158  
Lägenhetsbrand 117  
Lättantändlighet 20, 31  
Massflödet 38  
Mekanisk ventilation 66  
Metan 56, 79  
Möbler med stoppad klädsel 24  
Neutrallager 71, 74, 76  
NIST 149  
Nylon 45  
Oförbrända gaser 37, 66, 88, 125, 148  
Oförbrända kolväten 46  
Oljiga avlagringar 138  
Omslutningsyta 74, 95  
Organiska polymerer 20  
Oxidationsmedel 20  
Plast 44, 100  
Plym 37  
Polyuretan 45, 100  
Polyvinylklorid 45  
Porösa material 24  
Propan 79  
Pulsationer 115  
Pulserande brandgaser 138  
Pyrolys 21, 37  
Pyrolysgaser 25, 40, 46, 59, 93, 104, 115  
Pyrolyspanprodukter 11, 24, 124, 126  
Pölbrand 19, 48  
RB-90 46  
Reaktionsformel 65, 178  
Reaktionsskikt 50  
Reaktionszon 63  
Reflekterande luftström 133  
Riskbedömning 137, 140  
Rollover 86  
Rummets geometri 15  
Rumsbrand, fullt utvecklad 12, 111, 121  
Rökdykare 46, 93  
Silke 45  
Självantändning 20, 61  
Självantändning av brandgaser 48, 115, 121, 164  
Självslockna 14, 117, 126  
Skumgummi 100  
Skumplast 100  
Skärsläckaren 141

Släckförmåga 93  
Släckmedel 63  
Släckning, flammor 63  
Sot 38, 46  
Sotpartiklar 40  
Spontan antändning 61  
Spreadover 86  
Stardust Club 108  
Startföremål 14  
Sticklåga 151, 160  
Stigkraft 71, 81  
Strålningsintensitet 21  
Strålningsnivå 40  
Stålmaterial 113  
Stängt rum 115  
Stökiometrisk 56, 60, 154  
Syntetiska polymerer 42  
Syrebrist 115, 117  
Termisk stigkraft 71  
Termisk tryckskillnad 72  
Termoplaster 44, 94  
Tid till antändning 23  
Tryckbild 76  
Tryckförhållanden 65  
Trycktålighet 80, 154  
Tryckökning 69  
Träkonstruktioner 113  
Turbulent 51, 127  
Tvåzonsskiktning 75  
Tyger 45  
Tyngdkraftstyrd strömning 128  
Tändenergi 60  
Ull 45  
Undertryck 74, 117  
Undre brännbarhetsgräns 56, 59, 178, 180  
Varningssignaler 137  
Ventilation 40  
Ventilationskontroll 13, 18, 46, 85, 91, 93, 115  
Visslande ljud 138  
Värmebalans 93, 95  
Värmeeffekt, ekvation 43  
Värmekapacitet 60  
Värmeledningstal 27  
Värmeupptagningsförmåga 23  
Värmeutveckling 11, 50, 91  
Värmeöverföring 26  
Ytans geometri 29  
Ytans orientering 27  
Ytflamspridning 25  
Yttemperatur 20, 22  
Yttemperatur, ekvation 22  
Ytverkan 63  
Återstrålning 98, 104  
Övertryck 66, 75, 116  
Övertrycksfläkt 143  
Övertändning 11, 85, 102, 163  
Övre brännbarhetsgräns 55, 61, 179





