

Brand i byggnad



Biografi – Dr. Stefan Svensson

Stefan Svensson började sin karriär som värnpliktig brandman i Flygvapnet 1986. Stefan är disputerad brandingenjör och docent i Brandteknik vid Lunds Universitet. Han arbetar sedan flera år som lärare vid Myndigheten för civilt försvar och dess föregångare i Revinge men har också varit anställd vid Lunds Universitet som ansvarig för deras brandlaboratorium och den experimentella verksamheten. Han har även arbetat som deltidsbrandman och styrkeledare. Han har under många år varit inblandad i en rad experimentella och teoretiska studier kring metoder, taktik och ledning för kommunal räddningstjänst. Stefan har skrivit ett flertal böcker, rapporter och artiklar samt har under årens lopp bedrivit ett omfattande nationellt och internationellt utvecklingsarbete för räddningstjänsten.



Foto: Stefan Svensson

Brand i byggnad

Myndigheten för civilt försvar
651 81 Karlstad

Redaktör: Kristina Malmstedt-Svensson
Författare: Stefan Svensson

Foto omslag: Stefan Svensson
Produktion: Advant

Publikationsnummer: MCF0023 – januari 2026
ISBN-nummer: 978-91-7927-674-4

Förord

Mycket har skrivits om bränder, inte minst i byggnader och i synnerhet om hur man bäst bekämpar bränder. Redan 1864 skrev A Lindgren vid den nybildade Göteborgs Brandkår ”Allmänna Eldsläcknings-reglor – Hjelpreda för Brandkårer, Sprutfabrikanter och Sprutmästare, Kommunal- och Polistjenstemän, Husegare m.fl.” Längre fram i tiden ökade intresset för att på mer vetenskaplig grund förstå hur bränder utvecklas, och det finns ett flertal böcker på detta område. Utgångspunkten för att på ett säkert och effektivt sätt hantera bränder i byggnader måste vara att vi förstår varför och på vilket sätt sådana bränder kan utvecklas.

Den allra största delen av den litteratur som finns tillgänglig när det gäller brand, är teoretisk med matematiska beskrivningar av hur olika faktorer som påverkar bränders uppkomst och spridning förhåller sig till varandra. Dessa teorier är väl underbyggda med experimentell verksamhet och viktiga för en djupare förståelse för brand. Men dom är inte alltid direkt användbara i samband med räddningsinsatser. Den djupa kunskap som finns om brand måste kunna brytas ner och beskrivas utifrån mer pragmatiska synsätt. Ambitionen med den här boken har varit att skriva om brand och de faktorer som påverkar utveckling och spridning av brand i byggnader på ett sådant sätt så att vi tillsammans kan hantera räddningsinsatser vid brand i byggnad säkert och effektivt.

I slutet av 90-talet påbörjades ett projekt vid dåvarande Statens räddningsverk med titeln ”indikering av övertändning”. Syftet var att på något sätt hitta en anordning eller en indikator som på ett tidigt stadium skulle kunna ge en förvarning till räddningstjänstpersonal om en förestående övertändning. Redan tidigt under projektarbetet uppmärksammades att problemet var något helt annat: det fanns ett avsevärt avstånd mellan räddningstjänstens och den vetenskapliga världens kunskaper, syn och begreppsanvändning kring brandförlopp i rum.

Så i stället för en pryl slutade projektet med en bok: kunskap samlad på ett ställe. Boken ”Inomhusbranden”, som skrevs av Lasse Bengtsson, har under många år tjänat oss väl i utbildningen av räddningstjänstens personal. Men kunskapandet står inte stilla, och vi lär oss ständigt mer om brand och hur bränder utvecklas, sprids och påverkar (och påverkas av) omgivningen. Det var dags att skriva en ny bok, med en annan ansats och med ett uppdaterat innehåll. Men detta arbete hade givetvis inte gått att varken påbörja, genomföra eller slutföra utan hjälp av ett antal människor.

Jag vill därför tacka alla de studenter och arbetskamrater, nationellt såväl som internationellt, som på olika sätt har bidragit till kunskapandet och till förarbetet under årens lopp. Jag vill i synnerhet tacka Stefan Särdaqvist, Lasse Nelson, Niklas Bylund och Lasse Bengtsson för gott samarbete och kloka synpunkter under arbetet med denna bok.

Stefan Svensson
Revinge, januari 2026

”

Ambitionen med den här boken har varit att skriva om brand och de faktorer som påverkar utveckling och spridning av brand i byggnader på ett sådant sätt så att vi tillsammans kan hantera räddningsinsatser vid brand i byggnad säkert och effektivt.

– Stefan Svensson



Innehåll

Kapitel 1.

Inledning.....	11
----------------	----

Kapitel 2.

Historik.....	15
---------------	----

Kapitel 3.

En förenklad problembeskrivning.....	21
--------------------------------------	----

Kapitel 4.

Brandkemi.....	31
----------------	----

Materiens uppbyggnad och egenskaper.....	31
--	----

Energi och energiprinciper.....	37
---------------------------------	----

Fysikaliska tillstånd.....	45
----------------------------	----

Kemisk energi och kemiska reaktioner.....	52
---	----

Förbränning.....	54
------------------	----

Pyrolys.....	59
--------------	----

Kapitel 5.

Brandfysik.....	65
-----------------	----

Värmetransport och värmeöverföring.....	65
---	----

Ledning.....	66
--------------	----

Konvektion – strömning.....	70
-----------------------------	----

Värmestrålning.....	73
---------------------	----

Bränsle och bränslens egenskaper.....	80
---------------------------------------	----

Densitet.....	86
---------------	----

Värmeledningsförmåga.....	87
Värmekapacitet.....	89
Värmeupptagningsförmåga.....	90
Förbränningsvärme.....	94
Bränslets fördelning.....	97
Övriga materialegenskaper.....	100
Bärförmåga.....	102
Deformation.....	105
Förbränningseffektivitet.....	108
Brännbarhetsgränser och brännbarhetsområde.....	110
Tändenergi.....	113
Massavbrinning.....	115
Effektutveckling.....	117
Temperatur.....	119

Kapitel 6.

Brand och flammor.....	123
Antändning.....	123
Påtvungad antändning.....	124
Självantändning.....	125
Flamförbränning.....	126
Förblandade flammor.....	128
Diffusionsflammor.....	129
Glödbrand.....	135
Flamspridning.....	138

Flamfärg.....	143
Brännbara vätskor och gaser.....	145
Förbränningsprodukter och brandgaser.....	148
Deflagration, detonation och explosion.....	159

Kapitel 7.

Rumsbrand.....	163
Brand i föremål.....	164
Bränslekontroll och ventilationskontroll.....	167
Öppningsfaktor.....	172
Brandplym.....	173
Initialbrand och det tidiga brandförloppet.....	175
Det fortsatta brandförloppet.....	184
Övertändning.....	186
Fullt utvecklad rumsbrand.....	193
Avsvalningsfasen.....	197
Tryckförhållanden i rum vid brand.....	199
Flöden av brandgaser.....	204
Flöden av brandgaser i höga byggnader.....	208
Brandförlopp i slutna utrymmen.....	211
Brandförlopp i rum med begränsad ventilation.....	211
Backdraft.....	219
Brandgasexplosion.....	226
Vätskebrand i slutna utrymmen.....	231

Kapitel 8.

Brandförlopp i byggnader	235
Byggnad.....	235
Byggnadstyp och byggnadskonstruktion.....	237
Byggnadstekniskt brandskydd.....	239
Brandcell.....	243
Brandvägg	245
Brandsektion	246
Brandbelastning.....	246
Brand i flera rum.....	247
Brand i stora rum.....	260
Löpbrand inomhus ("travelling fires").....	264
Vinddrivna bränder.....	266
Soteld.....	271
Konstruktionsbrand.....	272
Brandförlopp vid konstruktionsbränder.....	275
Olika typer av konstruktionsbränder.....	281

Kapitel 9.

Modeller och utbildningsanordningar för brand	293
Slutord	301
Litteraturlista	303
Bilaga 1.	
Mått, storheter och enheter	307

Kapitel 1

Inledning

Räddningstjänsten hanterar en mängd olika typer av händelser. Några exempel är trafikolyckor, utsläpp av farliga ämnen, tamdjur som fastnar i diken och människor som fastnar med fingrar, armar och ben på de mest otroliga ställen. Bränder i byggnader utgör endast drygt 10 procent av samtliga händelser eller uppdrag som räddningstjänsten hanterar. Det finns dock en stor förväntan att bränder i byggnader ska kunna hanteras professionellt och med god precision, precis som alla andra typer av händelser och situationer som räddningstjänsten möter. Dessutom är kostnaderna för bränder i byggnader en stor belastning för samhället, oavsett om det är bränder i soprum eller stora industrier. Det finns ett otal exempel på omfattande olyckor som antingen har börjat med eller resulterat i brand. Vi måste helt enkelt ha god förmåga att hantera bränder i byggnader. Och för att kunna göra det, måste vi ha goda kunskaper om varför bränder sprids och utvecklas som dom gör.

För att kunna hantera bränder i byggnader på ett säkert och effektivt sätt, och för att inte bli överraskade och hamna i situationer vi inte ska vara i, måste vi ha kunskap om alla de faktorer som påverkar brandens utveckling. Detta innefattar grundläggande kunskaper och förståelse för bland annat hur olika typer av material reagerar när dom på olika sätt utsätts för värme, hur sådana material bidrar till att brand sprider sig och utvecklas samt hur omgivningen, såsom ett rum eller en omgivande vind, kan påverka brandens utveckling och spridning.

Brand är eld som kommit lös. Det är en process, en okontrollerad kemisk reaktion i gasfas som sänder ut synligt ljus i form av en flamma. Något förenklat krävs det bränsle, syre och värme för att brand ska uppstå och fortgå. Vi beskriver ofta brand med den så kallade brandtriangeln, som består av dessa tre element. Denna enkla beskrivning fungerar ofta väl, men egentligen är den problematik som omgärdar brand mycket mer komplex än så. I synnerhet när det gäller brand i byggnad, eftersom branden och byggnadens innehåll, utformning och konstruktion då samverkar. Branden i sig utvecklas utifrån ett antal parametrar och faktorer, men i kombination med en byggnad och dess komplexitet blir det fort svårt att få en helhetsbild av hur bränder utvecklas i byggnader.

Allt som händer från det att branden startar till dess att hela byggnaden brinner beror i grund och botten på ett relativt litet antal faktorer och parametrar. Men när dessa faktorer och parametrar kombineras eller varieras, uppstår ett näst intill oändligt antal sätt för brand att utvecklas och spridas i en byggnad. Sådana faktorer och parametrar är till exempel

- egenskaper hos brännbara material
- hur olika brännbara material är placerade i förhållande till varandra
- hur sådana olika brännbara material är placerade i rum och byggnader
- utformningen av rum och byggnader
- antal öppningar och deras storlek
- byggnadens konstruktionssätt.

Det är dessa faktorer och parametrar, inklusive åtminstone vissa av alla möjliga kombinationer, som den här boken handlar om. Vissa områden och ämnen behandlas mer ingående, medan andra endast är kort berörda. De områden som är mer ingående behandlade är sådana som mer direkt påverkar rumsbränder och byggnadsbränder.

Boken är i första hand skriven för räddningstjänstens grundutbildningar, men detta utesluter givetvis inte att den kan komma till nytta även i andra sammanhang eller för andra målgrupper. Tyngdpunkten ligger på förståelsen av de processer som ligger bakom bränder i byggnader.

Innehållet är mer praktiskt än teoretiskt inriktat, mer kvalitativt än kvantitativt. Boken gör inga anspråk på att vara heltäckande. Dessutom upptäcker vetenskapen nya saker hela tiden, vilket gör det omöjligt att försöka täcka in allt. Det tillkommer också nya brandrisker. Elektrifieringen har ökat och med den användningen av bland annat batterier. Allt fler komplexa byggnader uppförs i trä. Detta är saker som påverkar bränders utveckling och spridning i byggnader, och det är inte alltid i positiv riktning. Men grunderna kring hur brand utvecklas kvarstår. Och det är där vi måste börja.

Innehållet i boken bygger i stor utsträckning på kunskap som varit väl känd för den brandtekniska vetenskapen under lång tid. Men det finns även en del kunskap som tillkommit under senare år. Avsikten med boken är därför att sammanställa kunskapsläget, på ett sätt som förhoppningsvis ska kunna ge något oavsett om läsaren är helt ny inom området eller om läsaren söker en viss grad av fördjupning. För den som vill läsa ännu mer, finns det i slutet av boken en referenslista med källor som boken baseras på. Denna referenslista rekommenderas starkt.

Stora delar av boken bygger på Drysdale (1985), Karlsson et.al. (1999) och SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (2016). Dessa rekommenderas varmt för den som verkligen vill fördjupa sig i den teoretiska bakgrunden.

Men boken bygger även på en mängd erfarenheter som är gjorda under årens lopp, såväl pedagogiskt som i sak. Det mesta bör inte komma som några större överraskningar för den som redan har kunskaper om brand. Men innehållet är justerat, uppdaterat och anpassat, och det har tillkommit en del nya synsätt och vinklingar i förhållande till tidigare litteratur på området.

Kapitel 2

Historik

Eld har under årtusendena varit en viktig del av människors liv. Vi har använt eld till matlagning, uppvärmning, för tillverkning men också för att förstöra saker. För den kunniga är eld ett verktyg som kan komma mänskligheten till stor nytta. Men samma kunnighet kan även orsaka mänskligheten stort lidande. Elden är en god vän men en farlig fiende. Detta präglar även mytologin, där eld och brand förekommer på en mängd olika sätt, i olika skepnader och ofta används som ett instrument i olika typer av ritualer. Nedan följer några exempel på hur eld är beskriven i mytologin.

Fenix var en mytisk fågel som är förknippad med ett flertal kulturer, och det finns flera varianter av historien om fågeln. Den minsta gemensamma nämnaren är att Fenix var en fantastisk gyllenröd fågel vars kropp utstrålade solens strålar. Endast en fågel Fenix kunde finnas åt gången. När fågeln kände att döden var nära, vilket inte inträffade särskilt ofta, byggde den ett bo och satte eld på det. Fågeln försvann i flammorna och ur askan uppstod ett ägg som kläcktes. Den nykläckta Fenix balsamerade sin föregångare och flög med den till solens stad, där askan lades på solgudens altare. I Egypten avbildades fågeln Fenix vanligtvis som en häger, men i den klassiska litteraturen som en påfågel eller en örn.

I den grekiska mytologin stal Prometheus elden från Olympen och gav den till människorna, och med den följde teknologi, kunskap och civilisation. För detta dömdes han till evig plåga. Eld sågs således både som en välsignelse och en förbannelse.

I den fornnordiska mytologin var Loge en personifiering av elden. Loge och asaguden Loke tävlade om vem som kunde äta snabbast. Dom åt visserligen upp maten lika fort, men Loke hade endast ätit upp köttet. Loge vann, eftersom han hade ätit upp såväl köttet som benen och tråget dom åt ur. Detta säger något om eldens destruktiva kraft.

Figur 1. Fågeln Fenix



Även vetenskapen kring eld och brand har länge fascinerat människorna. På 1600-talet ökade intresset för vetenskap, och den så kallade flogiston-teorin växte fram, som ett försök att förklara eld. Denna teori hävdade att en speciell substans, flogiston, var bunden i alla brännbara ämnen. Flogiston frigjordes när något brann, och absorberades av luften tills den blev mättad och ingen ytterligare förbränning kunde ske. Teorin sa att ju mer flogiston ett ämne innehöll, desto bättre brann det. Detta påvisades med enkla experiment som gick ut på att visa att askan efter något som har brunnit upp väger väldigt mycket mindre än det ursprungliga ämnet. Eftersom flogistonet försvinner vid förbränning, blir så klart brandresterna mycket lättare. Och ett lättantändligt ämne minskar mer i vikt vid förbränning, än ett svårantändligt. Bevisen för flogistons existens kunde inte bli tydligare.

Under senare delen av 1700-talet la den franske kemisten Antoine Lavoisier grunden till det som senare ersatte flogistonteorin: att syre låg till grund för förbränning. Flogistonteorin var visserligen på rätt spår, men man hade vänt på det. Det är inte något ämne som lämnar det brinnande materialet, utan det är luftens syre som förenar sig med de

ämnen som finns i det som förbränns. Att vikten minskar beror helt enkelt på att en hel del förbränningsprodukter är gasformiga och lämnar bränslet. Det går även att göra enkla experiment som visar att restprodukterna efter en förbränning kan väga mer än det ursprungliga bränslet, trots att det även bildats gasformiga förbränningsprodukter. Luftens syre har förenats med bränslet och bildat nya ämnen.

Idag vet vi väldigt mycket om eld, brand och förbränning. Under slutet av 1800-talet beskrev den svenske kemisten Svante Arrhenius temperaturens stora betydelse för kemiska reaktioner. Men den moderna vetenskapen kring brand är relativt ung jämfört med till exempel medicin eller hållfasthetslära. Dagens brandtekniska vetenskap kan sägas ha uppstått någon gång efter andra världskriget. Det är fortfarande mycket vi inte vet och det är viktigt att brandforskningen fortgår, inte minst eftersom brand har stor betydelse för mänsklighetens säkerhet och har stor inverkan på det moderna samhällets funktionalitet. Tyvärr har det ofta varit stora brandkatastrofer som drivit utvecklingen framåt. Det kanske tydligaste exemplet är branden vid nattklubben Stardust i Dublin 1981 där 48 människor omkom (The Irish Health Repository, 1981). Det finns en mängd andra exempel på stora händelser som antingen börjat med brand eller resulterat i brand. Ta till exempel olyckan i Chernobyl 1986 (Statens strålskyddsinstitut, 2001). Förutom själva strålningsproblematiken med det radioaktiva materialet uppstod det enorma problem med att bekämpa de bränder som uppstod, och bränderna bidrog i sin tur till att sprida radioaktivt material över ett stort område. Eller attentatet mot World Trade Center i New York 2001, där de bränder som uppstod fick flera byggnader att rasa samman och det brann i rasmassorna under flera dagar efter raset (NIST, 2005).

Det finns även andra mer närliggande händelser, som har fått stor uppmärksamhet. Exempel är bland annat branden på Herkulesgatan i Göteborg 1998, där 63 ungdomar dog, och branden på Börsen i Köpenhamn 2024, där stora kulturella värden bokstavligen gick upp i rök.



Forskning om brand är ofta experimentell. Bilden visar två termoelement (för att mäta temperatur) monterade på varsin så kallad bi-directional probe (för att mäta och beräkna gasers hastighet). Foto: Stefan Svensson.

Dagens brandvetenskap handlar å ena sidan om att förbättra och utveckla kunskapen och skapa ännu bättre förståelse för hur brand uppkommer och sprids, inklusive hur olika typer av material reagerar vid brand. Å andra sidan handlar den om att skapa bättre matematiska modeller för brand. Syftet med dessa modeller är främst att återskapa och framför allt förutsäga hur en brand kommer att utvecklas och påverka människor, egendom och miljö, utan att behöva bedriva alltför omfattande experimentell verksamhet. Men det handlar även om att skapa bättre kunskapsmässiga förutsättningar för räddningstjänsten att hantera bränder i byggnader.

Forskningen handlar också om att till exempel utveckla provningsmetoder för byggnadsdelar eller att undersöka hur ny teknik uppför sig vid brand. Kort sagt: brandteknisk vetenskap går ut på att göra samhället säkrare och mer motståndskraftigt mot brand, genom ett ständigt kunskapande.

Brandexperiment är ofta kostsamma och det kan vara svårt att göra om experiment. Det är också många parametrar som påverkar, vilket gör det svårt att kontrollera brandexperiment. Småskaliga experiment är lättare, men då förlorar man ofta realismen. Repeterbarhet är svårt att åstadkomma eftersom den experimentella uppställningen helt enkelt brinner upp. Det är inte alltid helt enkelt att exakt återskapa en experimentell uppställning, i synnerhet inte experiment i stor skala. Men experimentell verksamhet i såväl liten som stor skala är ändå viktigt för att öka förståelsen för brand.

Kapitel 3

En förenklad problembeskrivning

Det finns en mängd faktorer som påverkar hur en brand uppstår och utvecklas i en byggnad. Följande beskrivning kan vara värdefull som en första, men väldigt grov, översikt av ett sådant förlopp. Beskrivningen är givetvis inte någon generell sanning, eftersom det finns en mängd faktorer och variabler som inverkar på brandens förlopp.

I denna första korta beskrivning används en mängd termer och uttryck, vilka kommer att förklaras mer ingående längre fram i boken. Även de kemiska och fysikaliska faktorer och fenomen som ligger bakom och som styr och påverkar hela brandens utveckling kommer att beskrivas och förklaras. För att förstå och bedöma hur en brand utvecklas i en byggnad, är det viktigt att förstå samtliga dessa faktorer och fenomen. Men låt oss börja på enklaste sätt.

En brand uppstår i en fätölj i ett rum. Hur branden uppstår är oftast relativt ointressant för själva brandförloppet, även om det finns ett antal undantag där brandorsaken i sig kan göra att branden utvecklas något annorlunda än vad som beskrivs i detta avsnitt. Men låt oss nu återvända till branden som uppstått i fätöljen.



En brand är ofta liten i början, men kan fort växa sig stor. Foto: Kicki Nilsson.

Efter att branden har startat börjar den producera förbränningsprodukter, i form av gaser, vätskedroppar och partiklar. Förbränningsprodukterna blandas med luft, och eftersom dom är varma stiger dom uppåt i rummet, träffar taket och sprider ut sig i alla riktningar längs med taket. Vi kallar denna blandning för brandgaser. Mängden av och egenskaperna hos brandgaserna är den enskilt störst bidragande orsaken till hur branden utvecklas och sprider sig. Men även rummets alla ytor påverkar hur branden utvecklas och sprider sig, oavsett om ytorna är brännbara eller inte och oavsett om det är väggar, tak, golv eller föremål i rummet.



Brandgaser som bildas i branden har stor betydelse för brandens fortsatta spridning.
Foto: Stefan Svensson.

Flammorna från branden i soffan värmer upp omgivande ytor, det vill säga de delar av soffan som ännu inte brinner liksom övriga ytor i rummet. Detta sker främst genom värmestrålning men även genom konvektion (luftrörelser). Efterhand som soffans ytor värms upp antänds dom, och branden sprider sig över soffan. Även de brandgaser som bildas värmer upp rummets olika ytor, framför allt tak samt de övre delarna av väggarna. Branden är i detta skede bränslekontrollerad, det vill säga brandens utveckling kontrolleras av bränslets egenskaper och mängd.

Om det finns tillräckligt med bränsle och tillräckligt stora öppningar i rummet så att luft kan komma in, kommer uppvärmningen av rummets ytor och föremål så småningom att nå en punkt där branden hastigt sprider sig till rummets samtliga föremål. En övertändning inträffar, det vill säga ett skede i branden där spridningen sker under en relativt kort tidsperiod från ett eller ett fåtal föremål i rummet till samtliga föremål i rummet. Nu brinner allt i rummet, och flammor slår ut genom rummets öppningar. Branden blir då ventilationskontrollerad, det vill säga brandens utveckling kontrolleras av tillgången till luft.



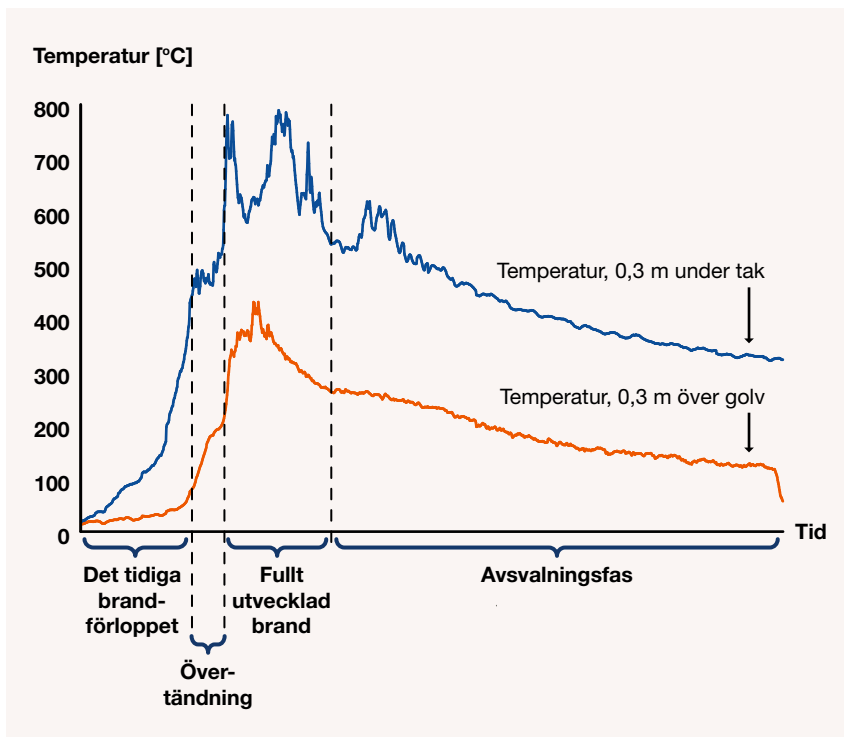
Efter en övertändning omfattas allt brännbart i rummet av branden, och den blir ventilationskontrollerad. Foto: Johnér Bildbyrå.

Efter övertändningen säger vi att branden är fullt utvecklad. När branden är fullt utvecklad i ett rum, är det en liten chans att det finns något liv att rädda i det rummet. Däremot kan det finnas möjlighet att överleva i andra utrymmen i byggnaden, även om förutsättningarna fort kan bli sämre.

Att lågor slår ut genom rummets öppningar är ett tydligt tecken på att branden är fullt utvecklad och ventilationskontrollerad. Lågorna som slår ut genom öppningar tyder på att det inte längre finns tillräckligt med luft inne i rummet för den förbränning som sker.

När bränslet börjar ta slut övergår branden i en avsvalningsfas och blir då återigen bränslekontrollerad. Denna beskrivning förutsätter dock att branden inte sprider sig utanför rummet och att den inte släcks av räddningstjänsten.

Figur 2. Temperaturen i ett brandrum förändras över tid



Figuren visar ett exempel på hur temperaturen i ett brandrum kan förändras över tid. Skillnader mellan olika rum kan till exempel vara olika hög temperatur eller de olika fasernas varaktighet. Temperaturen kan också skilja stort mellan olika delar i rummet.

Om rummet som det börjat brinna i finns i en byggnad där ett antal rum eller utrymmen sitter ihop och har förbindelser med varandra, fortsätter branden sprida sig till rum efter rum. Redan när branden i soffan uppstår börjar brandgaser sprida sig från det första rummet till övriga rum. Dessa brandgaser värmer då upp framför allt takytor och de övre delarna av rummen.

När branden växt sig tillräckligt stor, kommer den att växa allt fortare. Om takytor och väggar i byggnaden redan är uppvärmda av de brandgaser som bildats av branden, sprider sig branden tämligen fort till eller i andra rum. Observera att en brand inte kan sprida sig hur som helst; det finns en mängd begränsningar. De viktigaste begränsningarna är mängden och typen av tillgängligt bränsle samt eventuella öppningars storlek, antal och placering. Dessutom kan omgivande faktorer såsom vind och omslutande ytors egenskaper påverka.

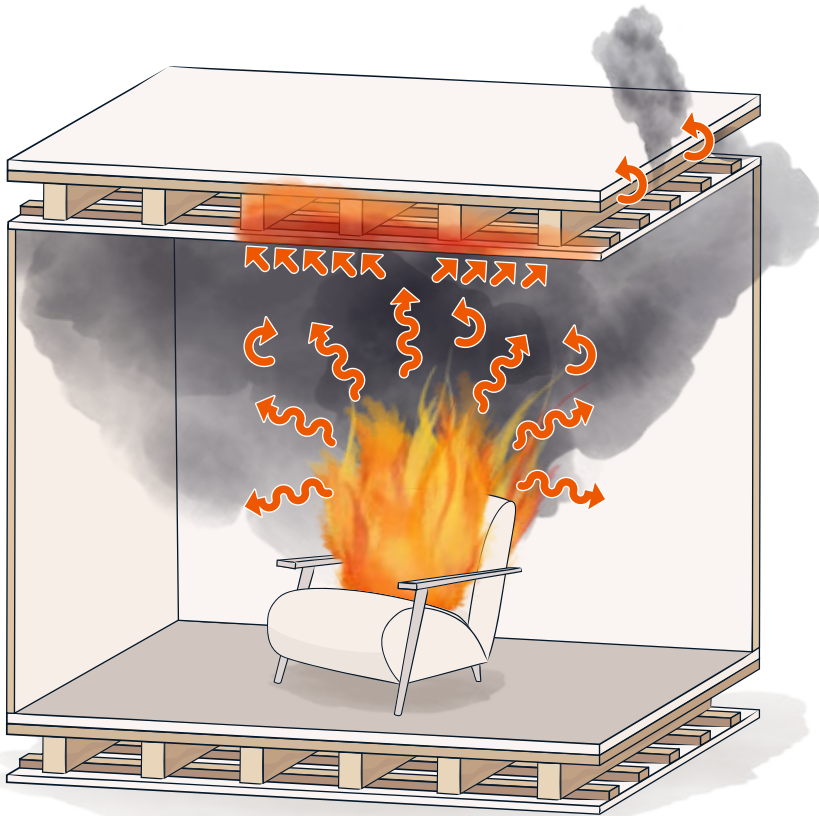


En brand i ett enskilt föremål kan fort växa och sprida sig till stora delar av eller hela byggnaden. Foto: Johnér Bildbyrå.

I samband med bränder i byggnader kan branden sprida sig från ett föremål till andra föremål, till hela rummet och till flera rum. Ofta är det främst inredning och andra föremål i rummet som är bränslet och brinner. Men brännbara ytor i själva byggnaden deltar givetvis också i branden, på motsvarande sätt som föremålen.

Branden kan även sprida sig till, eller uppstå i, själva byggnaden och de delar och komponenter som byggnaden består av. Branden kan sprida sig genom väggar, golv eller tak, och även inne i byggnadens konstruktion, där det ofta finns en hel del hålrum eller andra utrymmen. Vi pratar då om så kallade konstruktionsbränder. Dessa kan vara svåra att hantera, inte minst eftersom dom är dolda. Vi kan inte se var dom är, eftersom dom sprider sig inne i väggar, tak eller golv. Nu brinner det inte bara i byggnadens rum, nu brinner själva byggnaden. Och försöker vi bryta upp väggar eller golv med avsikten att släcka, finns det samtidigt en risk att vi sprider branden vidare eftersom vi då tillför luft till branden.

Figur 3. En brand kan sprida sig till byggnadens konstruktion





En backdraft är ett fenomen som kräver särskilda omständigheter för att uppstå, men som kan vålla stora skador. Tiden är angiven som sekunder och hundradels sekunder. Foto: Hans Loo.

Utöver problematiken med konstruktionsbränder, kan det även uppstå en mängd andra fenomen som försvårar förhållandena i eller utanför byggnaden. Exempel på sådana fenomen är brandgasexplosion och backdraft. I båda dessa fall beror händelseutvecklingen i stor utsträckning på hur brandgaser sprider sig i byggnaden, egenskaperna hos dessa brandgaser (temperatur, innehåll med mera), formen på rummen i byggnaden och inte minst på hur många öppningar det finns samt hur stora dessa är.

Stora utrymmen liksom utrymmen under mark eller högt över mark innebär särskilda problem och ger något andra förutsättningar för spridning av brand. Den typen av bränder låter sig inte beskrivas lika enkelt som bränder i mer ”normala” byggnader eller utrymmen. Därför är det särskilt viktigt att ha god förståelse för de bakomliggande faktorerna.

Vi behöver ha grundläggande förståelse för ett antal saker för att bättre förstå hur en brand kan utvecklas i en byggnad och de fenomen som kan uppstå i samband med detta. Det handlar bland annat om materialets uppbyggnad och egenskaper, fysikaliska tillstånd, energi, energiprinciper och kemiska reaktioner. Dessa olika faktorer kan delas in områdena brandkemi respektive brandfysik. Så låt oss börja från början.

Kapitel 4

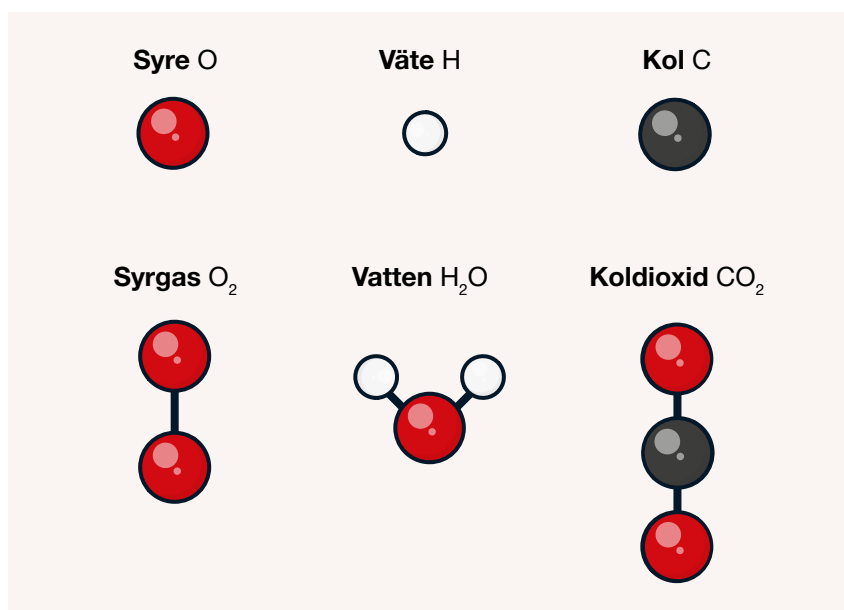
Brandkemi

Brandkemi är ett specialområde inom kemi som innefattar den kemi som ligger till grund för brand och förbränning. Avsnittet kommer även till viss del att belysa mer grundläggande kemi, för att skapa en bättre förståelse för brand och förbränning. Det allra mesta av denna kunskap står att finna i vilken grundbok i kemi som helst.

Materiens uppbyggnad och egenskaper

Allt vi har omkring oss är uppbyggt av atomer. Dessa atomer sitter normalt ihop med andra atomer och bildar då något slags ämne. Ett ämne som består av molekyler med endast ett slags atomer kallas för grundämne. Varje grundämne har en kemisk beteckning, som består av en eller två bokstäver. Till exempel så har syre beteckningen O och metallen natrium beteckningen Na.

Figur 4. Allt vi har omkring oss är uppbyggt av atomer som tillsammans bildar molekyler



Ordet atom kommer från grekiskan och betyder odelbar. Men även atomer består av ännu mindre delar: protoner, neutroner och elektroner. Protoner och neutroner finns i atomens kärna. Elektroner finns i atomens "skal", det vill säga dom rör sig runt kärnan med svindlande hastighet. Atomkärnan utgör nästan hela atomens massa, eftersom protonen och neutronen båda är cirka 1 800 gånger tyngre än elektronen. Elektronerna befinner sig i ett så kallat elektronmoln, som omger kärnan. Detta elektronmoln är många gånger större än kärnan.

Elektroner är negativt laddade, protoner är positivt laddade, medan neutroner är neutralt laddade. Atomen är normalt elektriskt neutral, vilket innebär att det finns lika många elektroner som protoner.

Observera att atomer är mycket små, i storleksordningen 0,1 nanometer, det vill säga 0,1 miljarddels millimeter eller 0,000000001 meter. Atomen är den minsta enheten av ett grundämne som definierar dess kemiska egenskaper.

I grundämnenas periodiska system är grundämnena dels ordnade efter ökande antal protoner i atomens kärna, dels grupperade efter likartade kemiska och fysikaliska egenskaper. Väte (H) har nummer 1, eftersom atomkärnan innehåller en proton. Syre (O) får nummer 8 efter åtta protoner i kärnan. Normalt har atomer lika många elektroner som protoner. Om detta förändras kan atomen, och därmed även det ämne som atomerna utgör, få helt andra egenskaper. Det kemiska tecknet (symbolen) står för en atom av grundämnet.

Det periodiska systemet

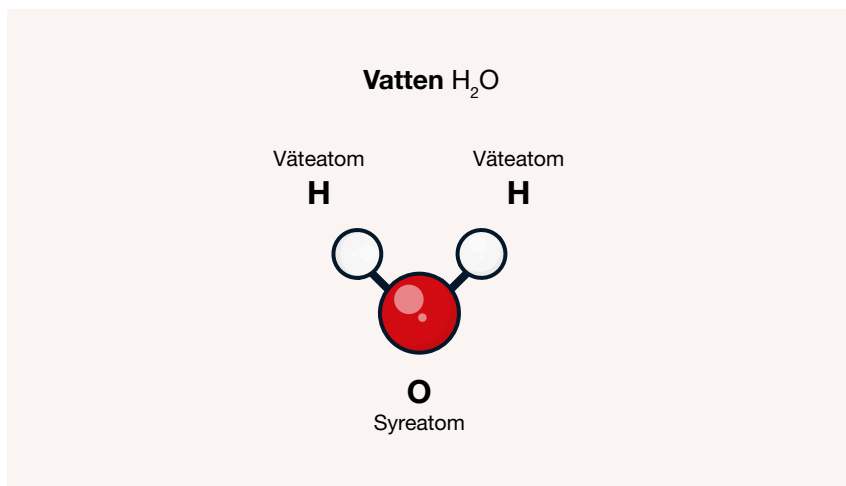
Figur 5. Det periodiska systemet visar på grundämnenas egenskaper och hur dom förhåller sig till varandra

Kategorier										Materiens tillstånd																			
★ Alkalimetall	▲ Lantanoider	▲ Halvmetall	Gasformig							FLYTANDE							Fast			Okänd									
◆ Alkalisk jordartsmetall	● Aktinoider	◆ Icke-metall																											
◐ Övergångsmetall	◐ Övrig metall	◐ Ädelgas																											
■ Okända kemiska egenskaper																													
H 1 Väte	He 2 Helium		Li 3 Litium		Be 4 Beryllium		B 5 Bor		C 6 Kol		N 7 Kväve		O 8 Syre		F 9 Fluor		Ne 10 Neon		Ar 18 Argon		Kr 36 Krypton		Xe 54 Xenon		Rn 86 Radon		Og 118 Oganesson		
Na 11 Natrium		Mg 12 Magnesium		Al 13 Aluminium		Si 14 Kisel		Ge 32 Germanium		As 33 Arsenik		Se 34 Selen		Br 35 Brom		Cl 17 Klor		S 16 Svavel		P 15 Fosfor		Sb 51 Antimon		Te 52 Tellur		Po 84 Polonium		Lv 116 Livermorium	
K 19 Kalium		Ca 20 Kalcium		Sc 21 Skandium		Ti 22 Titan		V 23 Vanadin		Cr 24 Krom		Mn 25 Mangan		Fe 26 Järn		Co 27 Kobolt		Ni 28 Nickel		Cu 29 Koppar		Zn 30 Zink		Ga 31 Gallium		In 49 Indium		Sn 50 Tenn	
Rb 37 Rubidium		Sr 38 Strontium		Y 39 Yttrium		Zr 40 Zirkonium		Nb 41 Niob		Mo 42 Molybden		Tc 43 Teknetium		Ru 44 Rutenium		Rh 45 Rodium		Pd 46 Palladium		Ag 47 Silver		Cd 48 Kadmium		Hg 80 Kvicksilver		Tl 81 Tallium		Pb 82 Bly	
Cs 55 Cesium		Ba 56 Barium		La 57 Lantanoider		Hf 72 Hafnium		Ta 73 Tantal		W 74 Wolfram		Re 75 Rhenium		Os 76 Osmium		Ir 77 Iridium		Pt 78 Platina		Au 79 Guld		Cn 112 Copernicium		Nh 113 Nihonium		Fl 114 Flerovium		Mc 115 Moskovium	
Fr 87 Francium		Ra 88 Radium		89-103 Aktinoider		Rf 104 Rutherfordium		Db 105 Dubnium		Sg 106 Seaborgium		Bh 107 Bohrium		Hs 108 Hassium		Mt 109 Meitnerium		Ds 110 Darmstadtium		Rg 111 Röntgenium		Ts 117 Tenness		Og 118 Oganesson		Lr 103 Lawrencium		No 102 Nobelium	
La 57 Lantan		Ce 58 Cerium		Pr 59 Praseodym		Nd 60 Neodym		Pm 61 Prometium		Sm 62 Samarium		Eu 63 Europium		Gd 64 Gadolinium		Tb 65 Terbitium		Dy 66 Dysprosium		Ho 67 Holmium		Er 68 Erbium		Tm 69 Thulium		Yb 70 Ytterbium		Lu 71 Lutetium	
Ac 89 Aktinid		Th 90 Torium		Pa 91 Protaktinid		U 92 Uran		Np 93 Neptunium		Pu 94 Plutonium		Am 95 Americium		Cm 96 Curium		Bk 97 Berkelium		Cf 98 Californium		Es 99 Einsteinium		Fm 100 Fermium		Md 101 Mendeleevium		No 102 Nobelium		Lr 103 Lawrencium	

Ett grundämne utmärker sig genom egna typiska egenskaper, såsom lukt, smak, färg, densitet (vikt per volymenhet), kokpunkt, smältpunkt med mera. Grundämnena indelas efter sina egenskaper i två grupper, metaller och icke-metaller. I metallerna ligger atomerna tätt packade i metallkristaller.

Totalt finns det cirka 118 kända grundämnena, varav 94 förekommer naturligt medan resterande kan framställas på konstgjord väg. I naturen ingår grundämnena normalt i olika kemiska föreningar och bildar då nya ämnen, med egenskaper som kan skilja sig väsentligt från de ingående grundämnena. Det är sällan som grundämnena finns i naturen i sin grundform. Till exempel så består en vattenmolekyl av två väteatomer och en syreatom (vilket skrivs som H_2O), medan en koldioxidmolekyl består av en kolatom och två syreatomer (vilket skrivs som CO_2). Vatten och koldioxid är således exempel på kemiska föreningar. Men luft består till största delen av syre och kväve, som då är i sina respektive grundformer och inte har bildat något nytt ämne. Detta kan betraktas som ett undantag, dock ett viktigt sådant eftersom luftens syre påverkar bränders spridning och utveckling. Luft är således en blandning av flera olika ämnen, inte en förening. Kväve utgör den största delen (cirka 79 procent) av blandningen.

Figur 6. Vattenmolekyler är uppbyggda av två väteatomer och en syreatom

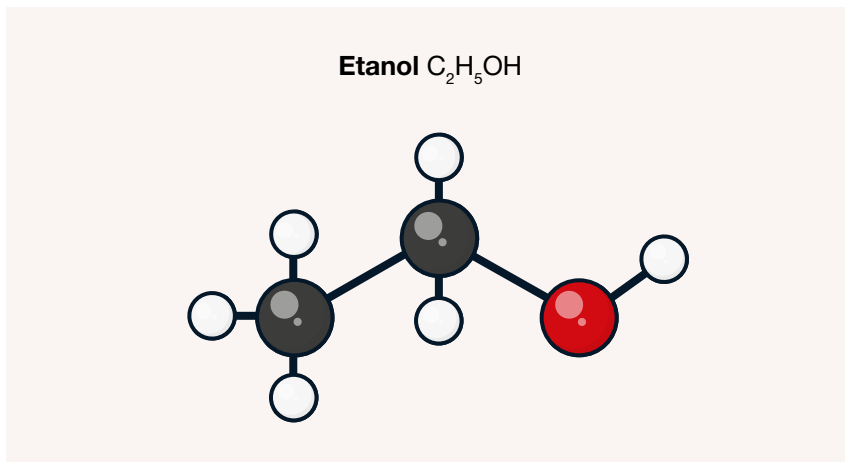


Föreningar som består av flera grundämnen, där atomer av olika slag har bildat gemensamma molekyler, får alltid andra egenskaper än de ingående enskilda grundämnena. Men även blandningar av olika grundämnen eller molekyler kan få andra egenskaper än de ingående komponenterna har var för sig. Detta kan ha betydelse vid brand och förbränning. Egenskaperna hos de olika ämnen som ingår i en förening eller blandning påverkar varandra när temperaturen ökar.

Vissa kemiska föreningar är uppbyggda av joner, det vill säga av elektriskt laddade atomer eller atomgrupper. En jon har olika antal protoner i kärnan och elektroner i "skalet". Laddningen hos en jon kan vara negativ (fler elektroner än protoner) eller positiv (färre elektroner än protoner).

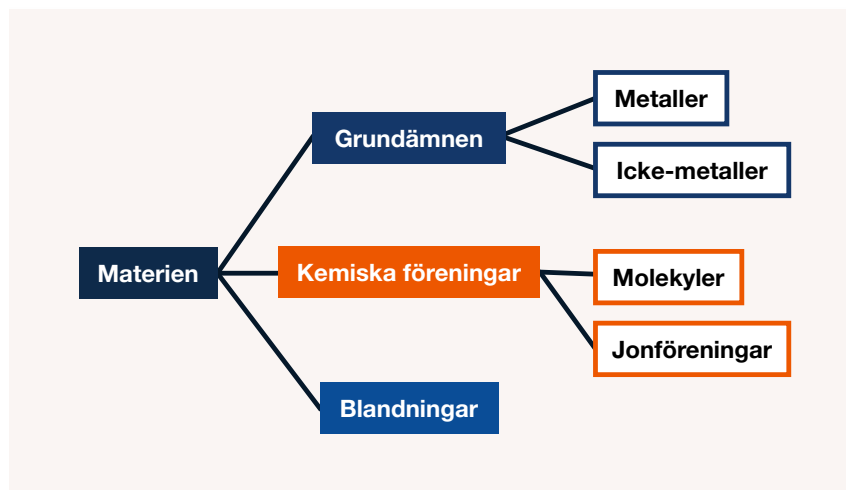
Föreningar av joner kallas också salter. Jonföreningen koksalt, det vill säga natriumklorid (NaCl), består av lika många positivt laddade natriumjoner (Na^+) som negativt laddade kloridjoner (Cl^-). Föreningen mellan dessa positivt och negativt laddade joner är elektriskt neutral. Jonbindningar, det vill säga de bindningar som håller samman atomerna (jonerna) till molekyler, anses som relativt starka bindningar.

I ett mycket stort antal föreningar ingår grundämnet kol som huvudbeståndsdel, ofta tillsammans med väte, syre eller kväve. Sådana föreningar kallas organiska föreningar och är för det mesta brännbara. Dom kan då reagera med syre från till exempel luften. Organiska föreningar är en viktig ingrediens för att brand ska kunna uppstå och fortgå. Ett exempel på en brännbar organisk förening är etanol, det vill säga det som vi till dagligdags kallar för sprit. Etanol har den kemiska beteckningen $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, det vill säga består av två kolatomer, fem väteatomer och en så kallad hydroxylgrupp (OH) bestående av en syreatom och en väteatom.

Figur 7. Organiska föreningar är uppbyggda kring grundämnet kol

Figuren visar hur molekylen etanol är uppbyggd. Den består av två kolatomer, fem väteatomer samt en så kallad hydroxylgrupp som består av en syreatom och en väteatom.

De flesta av de material och ämnen vi möter i vardagen är blandningar av olika kemiska föreningar. En blandning är en sammansättning av två eller flera ämnen som inte är kemiskt bundna till varandra. Man skiljer på homogena blandningar, där de ingående ämnena inte kan urskiljas med blotta ögat, och heterogena blandningar där de olika ämnena kan urskiljas. Bensin är en blandning av en mängd kolväteföreningar i vätskeform, medan gasol är en blandning av gasformiga kolväteföreningar (främst propan och butan). Blandningar kan i princip bestå av såväl gaser som vätskor eller fasta ämnen. Beroende på vilka ämnen som blandas, får blandningen olika egenskaper, vilket kan ha stor inverkan på hur brand uppstår och sprids. När vissa ämnen blandas kan det ske en kemisk reaktion där nya ämnen bildas. Det uppstår då en förening, det vill säga ett nytt ämne som bildats genom att två eller flera ämnen kombinerats och reagerat kemiskt. Det har skett en kemisk reaktion mellan de ingående ämnena så att ett eller flera nya ämnen bildats. Ibland sker värmeutveckling vid sådana kemiska reaktioner. Ibland måste vi i stället tillföra värme (energi) för att den kemiska reaktionen ska ske. Båda dessa fall är aktuella vid brand, det vill säga att det tillförs värme samt att det sker en värmeutveckling. Det är dessa mekanismer och kemiska reaktioner som är grunden för att brand sprids och utvecklas.

Figur 8. Ämnen och föreningar förhåller sig till varandra på olika sätt

Den kraft som håller samman såväl atomer som molekyler är energi. Den värme som behöver tillföras för att brand ska uppstå och den värme som utvecklas när branden har uppstått är också energi. Om tillräckligt med energi tillförs på rätt sätt till ett ämne eller en blandning, påverkas de ingående molekylerna så att nya ämnen kan bildas. För att förstå brand, behöver vi därför även förstå vad energi är, samt hur energi överförs och fungerar.

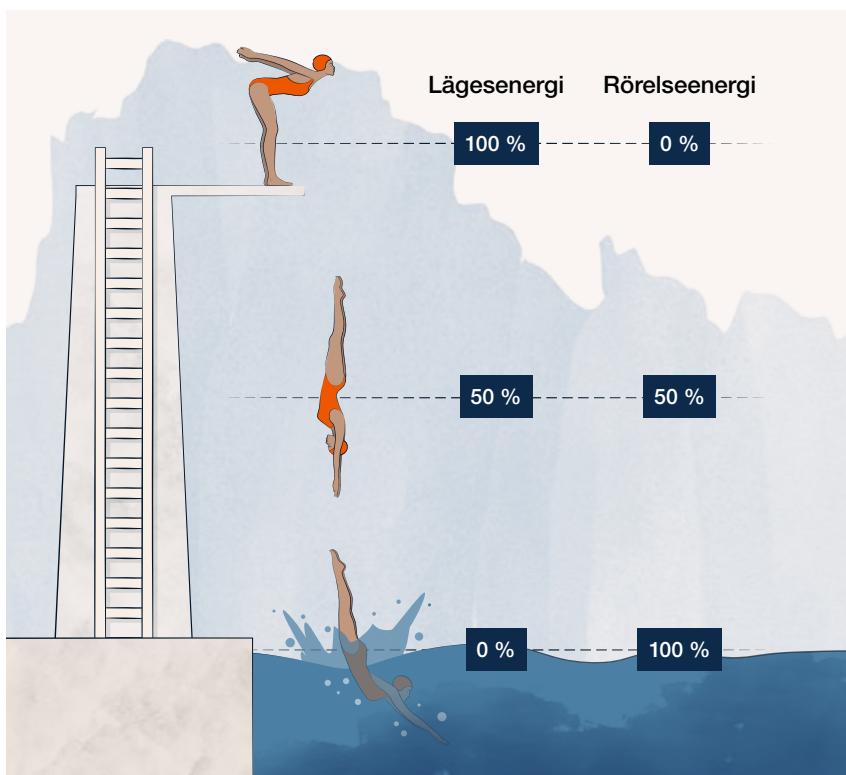
Energi och energiprinciper

Många gånger använder vi orden energi och värme som mer eller mindre synonyma, det vill säga likvärdiga. I själva verket uppträder energi i olika former – där värme är ett exempel. Andra exempel på olika former av energi är elektricitet, mekanisk energi, ljus och ljud. Sådana olika former av energi tar inte någon plats, dom väger ingenting och är inte materia. Observera dock att utifrån Einsteins speciella relativitetsteori kan massa och energi betraktas som två sidor av samma mynt och att det finns ett förhållande däremellan. Men vi lämnar detta därhän i denna bok.

Energi är någonting som åstadkommer förändringar i materien. Värme kan förändra vatten från is till vattenånga, elektrisk energi kan driva en motor, mekanisk energi kan flytta på en soffa, medan kemisk energi kan värma upp våra hem eller orsaka skada till exempel vid en brand.

Vi talar också om potentiell energi, vilken kan förekomma i flera olika former. Om jag till exempel lyfter en sten, så har stenen i sitt upplyfta läge en viss potentiell energi. Den formen av energi kallar vi lägesenergi. Ett föremål som rör sig har på motsvarande sätt rörelseenergi. Även ett bränsle har en viss potentiell energi, i form av kemiskt bunden energi, som kan frigöras till exempel vid brand. Vi kan då beskriva bränslet i termer av dess förbränningsenergi eller förbränningsvärme. Det blir ett slags mått på den kemiskt bundna energin som kan frigöras vid brand.

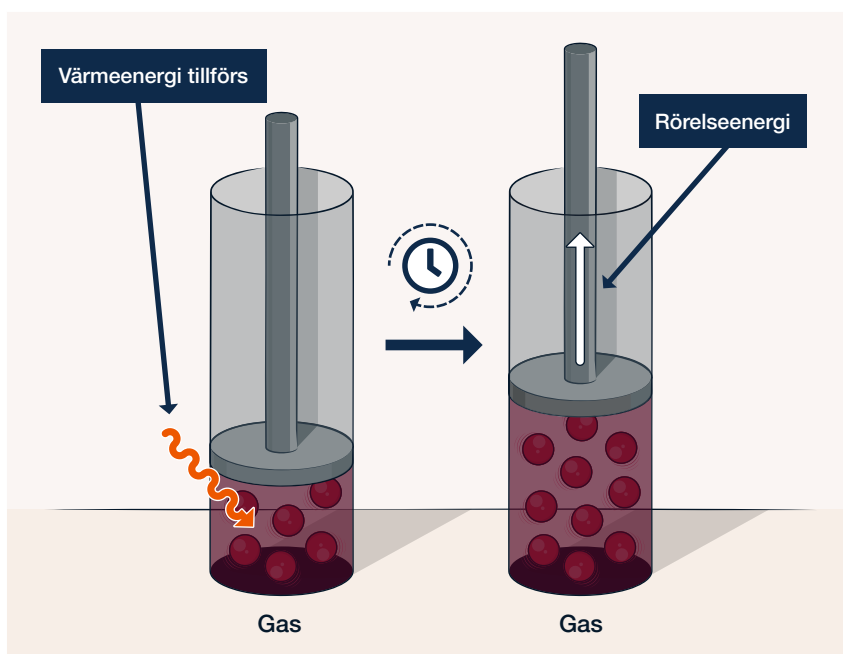
Figur 9. Lägesenergi och rörelseenergi



Längst upp på trampolinen är rörelseenergin noll, eftersom simhopperskan ännu inte hoppat. Vid uthoppet omvandlas lägesenergin till rörelseenergi. Strax före nedslaget i vattnet når rörelseenergin sitt maximum medan lägesenergin når sitt minimum.

Energiprincipen säger att energin inte kan förstöras, endast omvandlas från en form till en annan. Detta innebär att alla former av energi är likvärdiga. Så kan till exempel mekanisk energi övergå till värme genom friktion. Det sker till exempel när en bil bromsas. Hjulens (bromsskivans) rotation hindras när bromsen läggs an, vilket medför att de så kallade bromsbackarna blir varma. Denna energiprincip, att energin inte kan förstöras utan endast omvandlas från en form till en annan, kallas även lagen om energins bevarande eller termodynamikens första huvudsats.

Figur 10. Termodynamikens första huvudsats



Termodynamikens första huvudsats säger att energi varken kan skapas eller förstöras, endast omvandlas från en form till en annan. I behållaren till vänster tillförs värmeenergi, gasen i behållaren värms upp och expanderar. Kolven trycks då uppåt (behållaren till höger). Värmeenergin har omvandlats till rörelseenergi.

Termodynamikens första huvudsats är även giltig i samband med andra typer av olyckor än brand. Vid till exempel en trafikolycka omvandlas fordonets rörelseenergi vid en kollision dels till förändringar i plåt- och plastdetaljer: fordonet deformeras. Dels överförs rörelseenergin till fordonets förare och orsakar skador på vävnad, ben och inre organ. Ju fortare fordonet färdas, desto värre kan skadorna bli.

Det finns fler så kallade huvudsatser inom termodynamiken, den vetenskap som behandlar värme och arbete samt de tillståndsförändringar som är förknippade med dessa energiutbyten. Inom fysiken används ordet arbete för den mängd energi som omvandlas när en förflyttning sker, under inverkan av en kraft. En viktig huvudsats inom termodynamiken är den så kallade nollte huvudsatsen, som säger att

” två kroppar som var för sig är i termisk jämvikt med en tredje kropp, står även i termisk jämvikt med varandra.

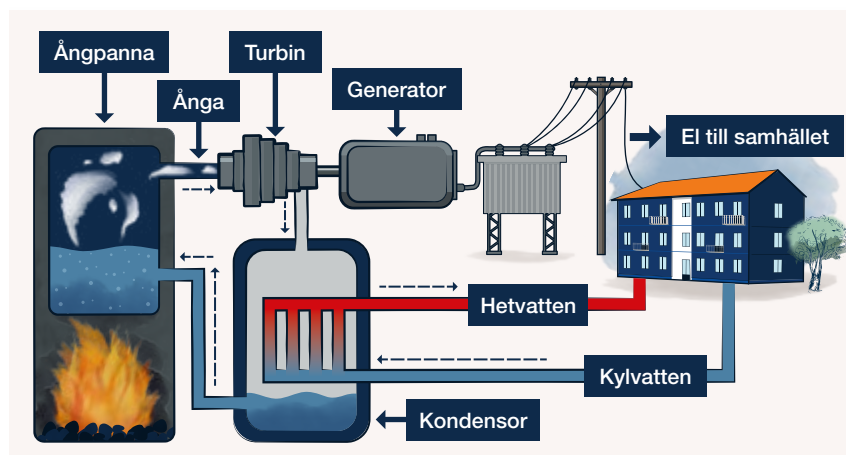
Detta innebär att två kroppar i kontakt med varandra antar samma temperatur genom att värmeenergi i den varmare kroppen flödar till den kallare kroppen. Termodynamikens nollte huvudsats är viktig för bland annat temperaturmätningar. En termometer påverkas till exempel av den omgivande luften genom att värme överförs antingen från den varma luften till den kalla termometern eller från den varma termometern till den kalla luften.



Om vi öppnar ytterdörren en kall vinterdag så släpper vi inte in kyla, utan vi låter värme strömma ut ur byggnaden. Som en konsekvens strömmar givetvis kall luft in, men det är den varma luften som strömmar ut som är den drivande kraften. Foto: Stefan Svensson.

Värme är en form av energi som påverkar molekylernas rörelse. Värme alstras vid kemiska reaktioner, till exempel förbränning. Enheten för värme – och för energi – är joule (J). Som ett exempel behövs det cirka 4 180 Joule (4,18 kJ) för att värma upp 1 kg vatten 1 °C. Värmeenergi kan i sin tur övergå till rörelseenergi, till exempel i en ångmaskin där vatten förångas för att driva en kolv som i sin tur driver ett hjul. I många fall går omvandlingen från värmeenergin eller rörelseenergin genom elektrisk energi till annan rörelse. Ett exempel på detta kan vara ett kärnkraftverk, där sönderdelningen av atomer (kemisk energi) i kärnreaktorn alstrar värme i det omgivande vattnet. Detta varma vatten används sedan i en turbin för att generera elektricitet. Värmeenergin i vattnet genererar en rörelse i turbinen vilket ger elektrisk energi i en generator. Elektriciteten skickas ut via ledningar till våra hem. Där använder vi denna elektriska energi till att värma upp bostäder eller ladda en elbil, som därefter omvandlar den elektriska energin till rörelse igen. I en diesel- eller bensinmotor sker dock inte omvandlingen via elektrisk energi. Där uppstår värme när bränslet förbränns, och denna värme omvandlas sedan till rörelseenergi och arbete. Användningen av motorer drivna med den värmeenergi som ges av förbränning av diesel eller bensin, är idag det mest utbredda sättet att utnyttja omvandlingen av värmeenergin till rörelse och arbete.

Figur 11. Energiomvandling i ett kraftverk



När bränslet förbränns omvandlas den kemiskt lagrade energin till värmeenergi som värmer upp vattnet. I turbinen omvandlas värmeenergin i vattnet till rörelseenergi som i sin tur omvandlas till elektrisk energi i en generator. Värmeenergin i vattnet används även till att värma upp våra bostäder, där värmeenergin i vattnet överförs till luften.

Energi kan förekomma i ett antal olika former. De former som är viktigast i samband med förbränning och brand är kemisk energi, elektromagnetisk strålning och termisk energi (värmeenergi).

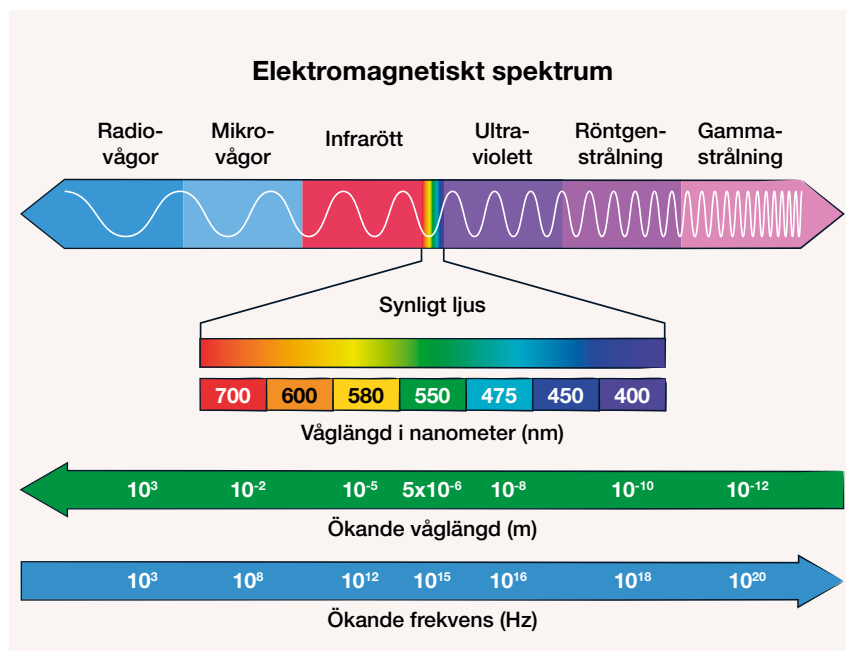
Kemisk energi är energi som är "lagrad" i ett föremål, i dess molekylära uppbyggnad. I samband med förbränning och brand är kemisk energi en viktig potentiell energi. Den kemiska energin finns lagrad i atomens bindningar, och när ett bränsle eldas upp (förbränns) bryts bindningarna och nya bindningar med lägre energi bildas. Reaktionen är exoterm, det vill säga det blir ett överskott av energi. Detta överskott av kemisk energi frigörs som strålning (bland annat synligt ljus) och termisk energi (värmeenergi).

En annan form av energi är lägesenergi. Skillnader i lägesenergi mellan olika gasmassor kan till exempel skapa flöden av brandgaser. Hög hastighet på brandgaser ger högre rörelseenergi än låg hastighet. Potentiell energi innebär egentligen den energi ett föremål "har lagrat" inom sig och som kan omvandlas till andra former av energi.

När en brand uppstår, startar en eller snarare flera kemiska reaktioner. Molekylernas bindningar bryts, den kemiska energin frigörs och omvandlas till strålningsenergi och värmeenergi. Branden ger med andra ord upphov till värme och ljus. De restprodukter som bildas innehåller en mindre mängd kemisk energi än vad det ursprungliga bränslet gjorde. Men energin försvinner inte, den ombildas från en form till en annan, enligt termodynamikens första huvudsats. Spridning av brand genom varma brandgaser beror bland annat på att värmeenergin i brandgaserna överförs till rummets tak- och väggytor och liknande. När tillräckligt mycket energi har överförts från de varma brandgaserna till takytorna, börjar de material som takytorna består av att brinna.

Det ljus som en brand sänder ut är energi i form av elektromagnetisk strålning. Elektromagnetisk strålning är en oerhört viktig form av energi, som vi finner i en stor mängd olika applikationer. Energin i elektromagnetisk strålning kan något förenklat betraktas som partiklar (fotoner) som fortplantas som en vågrörelse. Elektromagnetisk strålning kan fortplantas med olika våglängd, vilken är den elektromagnetiska strålningens viktigaste egenskap. Våglängden talar om för oss hur mycket energi strålningen har. Elektromagnetisk strålning med kort våglängd har större energi än elektromagnetisk strålning med lång våglängd.

Figur 12. Den elektromagnetiska strålningen uppträder i olika våglängder, med olika egenskaper



Beroende på strålningens våglängd kallar vi den för olika saker:

- radiovågor (där våglängderna kan vara kilometerlånga och där energin är låg)
- mikrovågor
- infrarött ljus
- synligt ljus
- ultraviolett ljus
- röntgenstrålning
- gammastrålning (pikometerlånga våglängder, 10^{-12} meter, en miljarddels millimeter, och där energin är hög).

Den del av den elektromagnetiska strålningen vi uppfattar som ljus, är endast en väldigt liten del av alla de möjliga våglängder (frekvenser) som strålningen kan ha. En brand sänder ut elektromagnetisk strålning i ett brett våglängdsspektrum. Den består i huvudsak av infrarött ljus, synligt ljus och ultraviolett ljus. En del av den här strålningen kan vi

dra nytta av i värmekameror, även kallade IR-kameror, med vars hjälp vi kan "se" föremål genom till exempel brandgaser. Elektromagnetisk strålning är en viktig komponent för att förstå bland annat hur brand sprider sig.



Med hjälp av en IR-kamera kan vi upptäcka och identifiera till exempel olika föremål genom brandgaser. Foto: Stefan Svensson.

Ytterligare en form av energi som är viktig vid förbränning och brand, är givetvis värmeenergi (termisk energi). Något förenklat kan man säga att värmeenergin hänger samman med hur fort molekylerna i ett ämne rör sig. Utöver att vi kan känna av värmeenergin genom högre temperatur, så avgör molekylernas rörelse i vilket fysikaliskt tillstånd (form) ett ämne uppträder.

Fysikaliska tillstånd

Olika material och ämnen kan uppträda i fast form, i flytande form eller i gasform. Dessa tre former – fast, flytande och gas – kallas för fysikaliska tillstånd, aggregationstillstånd eller faser. Det är främst temperatur men även tryck som avgör vilken fas ämnet befinner sig i.



Vatten i fast form, flytande form och gasform. Foto: Johnér Bildbyrå.

I ett fast ämne är atomer, molekyler eller joner ordnade i en viss struktur. I jonföreningar, oftast salter, ger de sammanhållande krafterna en stark bindning mellan molekylerna, och strukturen blir då ofta väldigt tydlig. Titta till exempel på saltkristallerna i vanligt bordssalt med ett förstoringsglas.

Atomer och molekyler är ständigt i rörelse. Dessa rörelser blir intensivare om temperaturen ökar, det vill säga om vi tillför energi. Vid tillräckligt hög temperatur i ett fast material, det vill säga om vi tillfört tillräckligt med energi, blir rörelserna så stora att molekylerna sliter sig loss från sina platser. Vi säger då att det fasta materialet smälter. Detta sker vid en bestämd temperatur (smältpunkt) vid ett visst tryck för varje ämne. Normalt anges ett materials smältpunkt vid normalt lufttryck (101,3 kPa). Den värmeenergi som behövs för att ett fast ämne ska övergå till flytande fas kallas för smältvärme.



Den temperatur då ett fast material smälter kallas smältpunkt, och den värmeenergi som behövs för att det fasta materialet ska smälta kallas smältvärme. Foto: Stefan Svensson.

I vätskor kan partiklarna röra sig ganska fritt, även om det fortfarande finns en viss struktur. Rörelsen är större än i fast tillstånd, så stor att bindningskrafterna inte kan åstadkomma en ordnad struktur. Men vätskans volym är konstant vid en viss temperatur. Ökar vi temperaturen ytterligare, blir rörelsen hos partiklarna allt större. Trycket i vätskan stiger, och när det blir lika stort som det yttre trycket (till exempel atmosfärstrycket) har vätskan nått kokpunkten. Vi kallar trycket strax ovanför vätskan för vätskans ångtryck. Ett ökande antal partiklar lämnar då vätskan och övergår i gasform. I en vätska som kokar har således vätskans ångtryck blivit lika stort som, eller större än, atmosfärstrycket.

Ångtryck

Ångtrycket är det tryck där det råder jämvikt mellan ångan och ämnets fasta eller flytande fas. När omgivningens tryck är lika med ångtrycket för en vätska är vätskan och dess ånga i jämvikt. Kokpunkten för ett ämne är således den temperatur där ångtrycket för ämnet i flytande tillstånd är lika med omgivningens tryck. Under denna temperatur kommer ångan att kondensera till vätska, och över kommer vätskan att koka, det vill säga bli till ånga.

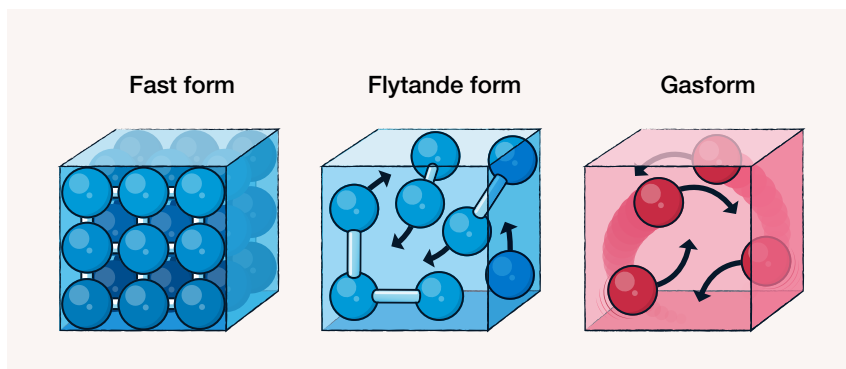
Figur 13. På hög höjd, där lufttrycket är lägre, kokar vatten vid lägre temperatur



Vid havsnivå kokar vatten vid 100 °C. Om vi flyttar oss upp till toppen på Mount Everest kokar vatten vid cirka 70 °C. På denna höjd är lufttrycket mycket lägre än vid havsnivå, och det räcker då med en lägre temperatur på vattnet för att ångtrycket ska bli lika stort som atmosfärstrycket. På höga höjder kan det ta längre tid att koka ägg, eftersom äggvita stelnar vid cirka 62°C.

Molekylerna i en gas befinner sig på mycket stort avstånd från varandra, och den sammanhållande kraften mellan molekylerna blir då relativt liten. Molekylerna i en gas befinner sig också i snabb rörelse. I luft med rumstemperatur är molekylernas medelhastighet cirka 500 m/s, och hastigheten blir större ju högre temperaturen är. Hög temperatur hos en gas kan således sägas motsvara hög energi hos gasen. Gasen "innehåller" mer energi vid hög temperatur än vid låg temperatur.

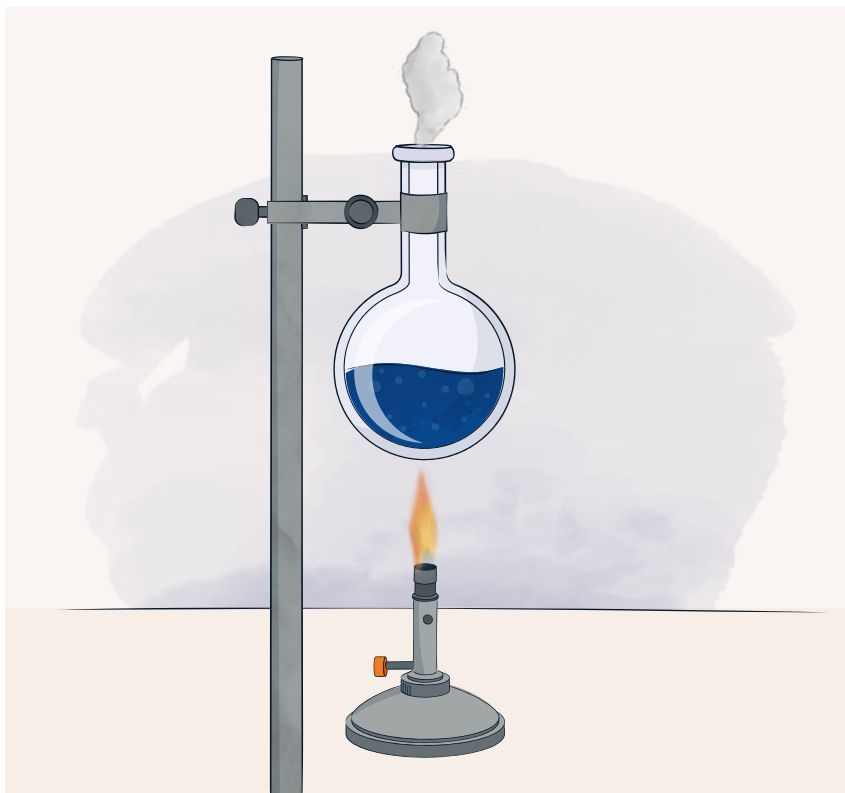
Figur 14. Molekyler befinner sig på olika avstånd från varandra beroende på vilken fas ämnet är i



Molekylerna i en gas kolliderar med varandra och med omgivande väggar. I det senare fallet blir kollisionerna märkbara som tryck, vilket vi ofta kan mäta till exempel i en gasflaska. När det gäller luft, som är en blandning av framför allt syre och kväve, kallar vi detta tryck atmosfärstryck.

Övergången från fast form till flytande och sedan till gasform kräver energi (värmeenergi). Energin som behövs för att ett fast ämne ska övergå till flytande form kallas för smältvärme. Energin som behövs för att en vätska ska övergå till gasform kallas för förångningsvärme eller ångbildningsvärme. Om temperaturen sjunker och gasen via vätska övergår till fast form, frigörs energi (värmeenergi).

Figur 15. Energin som behövs för att en vätska ska övergå till gasform kallas för förångningsvärme eller ångbildningsvärme



Men det är inte alltid nödvändigt att övergången från fast tillstånd till gasfas går via vätskefas. Även direkt övergång från fast fas till gasfas är möjlig. Det gäller till exempel koldioxid (CO_2), som går direkt från fast fas ("kolsyreis" eller "kolsyresnö") till gas och som då ryker. Denna process kräver betydligt större mängd energi än övergången från fast form till vätskeform eller från vätska till gas.

Förångningsvärme, ΔH_v

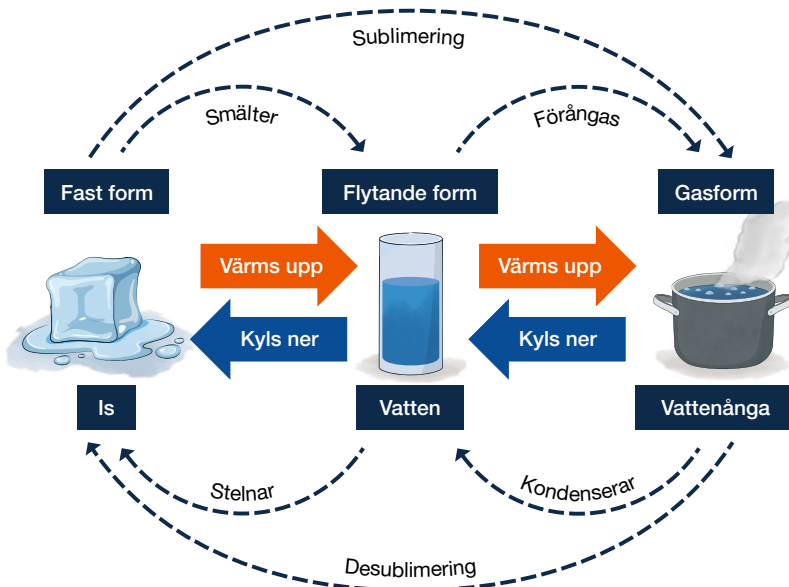
Ett mått på hur mycket energi som behövs för att en viss mängd av ett ämne ska förångas. Förångningsvärmets anges normalt i kJ/g eller MJ/kg.

För att förånga 1 kg is som har en temperatur precis under 0°C , måste vi först smälta det till vatten och därefter värma upp vattnet till 100°C . För detta går det åt följande mängd energi:

- Att smälta isen kräver 0,334 MJ (det vill säga 334 000 Joule).
- Att upphetta vattnet från 0°C till 100°C kräver 0,419 MJ.
- Att förånga vattnet vid 100°C kräver 2,263 MJ.
- Totalt: 3,016 MJ.

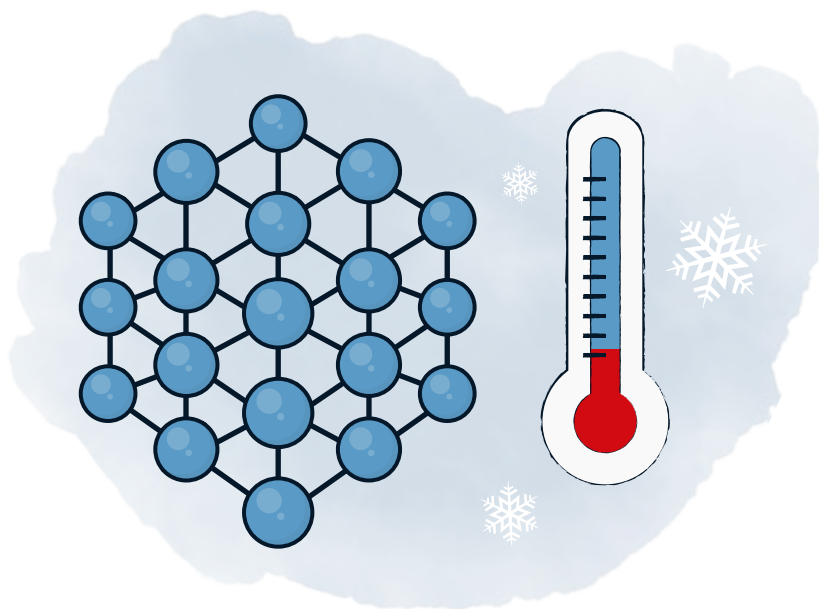
Att smälta is och förånga det vatten som bildas vid 100°C kräver således sammanlagt 3,016 MJ/kg. Cirka 86 procent av den totala energin går åt för att ändra de fysikaliska tillstånden (från is till vätska och från vätska till gas) och bara 14 procent för att öka vattnets temperatur från 0°C till 100°C . När vi släcker brand med vatten utnyttjar vi det faktum att vatten kräver stora mängder energi för att värmas upp och i synnerhet för att förångas. Brandsläckning handlar i stor utsträckning om att sänka bränslets temperatur under dess antändningstemperatur, och för detta ändamål är vatten ett utmärkt släckmedel. Vattnets förmåga att ta upp energi är mycket god, vilket innebär att vi vid brandsläckning kan sänka temperaturen så att branden slocknar. Släckmedlets temperatur är relativt ointressant, det är helt andra mekanismer som är avgörande.

Figur 16. Fasövergångar är reversibla, det vill säga dom kan gå åt båda hållen



Fasövergångar är reversibla, det vill säga dom kan gå åt båda hållen. Från fast fas, via vätskefas till gasfas. Eller från gasfas, via vätskefas till fast fas. Vi säger att ett fast ämne som övergår till vätska smälter och att en vätska som övergår till gasfas avdunstar, förångas eller kokar. Och en gas som övergår till vätska kondenserar, medan en vätska som övergår till fast fas stelnar. I vissa fall kan ett fast ämne övergå till gasform direkt utan att först övergå till vätska. Detta kallas sublimering. Motsatsen, det vill säga den direkta övergången från gas till fast form, kallas deposition eller desublimering.

Figur 17. Vid den absoluta nollpunkten, $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$, står atomerna och molekylerna helt stilla



Kemisk energi och kemiska reaktioner

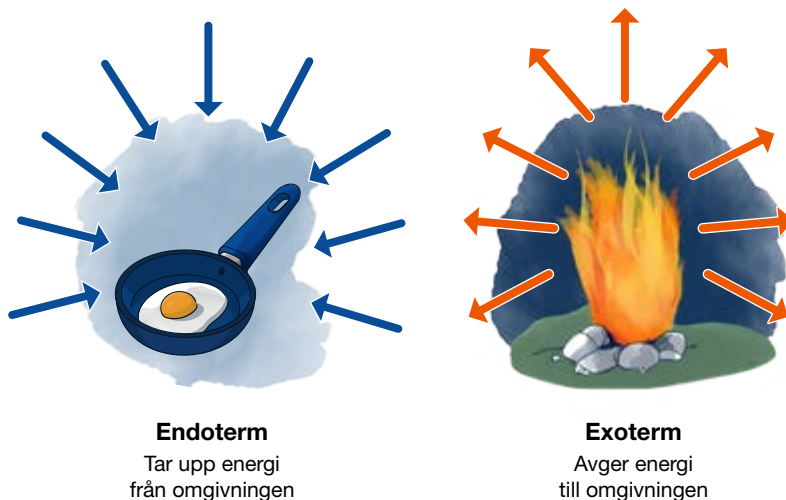
En kemisk reaktion sker när ett eller flera ämnen reagerar med varandra. Förbränning är ett exempel på en typ av kemiska reaktioner. Vid förbränning av till exempel trä reagerar bland annat kemiskt bundet kol och väte i träet med syre från luften. En sådan kemisk reaktion med syre, det vill säga där syre binds till något annat ämne och bildar ett nytt ämne, kallas oxidation. Produkten som bildas är en oxid. Vid en fullständig reaktion mellan kol, väte och syre, det vill säga när blandningen består av "lagom" stora andelar av respektive ämne, bildas koldioxid och vatten. Om reaktionen inte är fullständig bildas stora mängder kolmonoxid.

I ett ämne finns det energi bunden dels genom de krafter som håller samman atomerna till molekyler, dels genom de rörelser som finns i atomerna och molekylerna. Vi kallar denna energi för kemiskt bunden energi.

När vi förbränner olika typer av bränslen frigörs energi. Vid förbränning omvandlas den kemiskt bundna potentiella energin i bränslet till värmeenergi, till strålningsenergi (elektromagnetisk strålning) och till annan kemiskt bunden energi i de ämnen som bildas vid förbränningen.

Vid kemiska reaktioner upptas eller avges värme. Vid förbränning av olika typer av bränsle använder vi termen förbränningsvärme. Ett bränsles förbränningsvärme säger hur mycket potentiell energi som finns i bränslet och som kan frigöras vid en kemisk reaktion (förbränning). Förbränningsvärme är ett viktigt mått på hur olika material kan bidra till utveckling och spridning av brand.

En kemisk reaktion där värme avges kallas exoterm, och en reaktion där värme tas upp kallas endoterm. Förbränning är således en exoterm reaktion, där energiinnehållet i det som brinner minskar och frigörs. Särskilt vid bränder kommer den energi som frigörs att hjälpa till så att den kemiska reaktionen kan fortsätta. Det fortsätter helt enkelt att brinna så länge det finns bränsle kvar och så länge den energi som frigörs är tillräcklig för att underhålla förbränningen. Ämnen som inte är brännbara eller som har låg brännbarhet, frigör inte tillräckligt med energi för att förbränningen ska kunna fortgå. Sådana ämnen kan kräva ytterligare tillförsel av energi för att kunna brinna, till exempel genom att andra föremål eller ämnen brinner i dess närhet.

Figur 18. Kemiska reaktioner kan vara endoterma eller exoterma

Förbränning och brand är en exoterm kemiska reaktion, det vill säga det avges värme. Motsatsen är en endoterm reaktion som tar upp värme.

Vissa ämnen reagerar inte alls med något annat ämne, till exempel ädelgaserna helium, neon och argon. Det finns också ämnen, till exempel vissa metaller, som oxiderar mycket snabbt i luft, andra långsammare. Vissa oxiderar inte alls, som guld. Det finns ämnen som reagerar redan vid låg temperatur, andra endast vid förhöjd temperatur. Detta beror på strukturen hos de atomer som ämnet består av.

En hög koncentration av vissa ämnen i en reaktion innebär att partiklarna är närmare varandra. Då "krockar" dom oftare, och reaktionen går snabbare. Det kan bli en hög koncentration av ett ämne till exempel genom att trycket höjs. Även med ökad temperatur blir molekylernas rörelser snabbare, det blir fler krockar och en snabbare kemisk reaktion. Vid en brand är detta tydligt. En hög omgivande temperatur kan göra att branden ökar i intensitet, det vill säga att de kemiska reaktionerna går snabbare. Detta är en av mekanismerna som ligger bakom att spridningen av brand ofta sker exponentiellt, det vill säga att brandens omfattning eller spridning ökar i en allt högre takt.

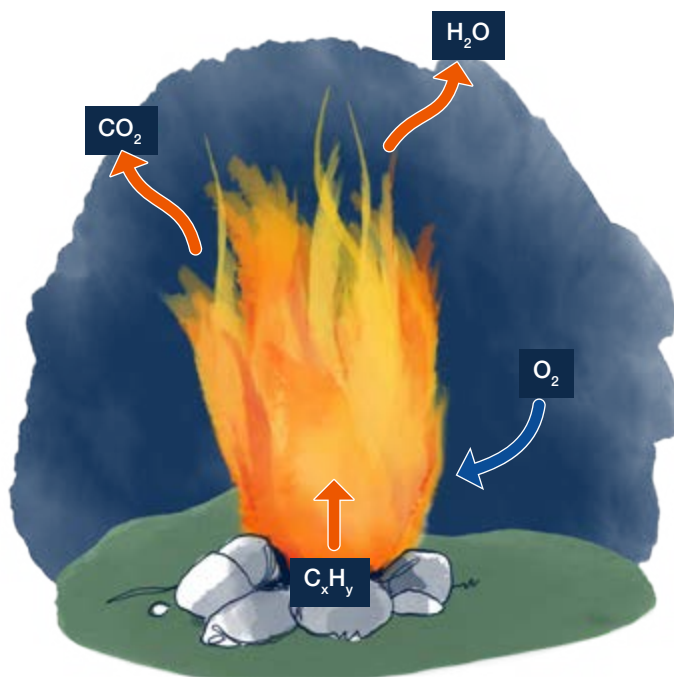
Hastigheten hos en kemisk reaktion beror även på ytans storlek hos de ingående ämnena. Ju mer finfördelat ett ämne är, det vill säga ju större yta partiklarna har i förhållande till dess volym, desto snabbare blir den kemiska reaktionen. Det blir ju då fler molekyler som samtidigt utsätts för till exempel värmeenergi och som kan ingå i den kemiska reaktionen. Detta kan vi se vid bränder, när brandgaser antänds. Brandgaser består bland annat av en stor mängd mycket små partiklar. Dessa kommer att antändas om det blir en tillräckligt hög koncentration av partiklar i kombination med tillräckligt hög temperatur.

Förbränning

Många gånger använder vi orden brand, eld och förbränning nästan synonymt. För att reda ut begreppen så kan man säga att en brand är eld som kommit lös, det vill säga en okontrollerad eld. Eld i sin tur är förbränning i gasfas. Förbränning är då en kemisk process, bestående av en mängd kemiska reaktioner, där det sker en reaktion mellan syre och bränsle (oxidation). Förbränning även av enkla ämnen är en komplex process som sker i ett flertal olika steg. Vid flertalet av dessa reaktionssteg bildas radikaler, det vill säga ensamma atomer som väteradikaler, syreradikaler eller hydroxylradikaler (grupper av en syre- och en väteatom). Radikaler är fragment av molekyler, och dom kan bara existera om temperaturen är tillräckligt hög. Dom är oftast mycket reaktiva och därmed inte särskilt långlivade.

Vid förbränning avges värme och ljus. Förbränning är således ett kemiskt fenomen (en eller flera reaktioner) åtföljd av fysikaliska effekter (avgivande av värme och ljus). Värmet är den energi som utvecklas vid den kemiska processen (termisk energi). Ljuset är den fysikaliska konsekvensen av den energi som frigörs vid denna kemiska process. Vid en förbränning utvecklas värme samtidigt som det förbrukas värme. I den typen av förbränning som är i fokus i denna bok, brand i byggnad, så utvecklar de ingående kemiska reaktionerna mer värme än det förbrukas. Vi kallar en sådan kemisk process för exoterm, det vill säga att det utvecklas värme. Motsatsen är endoterm, det vill säga en process som tar upp värme. Konsekvensen av denna exoterma process är brand och spridning av brand.

Figur 19. Brand är en kemisk process där det sker en mängd kemiska reaktioner som avger ljus och värme



Vid brand är oxidationsmedlet oftast luftens syre, men inte nödvändigtvis. Syret kan även vara kemiskt bundet i ett ämne. Detta syre frigörs vid upphettning genom att ämnet då genomgår en kemisk process och bryts ner så att syret frigörs. Exempel på sådana ämnen som kan underhålla förbränning även utan luftens syre är väteperoxid, natriumklorat, kaliumpermanganat och kaliumkromat. Dessa ämnen ingår till exempel i sprängämnen eller fyrverkerier, för att åstadkomma en effektiv och ofta även kontrollerad förbränningsprocess.

Men det finns även andra oxidationsmedel än syre. Ett sådant oxidationsmedel är klor. Generellt är ett oxidationsmedel (en oxidant) ett ämne som i en kemisk reaktion lätt tar upp elektroner från ett annat ämne som då reduceras. Oxidationsmedlet verkar därvid oxiderande.

Förbränningshastighet

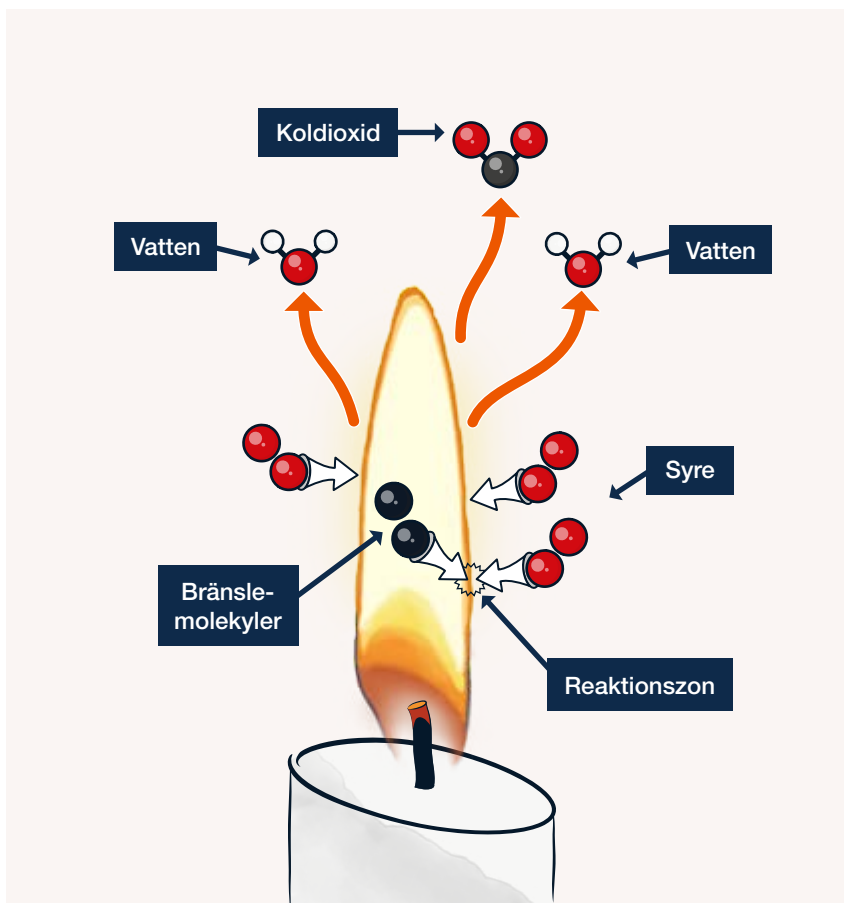
Den hastighet i m/s som en flamma rör sig genom en gasmassa.

Förbränningshastigheten hos en brännbar gasblandning, det vill säga hur fort gasen förbränns, beror bland annat på blandningens sammansättning och temperatur. Blandningen mellan bränslegas och syre måste ha en viss koncentration och en viss temperatur för att bli brännbar. Ju fler molekyler det finns, det vill säga ju högre koncentrationen är av bränsle och syre, desto större blir sannolikheten att den krockar. Och ju fortare molekylerna rör sig, det vill säga ju högre temperaturen är, desto större blir sannolikheten även då för att den krockar.

Om koncentrationen av bränslegas är för låg eller för hög i förhållande till koncentrationen av syre, kan blandningen inte förbrännas. Om koncentrationerna av bränslegas och syre däremot är blandade i ett visst "perfekt" förhållande till varandra, räcker det att tillföra mycket lite energi för att förbränningsprocessen ska starta. I vissa fall kan förbränningen ske med hög hastighet, vilket vi ibland kan uppfatta som en explosion. Vi kan då också tala om blandningars brännbarhetsgränser och brännbarhetsområde.

Ett enkelt exempel på en förbränningsprocess är lågan från ett vanligt stearinljus. Stearinet (i fast form) smälter och transporteras upp genom veken, där det förångas. Det smälta och förångade stearinet (bränslegasen) fortsätter utåt och uppåt där det möter luftens syre. En reaktion sker och energi frigörs. En del av denna energi ser vi som en flamma. En del av energin går också åt till att värma upp stearinet så att förbränningen kan fortsätta.

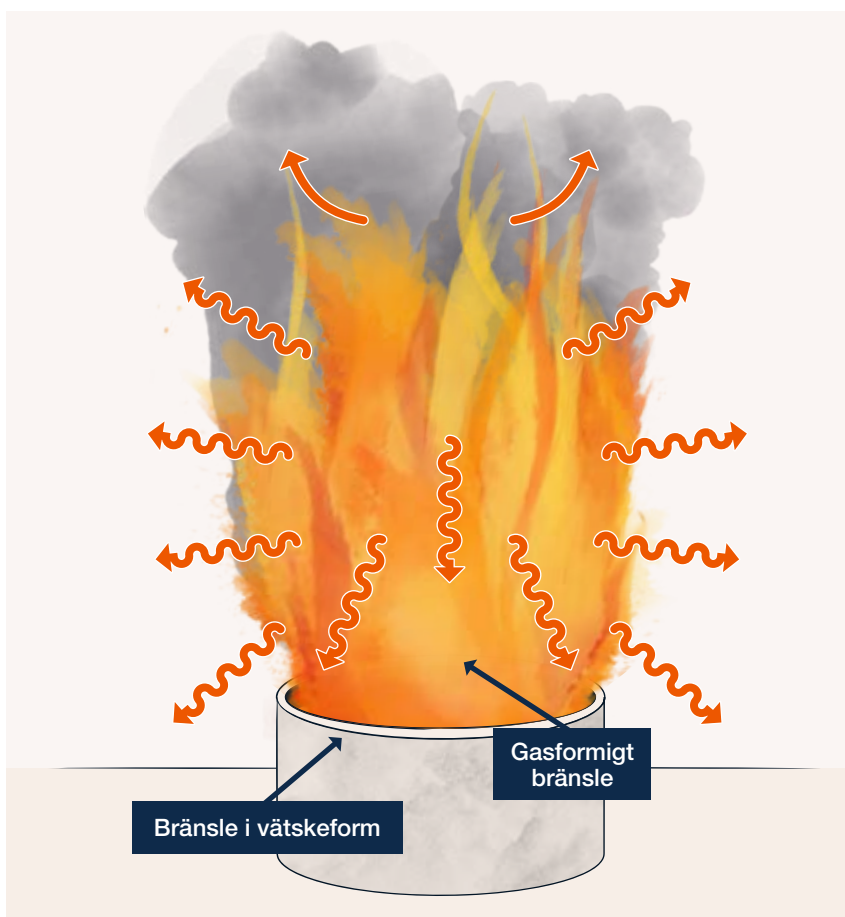
Figur 20. Ett stearinljus är ett enkelt exempel på en i grunden komplex kemisk process



Förbränning är både ett fysikaliskt och ett kemiskt fenomen. Dessa är växelverkande, det vill säga beroende av varandra. Växelverkan sker dessutom mellan bränslet och omgivningen. För att en förbränning ska kunna starta och så småningom bli självunderhållande är det därför nödvändigt med tillförsel av värmeenergi till en blandning av bränsle (i gasform) och syre i ett visst förhållande till varandra. I stearinljuset sker förbränningen precis i det område i lågan där blandningen mellan syre och bränslegas är precis lagom. Inne i lågan finns inget syre, så där sker ingen förbränning.

Antändningskällan ger en första tillförsel av värmeenergi (antändningsenergi). När en förbränning väl har startat behövs det ytterligare värmeenergi för att processen ska kunna fortsätta och bli självunderhållande. Eftersom förbränning och brand normalt är exoterma processer, det vill säga det utvecklas värmeenergi, kommer värmeenergin från själva förbränningen att hålla i gång förbränningsprocessen. Värmeenergin återförs till förbränningen dels genom strålning från flammen, dels genom återstrålning från uppvärmda ytor och varma förbränningsprodukter (brandgaser).

Figur 21. Delar av den värmeenergi som utvecklas vid en brand, återförs till branden så att förbränningsprocessen kan fortsätta



Pyrolyys

Pyrolyys är en typ av kemisk reaktion som är en väsentlig del av brand och förbränning, i synnerhet vid bränder i byggnader. Det är en process där ett ämne värms upp och sönderfaller utan att någon egentlig förbränning sker, det vill säga det sker i huvudsak ingen oxidation av bränsle. Pyrolyys bryter ner ett material och producerar en mängd olika ämnen. Dessa består normalt av flyktiga gaser, oljor i gasform som kan kondenseras samt en rest i fast form. De flyktiga gaserna är bland annat vattenånga, kolmonoxid, metan och andra lättare kolväten (föreningar mellan kol och väte) samt även tyngre organiska föreningar som tjära och andra tyngre kolväten. Dessa flyktiga ämnen avgår i gasform. Den kvarstående fasta resten består främst av kol, men det kan även finnas en del flytande ämnen som blir kvar. Pyrolyys är en termisk nedbrytning av materialet.

Pyrolyys skiljer sig från förångning. Vid pyrolyys bildas andra ämnen och kemiska föreningar än dom som finns i ursprungsmaterialet. Vid förångning däremot bildas inga sådana andra ämnen. Det sker då ingen nedbrytning av materialet, utan ämnena byter bara form till gas. Vid pyrolyys sker också en fasövergång, men genom termisk nedbrytning. I de flesta fall går materialet då direkt från fast fas till gasfas, utan att först bli vätska. Ett undantag kan vara vissa plaster, främst så kallade termoplaster, som först smälter för att därefter pyrolyseras. Men även plaster i fast form kan brytas ner termiskt och bilda brännbara gaser utan att först smälta. Detta beror bland annat på hur mycket värmeenergi som tillförs och hur fort värmeenergin tillförs, men även på plastens egenskaper.

Pyrolyys

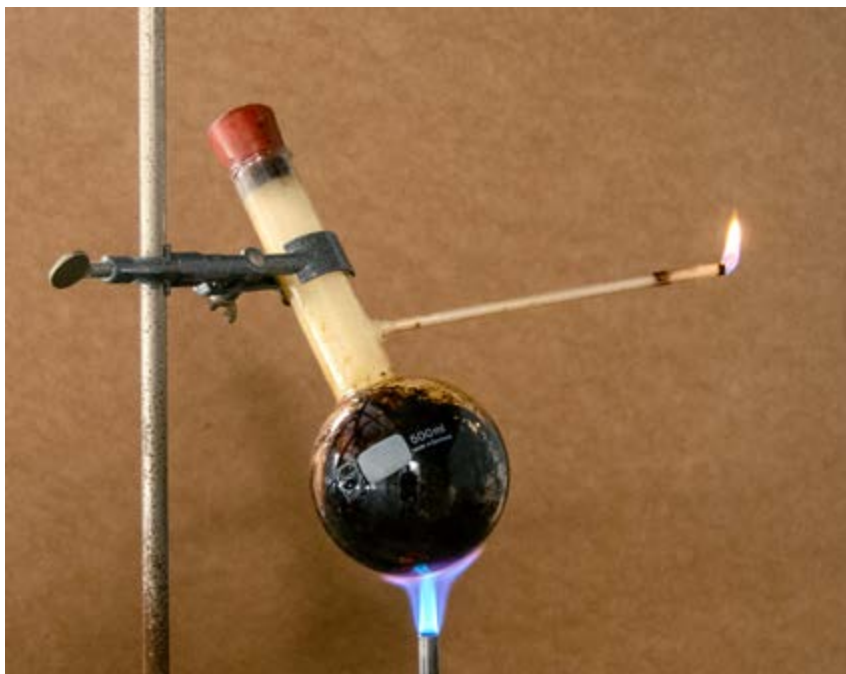
En kemisk sönderdelning eller annan kemisk omvandling från komplexa till enklare beståndsdelar, orsakad av värme.

De flyktiga gaserna som avgår är oftast brännbara, vilket gör att de förbränningsgaser som bildas vid pyrolys är brännbara. De olika ämnen och den exakta sammansättningen av det som bildas vid pyrolys bestäms bland annat av faktorer såsom det ursprungliga materialets egenskaper och sammansättning, temperatur, tryck och inte minst tillgången till syre (luft). Pyrolys som sker under god lufttillgång kan ge helt andra förbränningsgaser än pyrolys som sker vid till exempel ventilationskontrollerade bränder, där det är brist på luft. En sådan ventilationskontrollerad brand är ofta svårare att hantera för räddningstjänsten, än en bränslekontrollerad brand som har full tillgång till luft, bland annat på grund av de förbränningsgaser som bildas vid brist på luft.

För att förbränning och brand i ett fast föremål ska kunna ske, behöver således en pyrolys ske. Det behöver helt enkelt bli en brännbar gas av det fasta ämnet, vilket en pyrolys ger upphov till. Ett undantag kan vara stearin eller vax, som är i fast fas vid rumstemperatur, men som vid upphettning smälter för att därefter förångas. Det är då det förångade stearinet (eller vaxet) som brinner. Men det är en väsentlig skillnad mellan förångning och pyrolys.



Vid pyrolys bryts fasta ämnen ner och bildar brännbara gaser. Foto: Stefan Svensson.



Torrdestillation av trä är ett enkelt exempel på pyrolys. Foto: Stefan Svensson.

Till skillnad från en fasomvandling, till exempel från fast fas till vätskefas, så är pyrolys inte reversibel, det vill säga den kan inte gå tillbaka åt motsatt håll. När ett ämne väl har pyrolyserats går det inte att förändra dess kemiska sammansättning så att ämnet återgår till sin ursprungliga fas eller sammansättning.

Pyrolys är den grundläggande förklaringen till många händelser vid bränder. Den bränslegas som utvecklas vid pyrolys, det vill säga den nedbrutna, förgasade och lättflyktiga delen av materialet, blandas med syre från luften och brinner i själva flammen.

Pyrolysen förklarar även varför föremål på långt avstånd från branden kan antändas av enbart strålningsvärme. Strålningen från en brand absorberas av och värmer upp föremålet till den temperatur där pyrolysen kan starta. Om temperaturen stiger ytterligare kan antändningstemperaturen för de flesta av pyrolysgaserna nås.

Ibland kan man vid brand i ett föremål se flammor som "lyfter" och brinner högt uppe i luften avskilda från det brinnande föremålet. Det är då pyrolysisprodukter som lyfts med den varma luftströmmen och förbränns (oxiderar) successivt allt eftersom dom kommer i kontakt med syre. Närmast föremålet som pyrolyserar finns det för lite syre för att förbränning ska kunna ske.



Värmestrålningen från flammorna gör att ytorna på golvet och väggarna pyrolyserar.
Foto: Stefan Svensson.

Brandgaser består normalt till stor del av pyrolysgaser, det vill säga ett bränsle som brutits ner och blivit till brännbara gaser. Pyrolysen av ett bränsle har stor betydelse för hur en brand utvecklar sig och sprider sig i byggnader och för hur de bildade brandgaserna påverkar människor, egendom och miljö.

Kapitel 5

Brandfysik

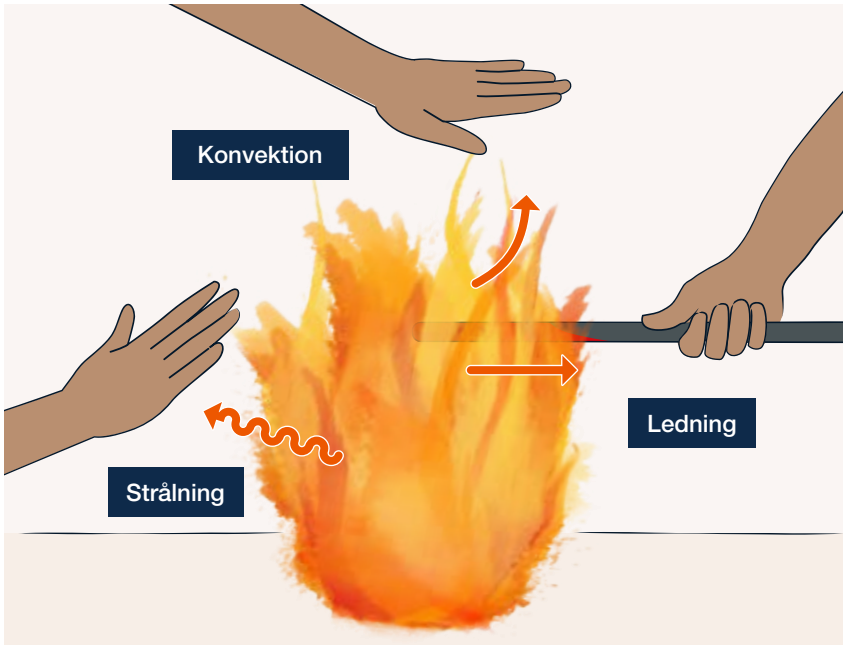
Brandfysik är ett specialområde inom fysiken som innefattar den fysik som berör brand och förbränning. Mycket av det som behandlas i detta avsnitt är inte unikt för bränder. Till exempel så är värmetransport en viktig faktor att ta hänsyn till när man konstruerar byggnader, eftersom vi vill ha så energisnåla byggnader som möjligt samtidigt som inomhusklimatet ska vara behagligt. Men i den här boken är utgångspunkten brand i byggnad.

Värmetransport och värmeöverföring

Värmetransport och värmeöverföring innebär transport av termisk energi mellan olika delar av ett medium eller material, alternativt mellan olika medier eller material. Värme kan endast överföras spontant från något varmare till något kallare. Något som är kallt ”innehåller” ju mindre energi än något som är varmt, så energin kan endast transporteras åt ett håll, från det varma till det kalla. Värmetransport och värmeöverföring är fundamentalt för bränders uppkomst och spridning.

Värme kan överföras på tre sätt – genom ledning (konduktion), strömning (konvektion) och värmestrålning. Ledning sker främst i fasta material eller mellan fasta material. Konvektion sker på grund av rörelsen hos en vätska eller en gas. Vid konvektion är alltid minst ett av materialen som värmetransport sker mellan en vätska eller en gas. Det andra materialet som värme överförs från eller till kan vara ett fast material, till exempel en vägg, eller en vätska, till exempel vatten. Värmestrålning förekommer oavsett om mediernas fas är gas, vätska eller fast. Inne i ett fast material eller mellan två fasta material som är i direkt kontakt med varandra sker dock värmetransport genom ledning. Värmestrålning behöver inget transporterande medium, utan värme kan överföras genom vakuum, precis som annan elektromagnetisk strålning.

Figur 22. Värmeöverföring kan ske genom ledning, konvektion eller värmestrålning

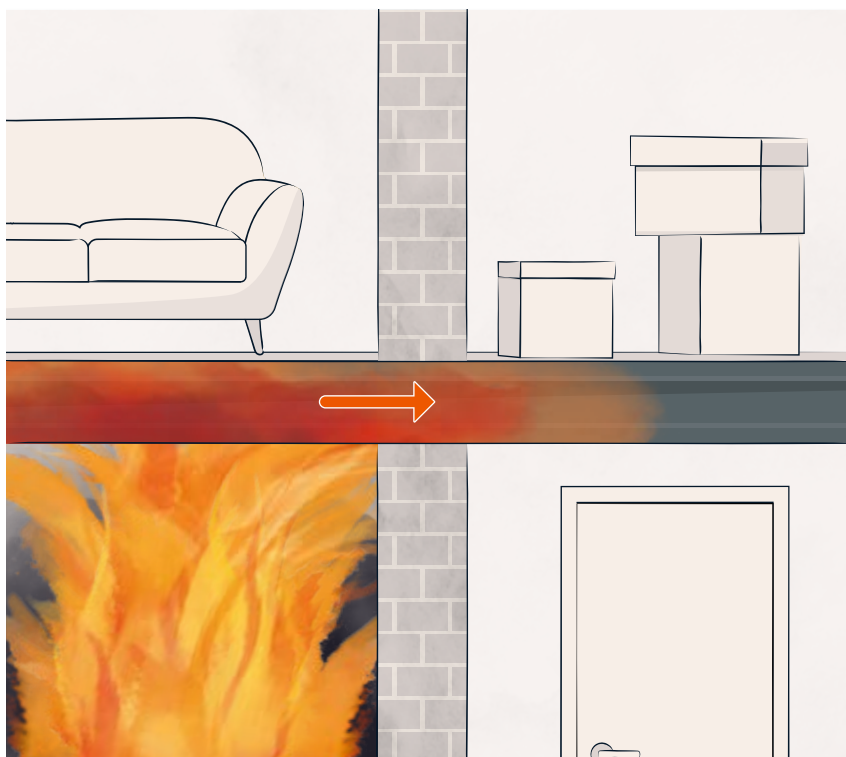


Vid brand i byggnad varierar det dominerande transportsättet, bland annat beroende på hur länge branden pågått (tiden) samt var i rummet eller byggnaden man befinner sig.

Ledning

I fasta material överförs värme huvudsakligen genom ledning. Även i vätskor sker värmetransport till viss del genom ledning. Molekylernas rörelse överförs direkt från molekyl till molekyl. Om man lägger handen på ett varmt metallföremål, överförs värmeenergin (molekylrörelsen) från metallen till handen. När energin överförs rör sig molekylerna snabbare, vilket gör att handens temperatur ökar. Värmen leds från ett varmare föremål till ett kallare eller från den varmare delen av ett föremål till den kallare delen.

Figur 23. Värmetransport in i material och inne i material sker genom ledning



Ett materials förmåga att leda värme kallas konduktivitet eller värmeledningsförmåga. Inom fysiken brukar ett materials värmeledningsförmåga beskrivas med värmeledningstalet, vilket betecknas med den grekiska bokstaven λ (lambda) eller med bokstaven k .

Material med högt värmeledningstal är bra värmeledare. Dom leder ofta elektricitet bra, men det finns undantag. Sådana material har fasta bindningar mellan molekylerna och släpper igenom mera värmeenergi än material med något lösare bindningar. Det beror på att molekyler med fasta bindningar lättare överför sina rörelser till varandra.

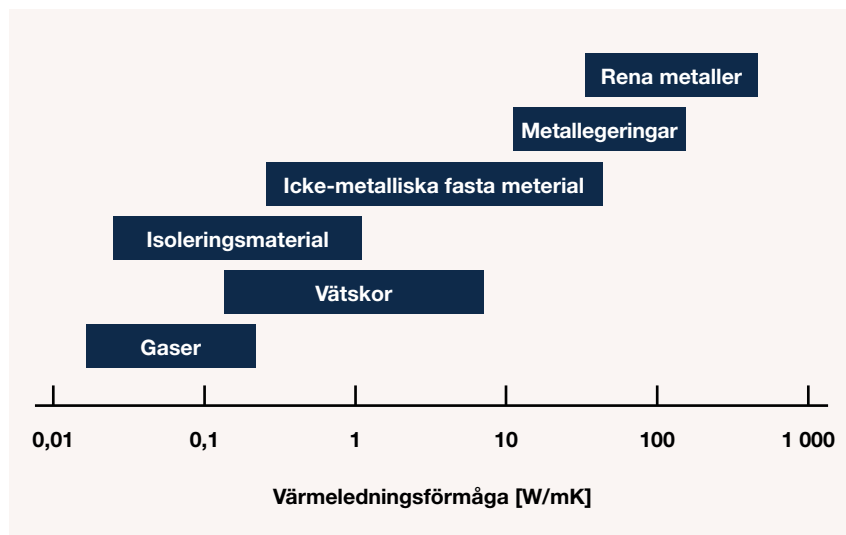
Ett material som inte leder värme speciellt bra har lägre värmeledningstal och därmed högre värmemotstånd, det vill säga ett högre motstånd mot värmeledning. På ytan av sådana material kan temperaturen öka snabbt, eftersom värmen inte leds vidare. Detta påverkar hur brand

sprider sig i rum, eftersom ett lågt värmeledningstal hos väggmaterialet medför att värmen från branden inte leds vidare in i väggarna med någon större hastighet. Materialets yta värms då upp fortare, pyrolysen startar tidigare och branden kan sprida sig fortare än om väggarna hade haft en högre värmeledningsförmåga. Även temperaturen i rummet ökar snabbare och kan i slutändan bli högre, jämfört med ett rum där väggmaterialet har ett högt värmeledningstal.

Tabell 1. Värmeledningsförmåga hos några vanliga material

Ämne	Värmeledningsförmåga [W/mK]
Silver	427
Koppar	387
Guld	315
Aluminium	238
Mässing	111
Järn	46
Tegel	0,69
Gips	0,48
Trä (furu)	0,14
Betong	1,7
Glas	1
Cellplast	0,037
Luft	0,026

Figur 24. Hur värmeledningsförmågan hos olika typer av material förhåller sig till varandra



Ett enkelt exempel på värmeledningsförmåga och värmemotstånd är om du först lägger din hand, som är varmare än omgivningen, på en träyta lika varm som omgivningen. Därefter lägger du den på en metallyta, också den lika varm som omgivningen. Metallen och träet är lika varma, och ändå känns metallytan mycket kallare än träytan. Förklaringen är att metallen är en mycket bra värmeledare. Den leder bort värmen från handen, och handen får då lägre temperatur. Träytan känns varmare eftersom den inte leder bort lika mycket värme. Metallen har en hög värmeledningsförmåga och ett lågt värmemotstånd, medan trä har en lägre värmeledningsförmåga och ett högre värmemotstånd. Vi har ju till exempel hellre trägolv än plåtgolv i våra bostäder.

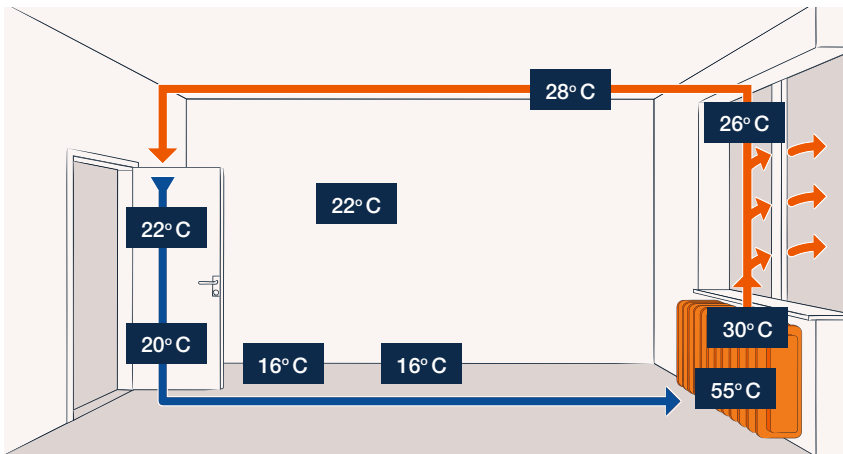
En stålbalk som går från brandrummet genom en vägg till ett annat rum kan orsaka brand på andra sidan väggen. Stålet har en hög värmeledningsförmåga och leder därför värmen vidare till det andra rummet. En viss tid förblir balkens yta ganska kall eftersom värmen leds bort från ytan, men efterhand värms givetvis hela balkens massa upp. Och då kan ytan bli så het att den antänder brännbart material som den är i kontakt med på andra sidan väggen.

Konvektion – strömning

Ämnen som strömmar, såväl gaser som vätskor, kan flytta värme när dom strömmar. Det strömmande ämnet, till exempel vatten eller luft, kan längs sin väg värma upp ett kallare fast eller flytande ämne. Eller tvärtom: det strömmande ämnet kan värmas upp av ett varmare fast eller flytande ämne som det strömmar genom eller förbi. Denna värmetransport kallar konvektion.

Konvektion, det vill säga värmetransport genom strömning, spelar stor roll för spridning av brand. Ungefär 70 procent av energin som frigörs vid en brand överförs vidare som strömningsvärme, främst genom de varma gaser som produceras vid förbränning och som strömmar uppåt. På sin väg uppåt blandas dessa varma gaser med kallare luft från omgivningen. Den kalla luften värms upp och följer med i den uppåtgående strömmen. Återstående cirka 30 % av den frigjorda energin blir till värmestrålning.

Figur 25. Värmetransport mellan en gas/vätska och ett fast ämne/vätska sker genom konvektion



Om den varma uppåtgående luftströmmen möter ett tak kommer den varma luftströmmen att böjas av och strömma längs med takets undersida. Värme överförs då, via konvektion, från den varma gasen till takets undersida.

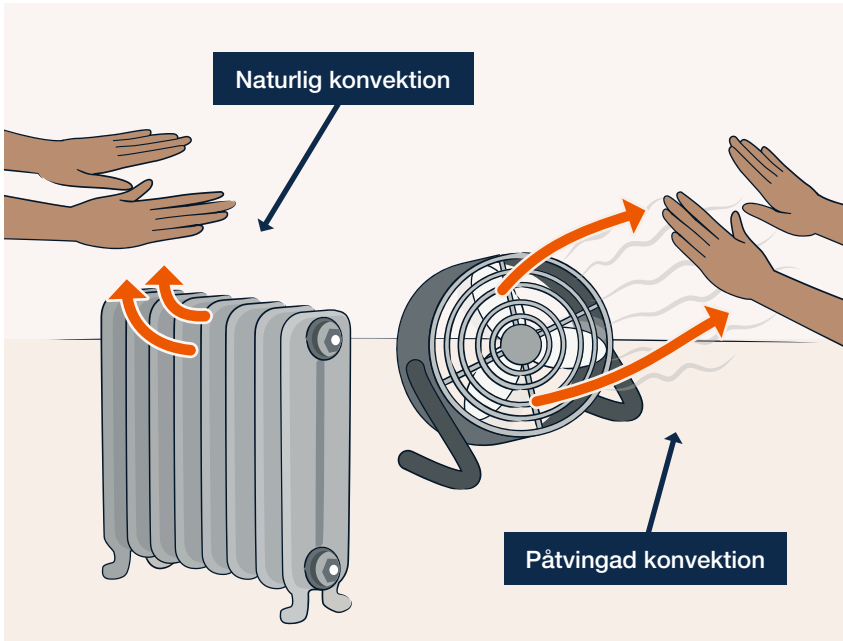
Tabell 2. Typiska värden vid konvektion

Medium	Konvektionstyp	Värmeövergångstal, h [W/m ² K]
Luft	Naturlig	3–12
	Påtvindad	10–150
Vatten	Naturlig	200–1 200
	Påtvindad	3 000–7 000

Hur mycket värme som överförs genom konvektion kan beskrivas med hjälp av termen värmeövergångstal. Värmeövergångstalet beror bland annat på temperaturskillnaden mellan medierna och på deras värmeledningsförmåga. Men värmeövergångstalet beror även på den strömmande gasens hastighet, och normalt skiljer man mellan naturlig konvektion och påtvindad konvektion.

Naturlig och påtvindad konvektion

Naturlig konvektion är den typ av värmetransport där rörelserna i vätskan eller gasen inte skapas av någon yttre påverkan såsom en pump, fläkt, vind, brand eller liknande. Det är endast skillnader i temperatur och därmed densitet som skapar rörelser i vätskan eller i gasen. Varm luft och varma brandgaser stiger uppåt, eftersom dom är lättare än kall luft och kalla brandgaser. Denna värmetransport som sker genom rörelser skapad av densitetskillnader kallas naturlig konvektion.

Figur 26. Naturlig/påtvingad konvektion

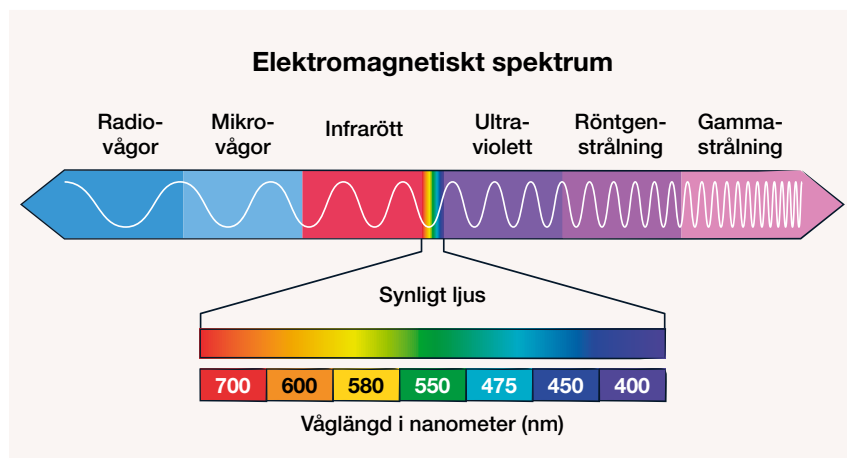
Påtvingad konvektion är det motsatta mot naturlig konvektion. Den kan bero på exempelvis vind, en fläkt eller pump, det vill säga rörelser i vätskan eller gasen som är skapade av mer än endast densitetsskillnader. Vid påtvingad konvektion kan värmeöverföringen, konvektionen, bli mycket större än vid naturlig konvektion. Till exempel så kan en kraftig vind mot en byggnad där det brinner påverka brandens utveckling och spridning även inne i byggnaden. Vind mot en byggnad påverkar även tryckskillnader mellan byggnadens olika sidor samt att mer luft kan tillföras branden.

Värmestrålning

Vid en brand kan vi med handen känna värmen på avstånd, och det skulle vi kunna även om det fanns ett vakuum mellan branden och handen. Jämför med den värme vi känner från solen. Transporten av värmeenergin sker således utan att värmen passerar genom ett medium eller material. Värmen överförs direkt från varma ytor eller från flammorna vid en brand, genom elektromagnetisk strålning. Det är till och med så att värmestrålningen hindras och absorberas om det finns materia i vägen.

Elektromagnetisk strålning är en vågrörelse som fortplantas i tid och rum. Den elektromagnetiska strålningens viktigaste egenskaper är dess frekvens eller våglängd. Med frekvens menar man hur snabb vågrörelsen är, och med våglängd hur långt det är mellan två vågtoppar. Detta är som två sidor av samma sak: hög frekvens ger kort våglängd medan låg frekvens ger lång våglängd. Den elektromagnetiska strålningen förekommer i ett brett spektrum av våglängder. Den del av strålningen vi uppfattar som ljus är endast en väldigt liten del av alla de möjliga våglängder, eller frekvenser, som strålningen kan ha.

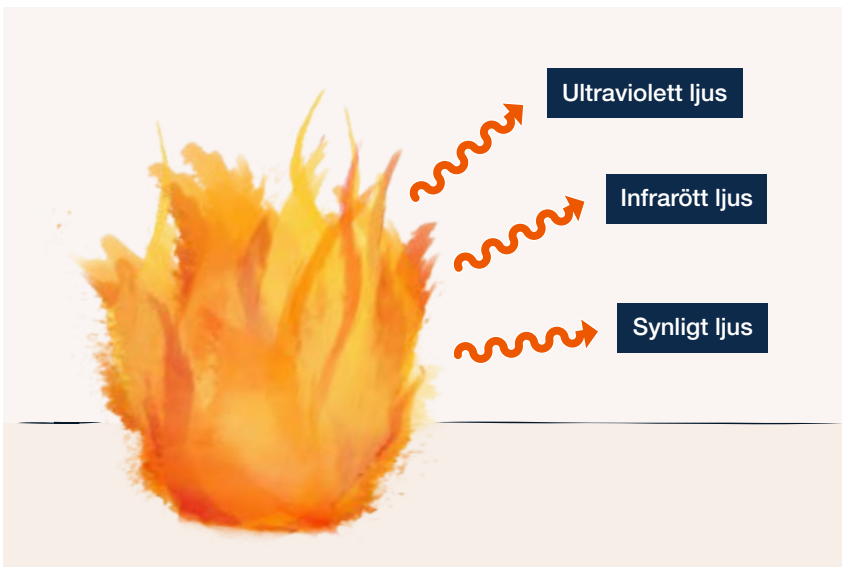
Figur 27. Elektromagnetisk strålning kan ha en mängd olika våglängder



Radioaktiv strålning ligger i den ena ändan av strålningens spektrum. Det är en form av elektromagnetisk strålning som har hög frekvens och mycket kort våglängd. Den radioaktiva strålningens energiinnehåll blir därför mycket stort. Radiovågor ligger i spektrumets andra ända och har låg frekvens men lång våglängd. Radiovågornas energiinnehåll är därför mycket litet.

En brand sänder ut elektromagnetisk strålning i ett brett våglängdsspektrum, vilket i huvudsak består av infrarött ljus, synligt ljus och ultraviolett ljus. Vissa våglängder är synliga, andra inte. Det synliga området ligger mellan ultraviolett strålning (korta vågor) och infraröd strålning (längre vågor). Den värmetransport som vid brand sker genom strålning, sker till allra största delen inom de frekvenser som vi kallar för infraröd strålning. Föremål som värmts upp, till exempel på grund av en brand, sänder då också ut elektromagnetisk strålning, framför allt i form av infraröd strålning.

Figur 28. En brand sänder ut elektromagnetisk strålning i ett brett våglängdsspektrum



Den elektromagnetiska strålning som sänds ut från en brand består i huvudsak av infrarött ljus, synligt ljus och ultraviolett ljus.

En flamma är egentligen en varm massa med en "yta" från vilken värmeenergi strålar ut. En flamma består till stor del av varma sotpartiklar som sänder ut värmeenergi i form av värmestrålning. Ju "kraftigare" flamma desto mera strålningsvärme kommer från den. Med kraftig menar vi att flamman innehåller en stor mängd sotpartiklar och att den är hög, djup eller bred. Det är från dessa partiklar i flamman som värmen överförs genom värmestrålning.

Flammor från till exempel brinnande alkohol innehåller få sotpartiklar och avger därför relativt lite synlig strålning. Observera att även bränslen som avger mer eller mindre osynliga flammor, på grund av få sotpartiklar i förbränningsprodukterna, kan avge stora mängder infraröd värmestrålning. Även sådana flammor kan således värma upp omgivande ytor.

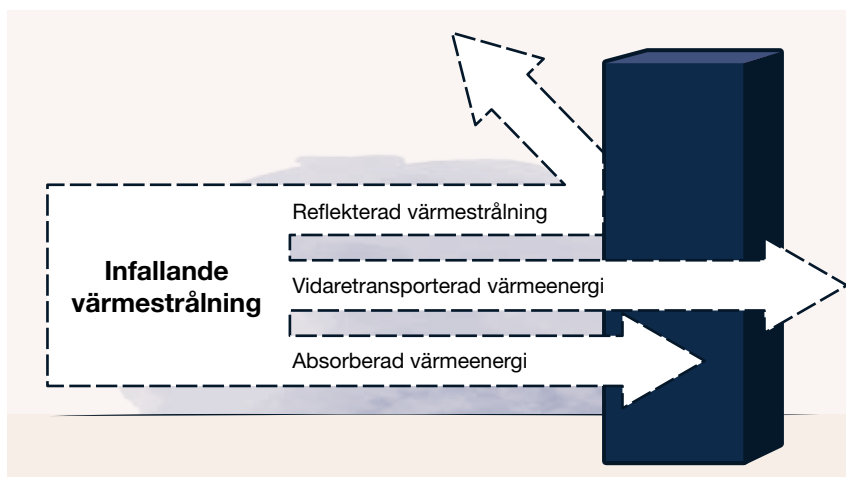
Värmestrålning mäts i kW/m^2 , det vill säga hur mycket energi som träffar en yta per tidsenhet.



Ju kraftigare flamma, desto mer värmestrålning från flamman. Foto: Peter Lundgren.

När värmestrålningen når en yta, delas energin upp. En del reflekteras, en del absorberas ("sugs upp") och en del transmitteras (släpps igenom). Alla delarna tillsammans är alltid lika stora som den ursprungliga energin (enligt termodynamikens första huvudsats som säger att energi inte kan skapas eller förstöras, endast förvandlas från en form till en annan).

Figur 29. När värmestrålningen når en yta (ett föremål), sker en uppdelning av energin

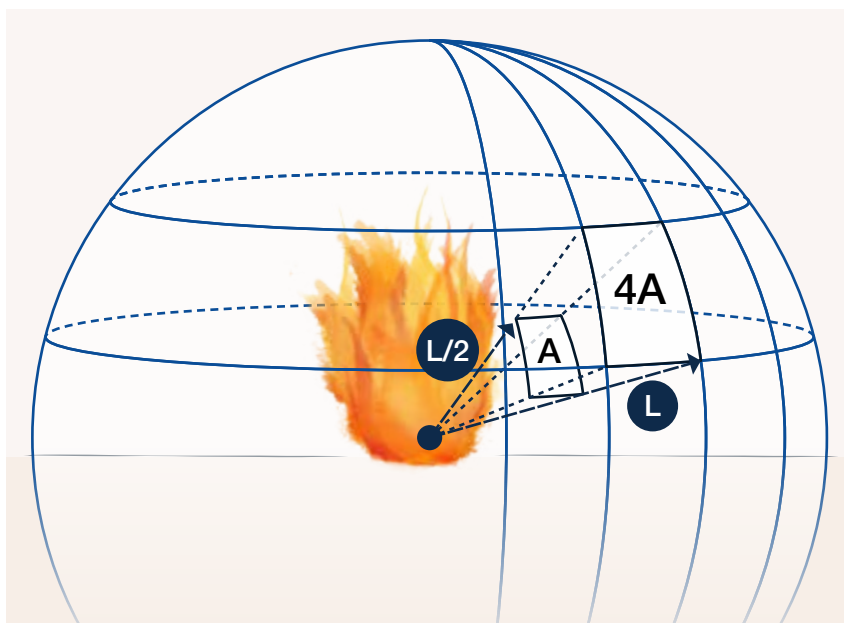


Den infallande strålningen mot ett föremål delas upp i reflekterad strålning, vidaretransporterad strålning samt absorberad strålning.

Från en brand (en strålningskälla) sprids värmen i alla riktningar, genom värmestrålning. Ju längre bort från branden desto mindre påverkar strålningsvärmen människor eller föremål. Det betyder att mot en yta längre bort från branden faller endast en begränsad mängd värme. Tänk dig att strålningskällan är en punkt mitt i ett klot. Klotets yta bestrålas av strålningskällan inifrån, och klotets radie är ytans avstånd från strålningskällan. Eftersom klotets inre yta ökar med kvadraten på avståndet, minskar den infallande strålningsvärmen mot ytan (klotets insida) kraftigt med avståndet (det vill säga med kvadraten på avståndet). Energin som kommer från strålningskällan blir mycket mindre när den fördelas på varje ytenhet av klotets inre yta. Den strålningsvärme som når varje liten del av klotets insida är endast en bråkdel av den totala utstrålade värmen (energin) från branden. Den yta som "syns" i en viss vinkel från centrum på klotet blir större ju större klotet är.

Mängden värmestrålning som träffar varje sådan yta blir då mindre (den ska fördelas över en större yta), även om den mängd värmestrålning som kommer från strålningskällan totalt sett är den samma.

Figur 30. Värmestrålningen avtar med kvadraten på avståndet mellan strålningskällan och det bestrålade föremålet



På det dubbla avståndet från strålningskällan är ytan 4 gånger så stor. Då blir den mängd strålning som träffar denna yta endast en fjärdedel. Strålningen ska "spridas ut" på en större yta och blir då lägre. L anger avståndet och A anger arean.

Olika material sänder ut olika mycket värmestrålning. Man talar då om ytans, eller materialets, emissivitet.

Emissiviteten hos ytan av ett material beskriver hur effektivt ytan avger energi som värmestrålning. Denna kan som nämnts bestå av såväl synlig strålning (ljus) som infraröd strålning, vilken inte är synlig för mänskliga ögon. En del av värmestrålningen från mycket heta föremål kan vara synlig för ögat, till exempel från en rödglödgd järnstång.

Tabell 3. Några exempel på värmestrålning

Värmestrålning	kW/m ²
En solig sommardag	1
Smärta efter några sekunder	3–5
Övertändning i ett rum	20–25

Emissiviteten hos en yta beror på dess kemiska sammansättning och geometriska struktur. Emissivitet anges mellan 0 och 1. Värdet anger förhållandet mellan värmestrålningen från en viss yta och värmestrålningen från en idealisk svart yta vid samma temperatur. Ytan på en perfekt svart kropp har en emissivitet på 1. Den avger värmestrålning med cirka 448 watt per kvadratmeter vid rumstemperatur (298,15 K). Alla verkliga objekt har en emissivitet mindre än 1 och avger värmestrålning med motsvarande lägre energi.

Mörka ytor sänder ut mer värmestrålning än vad ljusa ytor gör. Blankpolerade metallytor reflekterar dessutom större delen av den infallande värmestrålningen och värms då inte heller upp lika lätt. Detta har även betydelse för vad vi kan se i en värmekamera.



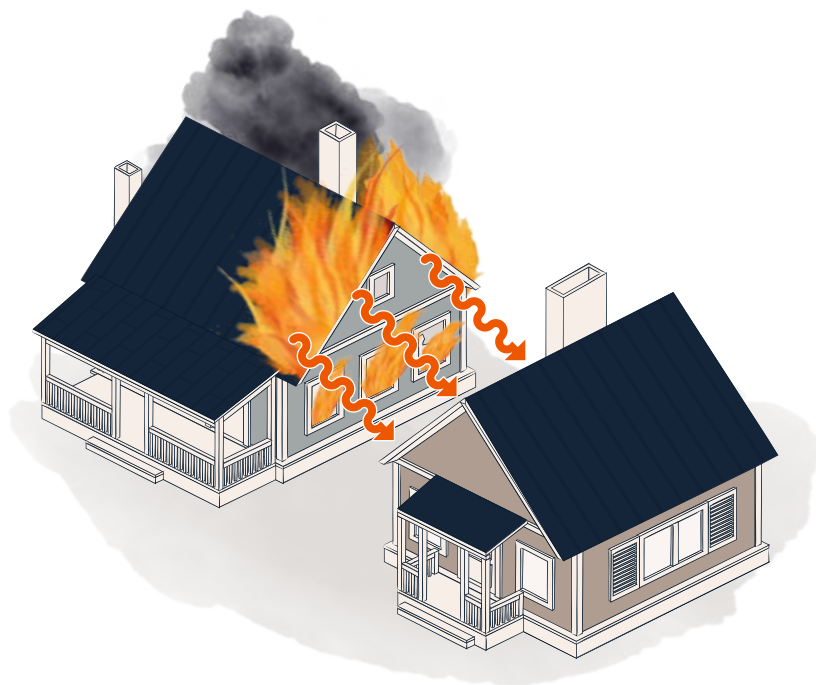
Olika material kan ha olika emissivitet och uppfattas därför olika i till exempel en värmekamera. Foto: Stefan Svensson.

Den värmestrålning som kommer från ett föremål eller från en annan strålningskälla, till exempel en brand, beror således på avståndet från strålningskällan och på ytans beskaffenhet, men även på vinkeln till strålningskällan.

Värmestrålning kan bidra till att brand sprider sig över stora avstånd, till exempel mellan byggnader. Risken för brandspridning mellan byggnader beror bland annat på avståndet mellan byggnaderna, fönsteröppningars storlek, väggmaterialens egenskaper och givetvis på brandens storlek. Byggreglerna ställer krav på hur denna risk ska hanteras, till exempel krav på visst minsta avstånd mellan byggnader och vissa byggnadstekniska åtgärder.

Värmestrålningen från flammor beror på flammornas temperatur, flammornas egenskaper (bland annat mängden sot), flammornas storlek (höjd och bredd) samt avståndet till flammorna.

Figur 31. Brand kan sprida sig mellan byggnader på grund av värmestrålning



Bränsle och bränslens egenskaper

Med bränsle avses i det här sammanhanget så gott som allt material vi har omkring oss, åtminstone sådana material som är brännbara. Även obrännbara material har de egenskaper som beskrivs i det här avsnittet, bortsett från att dom inte brinner. Men i övrigt har även sådana material massa, volym, hållfasthetsegenskaper med mera. Och även obrännbara material påverkas av brand och höga temperaturer, eftersom deras egenskaper kan förändras på motsvarande sätt som för brännbara material. Obrännbara material kan givetvis även påverka brandens utveckling, till exempel genom återstrålning från uppvärmda ytor.

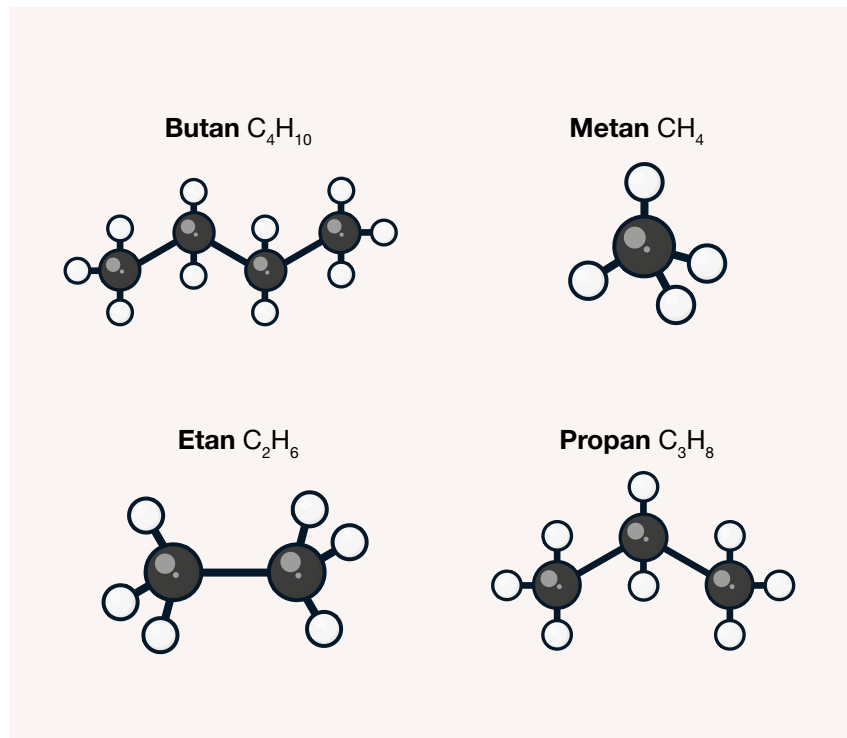


De flesta material i våra bostäder är bränsle. Foto: Johnér Bildbyrå.

All materia är uppbyggd av atomer som i sin tur är sammansatta i molekyler, vissa mycket enkla och andra mer komplexa. De flesta bränslen är uppbyggda av mer eller mindre komplexa molekyler. I många fall är bränslen dessutom blandningar av ett stort antal olika slags molekyler, det vill säga olika ämnen. Material som vi till vardags ofta uppfattar som relativt enkla, såsom trä, består egentligen av en mängd sådana blandade ämnen. När ett sådant material utsätts för värme och börjar pyrolysera, så sönderdelas dessa ämnen.

På grund av sammansättningen av olika ämnen (olika sorters molekyler), kan de gaser som bildas vid pyrolysen bli oerhört komplexa. Och även om de olika enskilda gaser som bildas har en relativt enkel molekylstruktur, så kan blandningen av pyrolysgaser göra att brandgaserna blir såväl brännbara som giftiga.

Figur 32. Olika material är uppbyggda av mer eller mindre komplexa molekyler



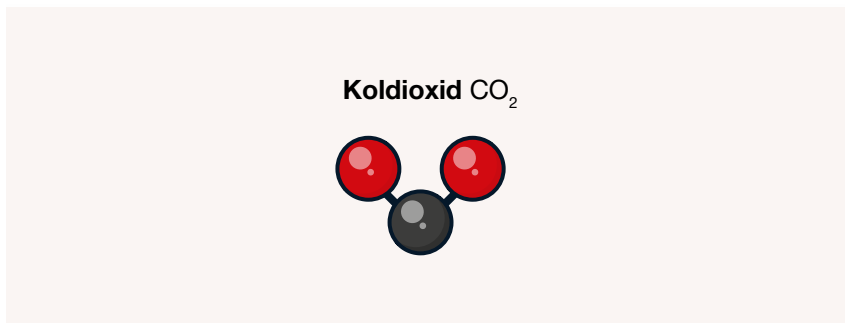
De flesta bränslen är sammansatta av ett stort antal olika molekyler, det vill säga olika ämnen eller föreningar. Även brandgaser består av ett stort antal olika föreningar.

Väte förekommer i så gott som alla bränslen. Väteatomerna är då normalt sammansatta med andra ämnen i molekyler som strävar efter att genom oxidation bilda bland annat vatten. Följden blir att vid en förbränning bildas ganska stora mängder vattenånga. Vatten är en mycket stabil molekyl jämfört med de gaser som den är sammansatt av (väte och syre) och även i jämförelse med en mängd andra pyrolysisprodukter och förbränningsprodukter. Vid förbränningen av ämnen som innehåller

väte sker en reaktion där mycket värme avges, det vill säga en värmeproducerande (exoterm) reaktion. Det är denna värme som är nödvändig för fortsatt förbränning och som blir både kännbar och farlig vid en brand.

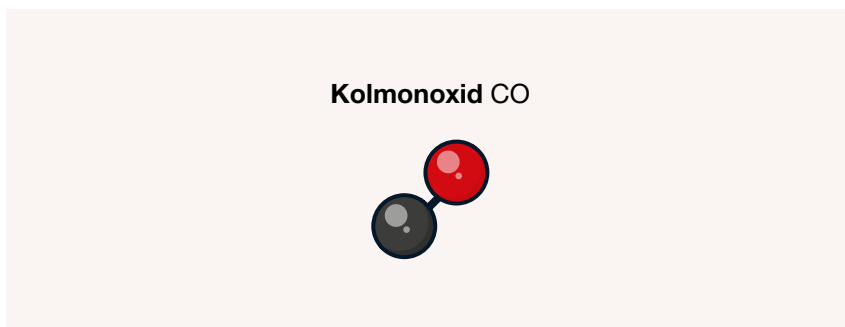
Ett annat grundämne som är av speciellt intresse i samband med förbränning är kol (C). Även kol förekommer i nästan alla bränslen och bildar grunden för molekyler i så kallade organiska föreningar, vilka ofta är brännbara material.

Figur 33. Vid fullständig förbränning (oxidation) av kol bildas koldioxid



Koldioxid CO₂ produceras när organiska material (som innehåller kol) förbränns. Koldioxid är ofarlig men tränger undan syre och verkar därför kvävande. Eftersom gasen redan oxiderat kan den användas för brandsläckning.

Figur 34. Vid ofullständig förbränning (oxidation) av kol bildas kolmonoxid



Vid ofullständig förbränning av kol bildas i stället kolmonoxid. Kolmonoxid är en känd giftig gas. Den viktigaste orsaken är att den binder till de röda blodkropparna cirka 250 gånger starkare än vad syre gör. Detta gör att blodkropparnas förmåga att transportera syre försämras kraftigt. Kolmonoxid bildas alltid när förbränningen har begränsad tillgång till syre, vilket normalt är fallet vid de flesta bränder och i synnerhet vid brand i byggnad.

Vi har då dels förbränning av väte och syre som bildar vatten, dels förbränning av kol och syre som då bildar koldioxid och kolmonoxid. Dessa reaktioner är grundläggande för de slutliga förbränningsprodukterna.

De flesta bränslen innehåller en stor mängd kol och väte, i en mängd olika föreningar, och producerar därför stora mängder vatten, koldioxid och kolmonoxid.

Ett annat ämne som det normalt finns stora mängder av i de flesta bränslen är kväve (N). Kväve "brinner" inte, det vill säga det bidrar inte till förbränningen och bidrar då inte heller till någon värmeavgivande (exotermisk) reaktion. Men kväve kan ändå ingå i de kemiska reaktioner som sker vid förbränning. Kväve kan då bilda en lång rad gaser, varav många är giftiga trots att kväve i sig självt är harmlöst.

Även svavel kan förekomma i olika föreningar, till exempel vissa plaster. När svavel oxiderar bildas svaveldioxid (SO_2) eller svaveloxid (SO), som är mycket giftiga gaser. Det finns även många andra ämnen i bränslen. I samband med förbränning kan dessa reagera med syre eller väte och bilda brandgaser som kan vara såväl giftiga som brännbara.

Många bränslen, till exempel trä, innehåller också en stor mängd oorganiska föreningar, det vill säga föreningar som inte innehåller kol. Dessa oorganiska föreningar blir ofta kvar efter förbränningen i form av aska, men dom kan också bidra till förbränningsprocessen eller på annat sätt skapa förbränningsprodukter som också ingår i brandgaserna. Även dessa förbränningsprodukter kan vara brännbara.



Bränslen kan vara i gasform, i vätskeform eller i fast form. Foto: Stefan Svensson.

Bränslen kan vara i gasform, i vätskeform eller i fast form. Men oavsett vilken form bränslet är i, så måste bränslet vara i gasform för att kunna brinna. Detta innebär att en vätska måste förångas innan den kan fatta eld. Ett fast material måste antingen smälta för att därefter förångas, som stearin, eller så måste det pyrolyseras, det vill säga utsättas för värme och brytas ner så att det bildas brännbara gaser av det fasta ämnet. Det finns dock några viktiga undantag, bland annat kol, som brinner i fast fas utan att först förgasas.

Över tid har de bränslen som finns tillgängliga i byggnader och andra anläggningar förändrats till sin karaktär. Det som tidigare bestod av naturmaterial har kommit att innehålla alltmer plast, såväl i våra bostäder som på våra arbetsplatser. Dessutom har formgivning, byggnadsmaterial och konstruktionssätt förändrats. Detta påverkar och har förändrat bränders karaktär i byggnader över tid. Något förenklat kan man säga att bränder tenderar att utvecklas och spridas mycket fortare idag än vad dom gjorde under mitten av 1900-talet. Många äldre byggnader är inte alltid dimensionerade för de inredningsmaterial (bränslen) vi idag har i våra bostäder och på våra arbetsplatser. Detta kan medföra att bränder i äldre byggnader där moderna material brinner, kan utvecklas och spridas fortare än i nyare byggnader.



De bränslen som finns tillgängliga i byggnader har förändrats till sin karaktär över tid och idag har vi mycket plast i våra bostäder. Foto (överst): Stefan Svensson. Foto (nederst): Johnér Bildbyrå.

Olika material har olika egenskaper, och det är inte så enkelt som att bränslen är antingen brännbara eller obrännbara. Såväl obrännbara som brännbara föremål och ytor i ett rum har stor inverkan på brandens utveckling och spridning. Och vi använder ofta obrännbara byggmaterial som kan påverkas stort i samband med brand, till exempel stål och betong.

Material kan bland annat karaktäriseras genom dess densitet, värmeledningsförmåga, värmekapacitet, värmeupptagningsförmåga samt förbränningsvärme. Även bränslets form, fördelning och placering i rummet eller byggnaden påverkar branden.

Densitet

Densitet är ett mått på ett ämnes täthet, det vill säga ett ämnes massa per volymenhet. Ju högre densitet ett ämne har desto större är massan per volymenhet. Densiteten påverkar således direkt ämnets vikt. Ibland används uttrycket specifik vikt som en synonym till densitet, men i vetenskapliga sammanhang kan deras innebörd skilja sig väsentligt åt. Ju större densitet ett ämne har desto tyngre uppfattar vi ämnet. I de flesta fall anger vi densitet i kilogram per kubikmeter, kg/m^3 . Densiteten beskrivs även med den grekiska bokstaven ρ (uttalas rå).

Tabell 4. Exempel på densitet för några vanliga material, vid rumstemperatur

Material	Densitet, ρ [kg/m^3]
Stål	7 820
Polypropylen	900
Trä (furu)	520
Gipsskiva	720
Spånskiva	600
Träfiberskiva	300
Polyuretan	30

För porösa och pulverformiga material, som sand, skiljer man på kompakt-densitet och skrymdensitet. Kompaktdensitet är materialets ”faktiska” densitet, det vill säga när utrymmet mellan partiklarna är borttaget. Skrymdensitet är densiteten för det porösa materialet, inklusive hålrummen. Man måste också hålla reda på vad som finns mellan kornen i pulverformiga material.

Densitet

Ett mått på ett ämnes täthet, det vill säga ett ämnes massa per volymenhet. Ju högre densitet ett ämne har desto större är massan per volymenhet. Densitet anges i kg/m^3 .

Trä och andra material som är naturligt fuktiga, det vill säga innehåller en större eller mindre mängd vatten, krymper när det torkar eller utsätts för värme, till exempel vid en brand. För sådana material påverkas densiteten av såväl fukthalten som av hur mycket materialet krymper. För trämaterial brukar man ange densiteten som massan av torrsubstansen dividerad med den fuktiga volymen (volymen innan torkning ägt rum). Detta mått brukar kallas torr-rädensiteten (torrt material i den råa eller fuktiga volymen).

Densiteten kan skilja oerhört mycket mellan olika ämnen. Så har till exempel järn densiteten cirka $7\,800\text{ kg/m}^3$ medan luft har densiteten $1,2\text{ kg/m}^3$ (vid $25\text{ }^\circ\text{C}$). Det ämne som förekommer naturligt och har högst densitet är osmium, $22\,610\text{ kg/m}^3$. Densiteten påverkas av ämnets temperatur, eftersom volymen förändras när temperaturen förändras. Ett ämnes densitet påverkar hur ämnet reagerar och beter sig vid brand eller när det utsätts för värme. Om vi endast ser till egenskapen densitet, så antänds ett brännbart material med låg densitet generellt fortare än ett brännbart material med hög densitet. Det sprider även brand vidare fortare. Ett ämne eller material med hög densitet kan absorbera mycket energi.

Densiteten påverkar även ämnets värmeledningsförmåga.

Värmeledningsförmåga

Värmeledningsförmåga (eller konduktivitet) är egenskapen hos ett material att leda värme. Ett materials värmeledningsförmåga anges i watt per meter och kelvin, W/mK , och beskrivs normalt med bokstaven k eller med grekiska bokstaven λ (lambda). Lambda-värdet för ett material benämns även som materialets värmeledningstal.

Tabell 5. Värmeledningsförmåga (konduktivitet) för några olika material, vid rumstemperatur

Material	Värmeledningsförmåga, k [W/mK]
Stål	45
Polypropen	0,19
Trä (furu)	0,14
Gipsskiva	0,25
Spånskiva	0,14
Träfiberskiva	0,05
Polyuretan	0,034

Ett ämnes värmeledningsförmåga påverkar hur ämnet reagerar och beter sig vid brand eller när det utsätts för värme. För ett material med stor värmeledningsförmåga leds värmen bort fortare så att materialets yta värms upp långsammare. Detta medför att antändning och spridning av brand i material med stor värmeledningsförmåga generellt sker långsammare än i material med låg värmeledningsförmåga.

Värmeledningsförmåga

Ett materials förmåga att leda värme. Kallas även termisk konduktivitet, värmekonduktivitet, konduktivitet eller specifik värmeledningsförmåga. Ett materials värmeledningsförmåga anges i watt per meter och kelvin, W/mK, och anges normalt med bokstaven k eller med den grekiska bokstaven λ (lambda).

Samtidigt kan ett material med stor värmeledningsförmåga leda värme vidare till andra sidan av materialet, så att antändning kan ske där om materialet där ligger an mot ett brännbart material, även om det material som leder värme inte är brännbart (till exempel stål).

Värmeledningsförmågan säger också att den mängd värmeenergi som passerar igenom ett material per tidsenhet, är proportionell mot den area som värmen passerar genom. Detta betyder att ju större arean är, desto mer värmeenergi kan flöda igenom. Den mängd värme som leds genom ett material är också proportionell mot temperaturskillnaden mellan den kalla och den varma sidan. Detta betyder att ju större temperaturskillnaden är mellan materialets båda sidor, desto mer värmeenergi kan flöda igenom. Mängden värme som leds genom ett material är dessutom omvänt proportionellt mot materialet tjocklek. Detta betyder att ju tjockare ett material är, desto mindre värmeenergi kan flöda igenom per tidsenhet. För material med stor värmeledningsförmåga kan värmeflödet bli större, än för ett material med liten värmeledningsförmåga.

Ett material med hög densitet har normalt även hög värmeledningsförmåga, medan låg densitet normalt innebär låg värmeledningsförmåga.

Värmekapacitet

Värmekapacitet (eller specifik värmekapacitet) är ett mått på den mängd energi som motsvarar en viss temperaturförändring hos ett föremål eller en gas. Enheten för värmekapacitet är joule per kilogram och kelvin, J/kgK, och betecknas med c . Man kan också säga att värmekapaciteten anger ett ämnes förmåga att lagra termisk energi.

Värmekapacitet

Ett mått på den mängd energi som motsvarar en viss temperaturförändring hos ett föremål eller en gas. Värmekapacitet anges i joule per kelvin, J/K, men vanligen anger man värmekapacitet per massa, J/kgK, och man talar då om värmekapacitet (specifik värmekapacitet). Värmekapacitet anges med bokstaven c .

Värmekapacitivet för ett ämne beskriver hur mycket energi som krävs för att höja temperaturen för ett kilogram av ämnet med en grad kelvin (eller Celsius). En föremåls värmekapacitet beror på föremålets massa (densitet), vilka ämnen den består av och på rådande temperatur och tryck.

Tabell 6. Värmekapacitet för några olika material, vid rumstemperatur

Material	Värmekapacitet, c [J/kgK]
Stål	460
Polypropen	1 900
Trä (furu)	2 850
Gipsskiva	960
Spånskiva	1 400
Träfiberskiva	2 090
Polyuretan	1 400

Ett material som har hög värmekapacitet behöver tillföras mer energi för att värmas upp, än ett material med låg värmekapacitet. I samband med brand kan detta innebära att det tar längre tid för ett material med hög värmekapacitet att antända, än för ett material med låg värmekapacitet.

Värmeupptagningsförmåga

Ett materials egenskaper vid antändning och brand är komplexa. Förutom värmekapacitet måste man även beakta såväl värmeledningsförmåga som densitet. Normalt är det kombinationen av dessa tre som är intressant för att beskriva hur ett material beter sig vid brand.

Olika material kan ha olika förmåga att ta emot och behålla värme, oavsett om värmetransporten sker genom ledning, konvektion eller värmestrålning. Materialens förmåga att ta upp värme påverkar under flera skeenden vid en brand. Denna förmåga kallas för värmeupptagningsförmåga eller termisk tröghet. Den består av produkten av följande tre parametrar:

- värmeledningsförmåga – k eller λ (lambda)
- densitet – ρ (rå)
- specifik värmekapacitet – c .

Beteckningen för värmeupptagningsförmåga blir $k\rho c$ (vilket utläses kå-rå-ce). Beroende på materialets värmeupptagningsförmåga värms olika material upp olika snabbt. Detta påverkar hur brand sprider sig i ett föremål, i ett rum och i en byggnad.

Tabell 7. Värmeupptagningsförmåga för några olika material

Material	Värmeupptagningsförmåga, $k\rho c$ [W^2s/m^4K^2]
Stål	161 874 000
Polypropen	324 900
Trä (furu)	207 480
Gipsskiva	172 800
Spånskiva	117 600
Träfiberskiva	31 350
Polyuretan	1 428

Värmeupptagningsförmåga

Ett materials förmåga att ta upp värme. Kallas även termisk tröghet. Den består av produkten av följande tre egenskaper:

- värmeledningsförmåga – k eller λ (lambda)
- densitet – ρ (rå)
- specifik värmekapacitet – c .

Beteckningen för värmeupptagningsförmåga blir $k\rho c$ (vilket utläses kå-rå-ce). Enheten för värmeupptagningsförmåga är W^2s/m^4K^2 .

Tänk dig ett rum där väggarna är klädda med spånskivor. Mitt på en av väggarna finns en stålpelare. Det börjar brinna i rummet, och såväl väggen som stålpelaren befinner sig på samma avstånd från branden. Stålpelarens specifika värmekapacitet är lägre än för spånskivan och borde därför värmas upp snabbare än spånskivan. Men det gör den inte, utan stålpelaren förblir kall ganska länge. Detta eftersom stålet har högre värmeledningsförmåga än spånskivan och värmen leds snabbare in i stålet än i spånskivan. I stället värms spånskivans yta snabbt upp till sin antändningstemperatur och kan då delta i branden. Stålpelaren fortsätter att värmas upp, men värmen leds bort. Den kan därför så småningom bli orsak till antändning av brännbart material på andra sidan väggen eller högre upp i byggnaden.

Från början leds värmen bort från stålpelarens yta och den förblir kall. Spånskivan däremot leder inte bort så mycket värme på samma tid, trots att den behöver mer energi till uppvärmning. Den lagrar värme vid ytan. Förklaringen är skillnaden i värmeupptagningsförmågan. Densiteten är högre för stål än för spånskiva. Även värmeledningsförmågan är högre för stålet än för spånskivan. De tre egenskaperna multiplicerade med varandra ($k\rho c$), ger betydligt högre värde för stålpelare än för spånskiva.



I en stålcontainer, som ofta används vid räddningstjänstens övningar, sprider sig brand på andra sätt än i ett riktigt möblerat rum, eftersom väggarnas och takets värmeupptagningsförmåga är annorlunda. Foto: Stefan Svensson.

Material med låg värmeupptagningsförmåga tar upp lite värme. Värmen leds inte in i materialet utan stannar vid ytan. Därför känns dom varma när man tar på dom. Ytan värms upp snabbt, och materialet brinner bra, under förutsättning att det är brännbart. Metaller har i allmänhet högre värmeupptagningsförmåga, värmen leds bort från ytan och dom känns därför kallare. Ytan förblir kall länge och materialet brinner dåligt.

För ett brännbart material gäller att ju högre värmeupptagningsförmågan är, desto längre tid tar det att värma upp ytan. Detta påverkar hur brand sprider sig i materialet: flamspridning över ytan går långsammare. Ju fortare ytan värms upp, desto fortare går flamspridningen och desto fortare sprids branden i rummet. Även materialets tjocklek påverkar uppvärmningen. Ett tunnare material värms upp fortare än ett tjockt, eftersom det är en mindre mängd massa som ska värmas upp.

Förbränningsvärme

Förbränningsvärme är en term som anger hur mycket energi som kan utvecklas vid förbränning av en viss mängd av ett bränsle. Detta kallas även bränslets värmevärde. I samband med förbränning och brand används det för att ange ämnets potentiella energi, i form av kemiskt bunden energi. Förbränningsvärme är en viktig egenskap hos bränslen, eftersom det anger deras energiinnehåll, och kan variera mycket mellan olika bränslen.

Ett bränsles förbränningsvärme säger hur mycket potentiell energi materialet ”innehåller” per viktenhet. Den anges i joule per kilogram, J/kg, eller oftare i MJ/kg (miljoner joule per kg) eftersom mängden potentiell energi ofta är mycket stort.

Så har till exempel trä ett förbränningsvärme på cirka 16–20 MJ/kg medan aceton har 30 MJ/kg och polypropylen 43 MJ/kg. Att trä har ett intervall, till skillnad från många andra bränslen, beror dels på att trä inte är något homogent material (det består av flera olika ämnen), dels för att förbränningsvärmets varierar mellan olika träslag. Dessutom kan trä ha olika mycket fukt i sig, vilket också påverkar förbränningsvärmets.

Tabell 8. Exempel på förbränningsvärme (värmevärde) för några olika material

Material	Förbränningsvärme [MJ/kg]
Trä	16–20
Cellulosamaterial (bomull, papper, papper, mm)	20
Polyvinylklorid (PVC)	20
Etanol	30
Polyester	30
Gummidäck	32
Polypropylen	43
Bensin	45

Ett materials förbränningsvärme påverkar den mängd energi som utvecklas vid brand, och därmed även brandens effektutveckling. Generellt kan man säga att material med hög förbränningsvärme även ger en hög effektutveckling, men inte nödvändigtvis. Det bör dock noteras att vid brand frigörs inte all den energi som anges av förbränningsvärdet, utan normalt endast 70–80 procent vid god tillgång till luft. Resten av energin finns kvar i restprodukterna eller avgår som oförbrända gaser. I brandgaser kan det således finnas en hel del potentiell energi kvar, vilket bidrar till brandgasernas brännbarhet och följaktligen även till brandens spridning.

Förbränningsvärme, ΔH_c

Ett mått på hur mycket energi ett material teoretiskt kan avge när det brinner, det vill säga hur mycket energi materialet "innehåller". Enheten är MJ/kg eller kJ/g.

Naturliga material har ofta ett förbränningsvärme runt cirka 15–20 MJ/kg. För många syntetiska material, det vill säga plaster av olika slag, ligger förbränningsvärmets runt cirka 35–40 MJ/kg. Det innebär att många moderna inredningsmaterial har mycket mer energiinnehåll jämfört med de naturmaterial som var vanligare som inredningsmaterial förr.

När det finns mer energi som kan frigöras blir brandförloppet snabbare. Under ett halvsekel har tiden till övertändning i ett normalt rum minskat från omkring en halvtimme till endast några minuter. Trenden fortsätter dessutom. I ett batteri lagras energin ännu tätare, och brandförloppet i en batteribrand kan gå ännu fortare. Brand i större batterier har visat sig kunna leda till att en rumsbrand kan gå till övertändning på så kort tid som bråkdelar av en minut.

Följaktligen frigörs vid en brand mer energi i moderna material än i äldre material på motsvarande tid, vilket medför att bränders utveckling och spridning i byggnader ofta är snabbare idag. Dessutom har brandgaser från moderna material ofta högre brännbarhet, det vill säga dom kan vara relativt lättantändliga och därmed sprida brand såväl längre som fortare.

Byggregelverket utgår från energiinnehållet i byggmaterial när man ska dimensionera brandskyddet. Där används begreppet ”brandbelastning” som innebär brandenergin per golvarea inom ett visst utrymme, i MJ/m².

Oförbrända gaser

Pyrolysgaser som inte förbränts. Ju sämre syretillförsel desto mer oförbrända brandgaser bildas. De oförbrända gaserna innehåller potentiell energi som kan frigöras under senare skede och orsaka temperaturhöjning.

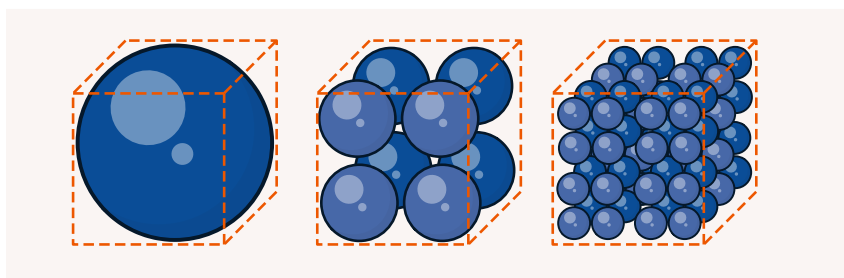
Förbränningsvärmets är egentligen ett ganska dåligt mått på hur ”brandfarligt” ett ämne eller ett material är. Men det kan ge oss en bild av den energi som potentiellt kan utvecklas vid brand och därmed även hur detta kan påverka till exempel en byggnad. En byggnad som innehåller material med högt förbränningsvärme har till exempel potential att skapa

brandgaser som är mer energirika, än en byggnad där förbränningsvärmets är lägre. Och brandgaser som innehåller mer energi, ökar risken för brandspridning. Däremot säger förbränningsvärmets egentligen inget om hur lättantändligt eller brännbart materialet eller brandgaserna är.

Bränslets fördelning

Hur bränslet är fördelat påverkar också hur bränder utvecklar och sprider sig. Med fördelning avses här om bränslet är i gasform, som vätskepartiklar eller som fasta partiklar. Ju mindre en droppe eller en partikel är, desto större blir partikeln yta i förhållande till dess volym. Och ju mindre en partikel är, desto mindre väger den. Om vi finfördelar en viss mängd av ett material, så kommer mindre droppar eller partiklar att ge oss större ytor, vilket ger ökade möjligheter för exponering av till exempel värme.

Figur 35. Små partiklar har större yta i förhållande till sin volym än stora partiklar



En liten partikel värms upp fortare än en stor, och den förgasas eller pyrolyserar därför fortare. Dessutom blir reaktionsytan större, det vill säga den yta som till exempel luftens syre har tillgång till blir större. Små brännbara partiklar antänds och brinner fortare än stora. Allra snabbast brinner gaser, där molekylerna finns "var för sig".

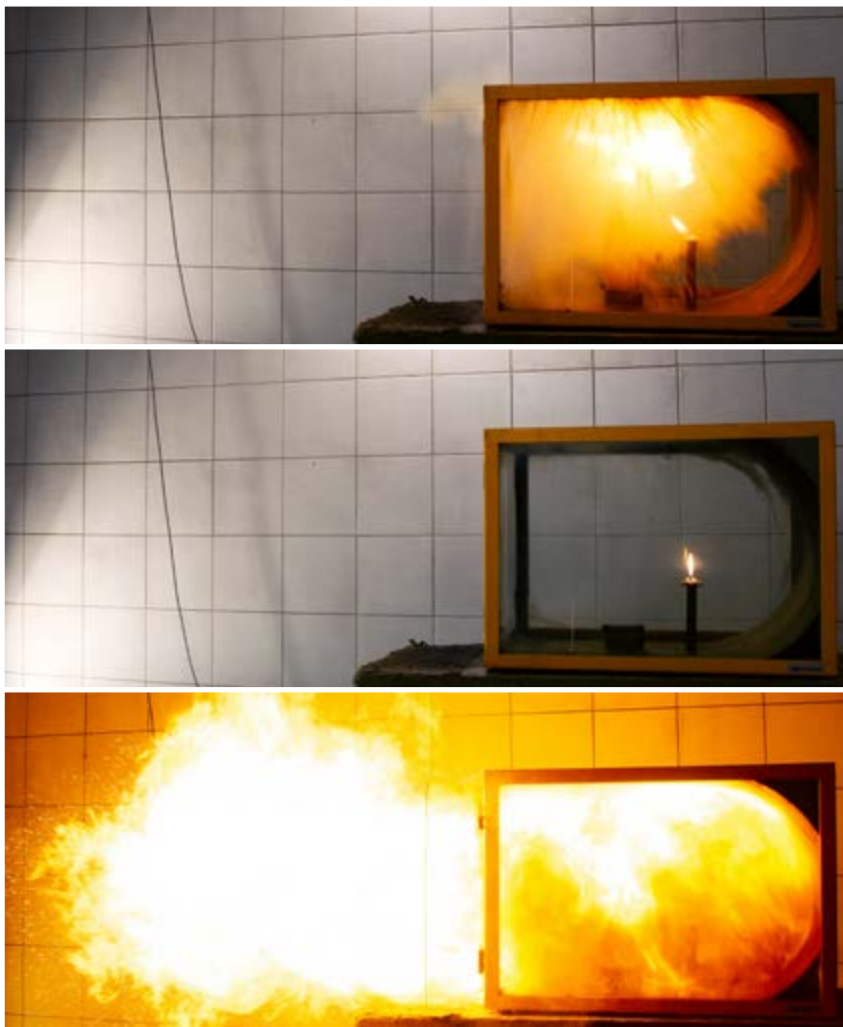
Detta kan medföra att till exempel ett fast material som är svårantändligt eller till och med obrännbart kan bli brännbart om det finfördelas tillräckligt mycket, det vill säga att man gör mycket små partiklar av materialet. Ett exempel kan vara att järn i form av stålull är brännbart. Även en svårantändlig olja som till exempel hydraulolja blir lättantändlig när den finfördelas och i sprayform träffar en yta som är varmare än antändningstemperaturen.



Även metall är brännbart, i synnerhet om det är finfördelat. Foto: Stefan Svensson.

Finfördelat bränsle, även material som normalt betraktas som obrännbara, kan ställa till problem, till exempel i form av dammexplosioner. Dammexplosioner kan ha en förödande effekt och leda till såväl personskador som stora materiella skador. Dom kan inträffa när ett brännbart damm eller pulver virvlar upp och bildar ett dammoln, som sedan antänds av till exempel en gnista, en låga eller en varm yta.

Brandfarliga material, såväl fasta ämnen som vätskor och gaser, har ofta tydliga egenskaper i förhållande till brand. När det gäller damm och annat finfördelat bränsle är det inte lika enkelt. De flesta organiska material som trä, mjöl, socker, färgpulver och plast kan skapa en explosiv atmosfär, liksom även en del oorganiska material såsom metaller. Ett mycket finfördelat bränsle brinner nästan på samma sätt som en brännbar gas.



Dammexplosioner kan uppstå när finfördelat och ofta luftburet material antänds.
Foto: Stefan Svensson.

Inom industrin hanteras det stora mängder material som finfördelat kan orsaka dammexplosioner. Exempel på sådana material är trä, mjöl, socker, färgpulver, plast och metaller. Personer som hanterar metalledamm känner ofta inte till att metalledamm kan vara brännbara eller bli så finfördelade att dom kan orsaka en dammexplosion.

De verksamheter där det finns högst risk för dammexplosioner är bland annat

- sågverk – torkning och sågning av trä
- snickerifabriker, möbelfabriker – trädam
- energiverk, fjärrvärmeverk – eldning med pellets
- industrimålning – slipning och blästring ger lackrester och damm
- pulverlackering – färgpulver som läggs på metallytor med hjälp av statisk elektricitet och bränns fast i ugnar.

Men bränslet behöver givetvis inte vara mycket små partiklar för att förhållandet mellan yta och volym (och vikt) förändras. Ett exempel är när vi ska tända en brasa i en kamin. Det underlättar då om vi delar upp vedträet i mindre bitar så att mer yta exponeras för värmen från lågan. Dessutom värms mindre bitar av bränslet upp fortare, vilket gör att det antänder lättare.

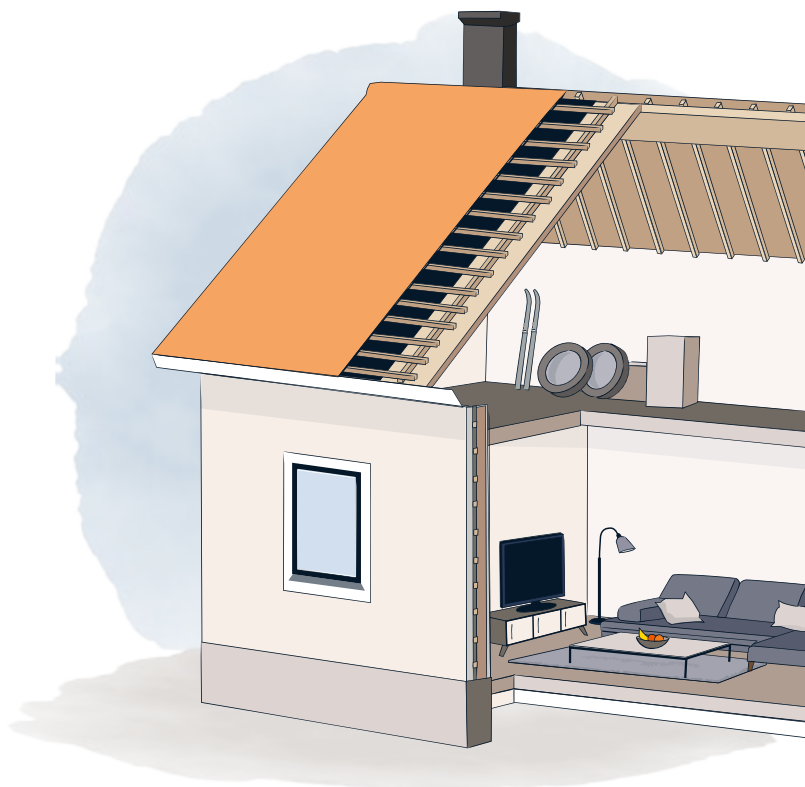
Hur bränslet är fördelat handlar även om hur föremål är placerade i ett rum, i förhållande till omgivande väggar och takytor.

Övriga materialegenskaper

I byggnader använder vi en mängd olika typer av material, till olika saker. En hel del är möbler och annan inredning som vi tar med oss när vi flyttar in i eller ut ur byggnaden, liksom kläder och andra föremål som vi har i våra bostäder. Många sådana föremål och material fungerar som bränsle vid en brand.

Men även själva byggnaden består många gånger av bränsle eller av material som inte nödvändigtvis är brännbara men som ändå påverkas när det brinner i byggnaden. Vi talar då om byggnadsmaterial eller konstruktionsmaterial. Exempel på sådana material är tegel, betong och stål. När energi tillförs dessa material ökar molekylrörelsen i materialen, bärformågan förändras och materialen kan även deformeras.

Figur 36. Såväl inredningen som byggnaden i sig själv består normalt av en mängd brännbara material



Ett materials bärförmåga handlar om hur mycket vikt materialet kan bära upp. Hur ett material deformeras handlar om hur materialet ändrar form när det utsätts för värme.

Den tid som går från uppvärmningens början till dess att materialets egenskaper förändras i hela materialet beror på materialets värmeledningsförmåga och värmekapacitivitet. Förändringen går snabbare i metaller och långsammare i dåliga värmeledare såsom trä och betong.

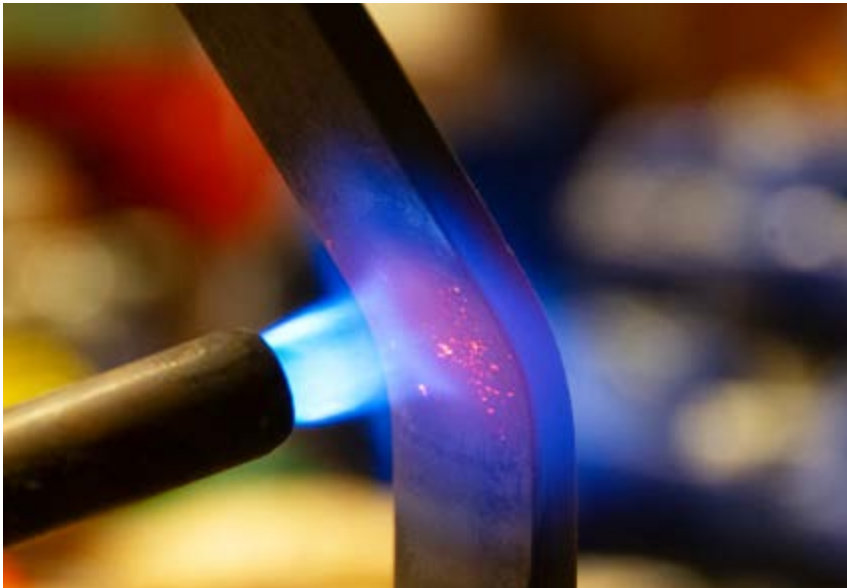
Ett materials olika egenskaper påverkar ofta varandra. Till exempel sjunker bärförmågan om ett material deformeras och blir mer sprött.

Bärförmåga

Generellt minskar hållfastheten för alla material när dom utsätts för höga temperaturer. Försämrade bärförmåga kan då leda till lokalt ras, fortskridande ras eller till att en hel byggnad kollapsar. Hur långt det går beror bland annat på hur länge en brand pågår, hur den sprider sig, hur stor den är, hur hög temperaturen är eller har varit och inte minst vilka material byggnaden är uppförd med.

Stålmateriel är mycket känsliga för värme. Vid cirka 500 °C förlorar stålet ungefär hälften av sin hållfasthet. Vid denna temperatur kan stålet endast bära upp hälften av den last som det kan bära upp vid rumstemperatur. Vid cirka 700 °C är bärförmågan i det närmaste obefintlig; då kan stålet inte ens bära sin egen vikt, trots att stål inte smälter förrän vid mycket högre temperatur. Samtidigt påverkar förstöras materialets dimensioner hur fort det värms upp. Bara för att ytan är väldigt varm, så måste det inte innebära att hela materialet har motsvarande temperatur. Materialets värmeledningsförmåga påverkar således dess bärförmåga.

Bärförmågan vid olika temperaturer är olika för olika metaller. Lättmetaller, som aluminium, förlorar större delen av sin bärförmåga redan vid 400 °C.



Stål förlorar hälften av sin hållfasthet vid cirka 500 °C. Foto: Stefan Svensson.

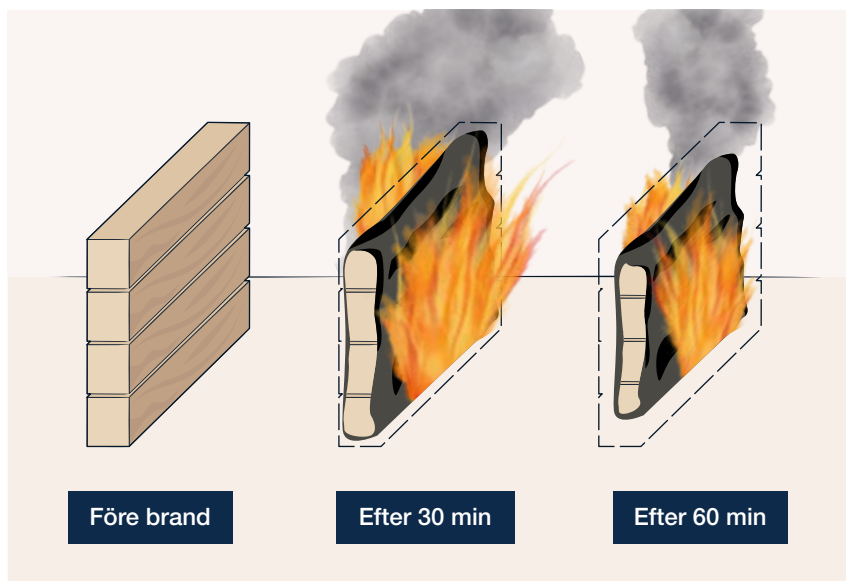
I metallindustrin värmebehandlar man ibland stål för att öka hållfastheten, så kallad härdning. Det förutsätter oftast att såväl uppvärmningen som avkylningen sker kontrollerat och inom vissa temperaturintervall.

Keramiska material, stenmaterial, betong och glas spricker ofta när dom utsätts för höga temperaturer, och får då en sänkt hållfasthet. Sprickbildningen beror på att dessa material har låg draghållfasthet. När ena sidan värms upp utvidgar den sig. Om den andra sidan är kall ger utvidgningen en spänning i materialet som kan göra att det spricker. Motsvarande sker även om ett material är uppvärmt och kyls av snabbt. Då krymper det vilket kan leda till sprickbildning. Men det finns även keramiska material som motstår höga temperaturer. Problemet med många material är ofta sammanfogningen, där det uppstår rörelser så att sprickor uppstår och hållfastheten sjunker. På motsvarande sätt kan det vara med en tegelvägg. Tegelstenarna är brända vid hög temperatur och motstår därmed brand tämligen väl, medan fogarna har mycket lägre hållfasthet.

Betong har ungefär 75 procent av sin hållfasthet kvar vid 500 °C och vid 800 °C cirka 25–50 procent. Observera att även värmeupptagningsförmågan kommer att påverka hållfastheten. Så även om temperaturen i ett brinnande rum är över 800 °C, så innebär det inte nödvändigtvis att väggarnas betong tappar hållfasthet, eftersom det kommer att ta en viss tid att värma upp betongen. På motsvarande sätt är det även för andra konstruktionsmaterial. Uppvärmning av ett material tar tid, vilket påverkar hållfastheten. Hållfastheten hos betong påverkas även av så kallad spjälkning, det vill säga att betongens yta successivt flagnar och skjuts bort, till stor del på grund av betongens fukttinnehåll och rörelser (utvidgning). Eller så sker spjälkning på grund av att underliggande armering av järn värms upp. Järn utvidgar sig mer av värme än betong och kan då spjälka av hela täcksiktet.

Träkonstruktioner minskar i omfång genom förbränning och tillväxt av kol, det vill säga att träet i till exempel en balk förbränns efterhand och balken blir klenare. Minskat tvärsnitt innebär minskad hållbarhet och därmed en svagare träbalk. Värmeutsatta träkonstruktioner är dock ett komplext område eftersom det även sker en viss värmeledning in i materialet. Även detta påverkar hållfastheten, utöver att tvärsnittet minskar. Dessutom är ju träkonstruktioner brännbara, och kan på så vis bidra till brandförloppet. Sammansatta träkonstruktioner kan också falla isär och exponera ny eller mer träyta, vilket också påverkar brandförloppet.

Figur 37. Trä förlorar hållfasthet främst genom att tvärsnittsarean blir mindre när träet brinner



När trä brinner, pyrolyserar materialet och förbränns. Fast material försvinner efterhand och tvärsnittsarean blir mindre.

Plastmaterial kan påverkas av såväl låga som höga temperaturer, men det varierar stort mellan olika typer av plast. Den sorts plast som ingår i gruppen termoplaster påverkas normalt väldigt mycket av värme. Flera termoplaster smälter vid ganska låga temperaturer (cirka 110 °C), och efter lång tids värmepåverkan kan dom smälta redan vid 80 °C. Polyeten och polypropen, två mycket vanliga plaster, hör till termoplaster. Värme-strålning från en brand kan göra att plastföremål på relativt stort avstånd från branden kan mjukna eller smälta utan att direkt delta i branden. Den låga smältpunkten kan dessutom medföra att termoplaster smälter och deltar i branden i form av vätska. Detta ger risk för ytterligare spridning, i och med att den smälta och eventuellt brinnande plasten kan rinna iväg långa sträckor. Vissa termoplaster uppför sig i princip som brännbara vätskor, det vill säga smälter för att därefter förångas och brinna. En produkt med liknande egenskaper är takpapp, där bitumen vid brand kan smälta, rinna iväg och sprida branden. Bitumen är ett bindemedel som framställs ur råolja. Termoplaster kan även pyrolysera efter det att dom smält. Då bidrar dom till att bygga upp brännbara gaser inne i ett utrymme.



Termoplaster kan smälta, börja brinna och rinna iväg långa sträckor och därigenom bidra till spridning av brand. Foto: Stefan Svensson.

En annan typ av plast är hårdplaster. Dessa smälter normalt inte utan pyrolyseras och förkolnar ungefär som trä. Hårdplasternas nedbrytning på grund av värmepåverkan sker genom sönderdelning utan föregående mjukning. För flera typer av hårdplaster sjunker brotthållfastheten till 50 procent av den ursprungliga vid 70–200 °C. Hårdplaster används ofta tillsammans med någon form av armering, såsom glasfiber eller kolfiber, vilket givetvis påverkar hållfastheten vid brand. Sådan armering påverkar även plastens värmeupptagningsförmåga. Armeringen i plast kan vid brand ge upphov till hälsofarligt damm med mycket små partiklar. Armeringen kan också vara brännbar, vilket gör att den medverkar i brandförloppet om den exponeras.

Deformation

Deformation innebär en förändring av form eller storlek hos ett material. En orsak kan vara att materialet utsätts för en hög last, det vill säga att det bär upp mycket vikt. När material utsätts för förhöjda temperaturer förändras deras egenskaper så att dom kan deformeras på andra sätt än vid rumstemperatur. Generellt kan man säga att material blir mindre spröda vid förhöjda temperaturer, men det finns viktiga undantag såsom betong och gips. Detta innebär till exempel att en stålbalk inte knäcks på samma sätt som vid rumstemperatur utan snarare böjs.



Deformation av balkar som har varit utsatta för höga temperaturer. Foto: Johnér Bildbyrå.

Alla material väger något och kan därför deformeras även om de inte bär upp någon ytterligare last. Om deformation kvarstår efter avlastning talar man om plastisk deformation. Om materialet däremot återfår sin form efter avlastning talar man om elastisk deformation. I brandsammanhang deformeras de allra flesta material plastiskt.

En typ av deformation som kan ha stor betydelse vid brand är utvidgning. Så gott som alla material utvidgas när temperaturen ökar, men hur mycket materialet utvidgas varierar stort mellan olika material. Man kan beskriva ett materials förmåga att utvidga sig med en längdutvidgningskoefficient (eller bara utvidgningskoefficient), som anger den relativa längdförändringen vid en viss temperaturförändring. Enheten för längdutvidgningskoefficienten är meter per meter och kelvin, m/m/K . Av praktiska skäl används dock oftast $\text{mm/m/}^{\circ}\text{C}$, det vill säga millimeter per meter och $^{\circ}\text{C}$, det vill säga hur många millimeter materialet utvidgas per meter av dess längd och för varje $^{\circ}\text{C}$ i temperaturförändring. Längdutvidgningskoefficienten anges med α (alfa).

Även längdutvidgningskoefficienten varierar med temperaturen.

Tabell 9. Längdutvidgningskoefficient för några olika typer av material

Material	10^{-3} mm/m/K
Aluminium	23
Betong (torr)	9–14
Glas	3–10
Guld	14
Is	50
Järn	11–20
Kol (grafit)	2
Koppar	17
Magnesium	26
Plexiglas	70–100
Porslin	2–5
Rostfritt stål	18
Silver	19
Trä (längs fibern)	5–9

Värdet anger hur många millimeter ett material utvidgas per kelvin och per längdmeter av materialet.

Längdutvidgningskoefficient

Ett mått på hur mycket ett material utvidgas.
Enheten är oftast mm/m/K.

För vissa material är längdutvidgningskoefficienten olika i olika riktningar. Det gäller kompositmaterial och andra så kallade anisotropa material, det vill säga material som har olika egenskaper i olika riktningar, som till exempel kompositmaterial (sammansatta material) och trä.

Nästan alla material har en positiv utvidgningskoefficient, det vill säga att dom utvidgas om temperaturen ökar. Ett viktigt undantag är vatten, vars volym minskar mellan fryspunkt och 4 °C. Vattens densitet är således som störst vid 4 °C.

Vid en brand kan ett materials längdutvidgning påverka bland annat hållfastheten hos en byggnad. Till exempel kan en stålbalk som blir längre mycket väl kan knuffa bort andra byggnadsdelar och därmed orsaka ett ras.

Den relativa volymändringen anges av volymutvidgningskoefficienten, som är ungefär tre gånger längdutvidgningskoefficienten. Enheten för volymutvidgning är, följaktligen, kubikmeter per kubikmeter och kelvin, $\text{m}^3/\text{m}^3/\text{K}$.

Förbränningseffektivitet

Förbränningseffektivitet är ett mått på hur effektiv en förbränning är, det vill säga hur effektivt ett bränsle förbrukas eller hur effektiv den kemiska reaktionen är. Vid en brand är förbränningseffektiviteten sällan fullständig, det vill säga den är inte 100 procent. Vid brand bildas det därför ofta en stor mängd oförbrända ämnen.

Förbränningseffektivitet

Ett ämne som brinner frigör sällan all sin energi även om syretillförseln är god. En del av energin finns kvar kemiskt bundet i form av oförbrända produkter. Ju sämre syretillförsel desto mer oförbrända gaser produceras. Förbränningseffektivitet betecknas med χ och anges som andel av den totala mängden tillgänglig potentiella energin, från 1–0.

I en svetslåga strävar man efter att nå så fullständig förbränning som möjligt, så att man får så hög temperatur som möjligt på lågan. Detta kan man åstadkomma genom att ställa in blandningen mellan bränslegas (acetylen) och syrgas så att man får en så kallad stökiometrisk blandning, det vill säga en "perfekt" blandning mellan gaserna, där atomerna går jäms upp i de kemiska reaktioner som sker.

Även förbränningsanläggningar är konstruerade för att få så hög förbränningseffektivitet som möjligt. I en sådan anläggning vill vi kunna åstadkomma en så effektiv förbränningsprocess som möjligt, av ekonomiska skäl men även av miljöskäl. Slutprodukten ska helst vara koldioxid, vatten och fasta restprodukter som enkelt kan tas om hand, ofta metalloxider.



I en svetslåga vill man ha fullständig förbränning, för att temperaturen ska bli så hög som möjligt. Foto: Stefan Svensson.

Vid förbränningen i ett stearinljus med fri tillgång till luftens syre är förbränningseffektiviteten ungefär 0,7, vilket innebär att ungefär 70 procent av den kemiskt bundna energin frigörs. För en brand i en soffa i en rumsbrand kan förbränningseffektiviteten vara betydligt lägre, eftersom lufttillgången liksom omgivande ytor och material påverkar förbränningen. Att kemiskt bunden energi inte frigjorts innebär att den finns kvar dels i brandresterna men framförallt i brandgaserna. Brandgaser är alltså bränsle.

Förbränningseffektivitet brukar anges med den grekiska bokstaven χ (uttalas "chi") och är dimensionslös, det vill säga att den inte har någon enhet.

Brännbarhetsgränser och brännbarhetsområde

För att något ska kunna brinna (eller förbrännas) krävs bränsle, syre och värme. Bränslet måste normalt vara i gasform för att kunna blanda sig med luftens syre. Och för att bränslet ska kunna bli gasformigt, måste det antingen pyrolyseras eller förgasas.

För att en blandning av bränslegas och syre ska kunna brinna krävs dessutom att koncentrationen av respektive gas ligger inom vissa gränser, så kallade brännbarhetsgränser. Om blandningen ligger utanför dessa gränser, kan förbränning inte ske. Blandningen måste helt enkelt vara ”lagom”. Den undre brännbarhetsgränsen beskriver vilken minsta koncentration av bränslegas som krävs för antändning. På motsvarande sätt säger den övre brännbarhetsgränsen oss hur hög koncentrationen av bränslegas kan vara för att ge en brännbar blandning. Området mellan den undre och den övre brännbarhetsgränsen kallas brännbarhetsområde. Brännbarhetsgränser och brännbarhetsområde är tillämpbara för förblandade flammor. Dessa begrepp är endast i undantagsfall tillämpbara för bränder i byggnader.

Tabell 10. Brännbarhetsområde för några olika brännbara gaser

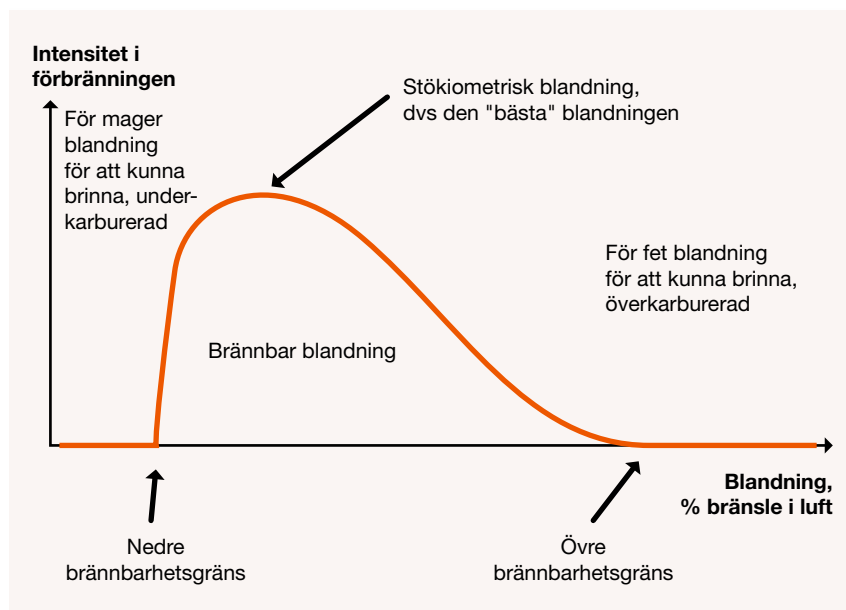
Ämne	Undre gräns (vol %)	Övre Gräns (vol %)
Bensinånga	1	8
Etanol (ångor av C ₂ H ₅ OH)	3,1	19
Etylenoxid (C ₂ H ₄ O)	2,6	100
Gasol (95 % propan, 5 % butan)	2	10
Kolmonoxid (CO)	11	74
Naturgas (mest CH ₄)	4	15
Vätgas (H ₂)	4	77

Om gasblandningen är under den undre brännbarhetsgränsen säger man att blandningen är för mager. Om gasblandningen är över den övre brännbarhetsgränsen säger man att blandningen är för fet. Om blandningen är "perfekt", det vill säga idealisk för förbränning, säger man att blandningen är stökiometrisk.

Stökiometri

Ett tillstånd där det finns precis så mycket syre som behövs för att förbränna bränslet fullständigt. Kan även kallas ideal blandning.

Figur 38. Mager, fet och stökiometrisk blandning



Brännbarhetsområdets storlek beror på både ämne och temperatur, och varierar avsevärt beroende på vilket ämne som är aktuellt.

Vid högre temperatur sjunker den undre brännbarhetsgränsen, och brännbarhetsområdet blir större. Mindre energi krävs då för att gasen ska kunna antändas och brinna med flamma. Detta innebär också att en mindre mängd bränsle behövs för att förbränningen ska kunna fortgå vid undre brännbarhetsgränsen.

De flesta kolväten, det vill säga olika kemiska föreningar där kol och väte är huvudingredienser, har en undre brännbarhetsgräns runt 1–5 volymprocent och en övre på 5–20 volymprocent. För de allra flesta ligger den undre gränsen på cirka 5 volymprocent, vilket motsvarar cirka 50 g/m^3 . Den övre gränsen varierar däremot kraftigt beroende på vilket kolväte är.

Det finns andra ämnen med ett mycket större brännbarhetsområde. Vätgas och kolmonoxid är de tydligaste exemplen – cirka 4–77 volymprocent respektive cirka 11–74 volymprocent. Även kolväten med kemiskt bundet syre får ett större brännbarhetsområde än kolväten som inte har kemiskt bundet syre.

Brännbarhetsområde

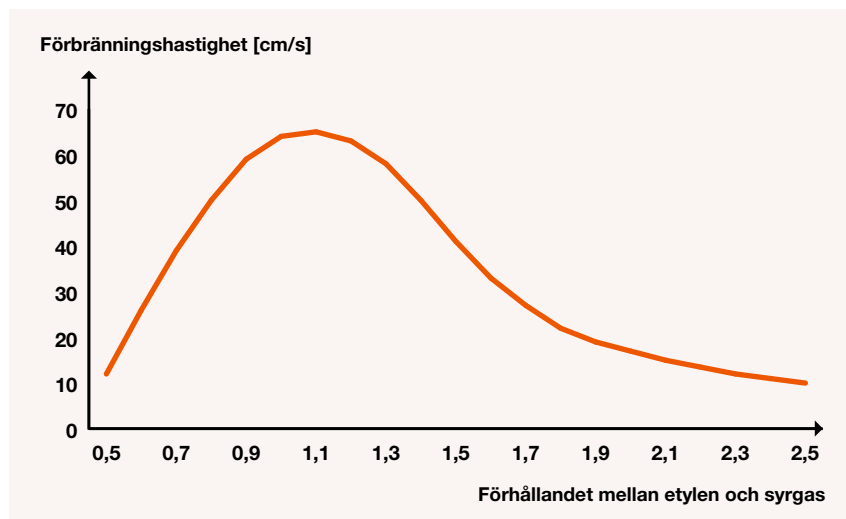
Den koncentration vid vilken en gas- och luftblandning går att antända. Brännbarhetsområdet begränsas av gasens nedre respektive övre brännbarhetsgräns.

Principerna för brännbarhetsgränser gäller även gasblandningar. Men det är svårare att ange brännbarhetsområdet för gasblandningar, eftersom det varierar beroende på blandningsförhållandet. Man kan även tala om brännbarhetsgränser även för blandningar av damm och luft.

Även brandgaser har ett brännbarhetsområde. Men för brandgaser är det i praktiken omöjligt att ange gränsvärden för brännbarhetsområdet, eftersom brandgaser i de allra flesta fall består av såväl många olika ämnen som okända koncentrationer av dessa ämnen. Även de partiklar som normalt finns i brandgaser påverkar brännbarhetsområdet. Dessutom varierar temperaturen stort i de brandgaser som bildas. I vissa fall blir brännbarhetsområdet större, i andra fall mindre, beroende på till

exempel om partiklarna är brännbara eller inte, vilken storlek dom har och deras mängd. Det finns inte heller några praktiska möjligheter att mäta brandgasernas innehåll i händelse av brand i byggnad. Brandgasernas kan också ha olika sammansättning i olika delar av en byggnad.

Figur 39. Förbränningshastigheten förändras med koncentrationen brännbar gas



Stökiometriska blandningar ger högst förbränningshastighet, det vill säga att de kemiska reaktionerna sker snabbast när blandningen är ideal.

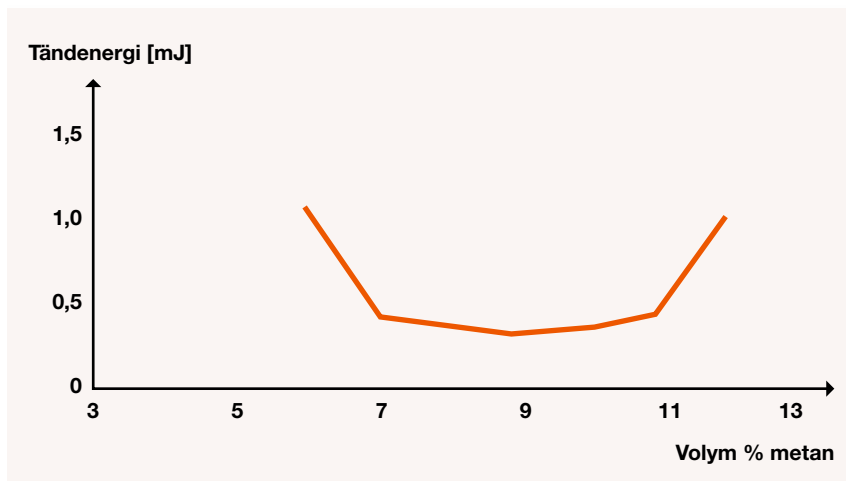
Tändenergi

Förutom att det krävs en blandning av brännbara gaser och luft som ligger inom brännbarhetsområdet, krävs det också en tändkälla som kan tillföra en viss minsta mängd energi. Den energi som krävs för antändning kallas tändenergi eller aktiveringsenergi.

Vid stökiometri är tändenergin som lägst, eftersom det då inte finns något överskott av luft eller bränsle som behöver värmas upp. Vid den undre brännbarhetsgränsen går energin också till att värma upp överskottsluft. Vid den övre brännbarhetsgränsen går energin även åt till att värma upp överskottsbränsle. Nära brännbarhetsgränserna ökar därför tändenergin.

I vissa fall kan det räcka med en liten gnista från till exempel en strömbrytare för att antända en gasblandning. Men för att antända brandgaser krävs det normalt mer tändenergi än så.

Figur 40. Tändenergin för en gasblandning är som lägst vid stökiometrisk blandning



En annan typ av antändning är spontan antändning, även kallad självantändning. Då antänds det brännbara ämnet, till exempel en gasblandning, utan att det tillförs värme från till exempel en gnista eller låga. För ett och samma ämne är självantändningstemperaturen alltid högre än antändningstemperaturen vid påtvingad antändning med till exempel en låga. Självantändning sker normalt vid temperaturer mellan 500 och 600 °C. Men det är sällan gaserna självantänder i verkliga situationer, eftersom det kräver rätt blandningsförhållande.

När det gäller antändning av brandgaser kan det i praktiska sammanhang ofta vara svårt att avgöra om brandgaserna antänder spontant eller genom en tändkälla. Det kan till exempel vara fallet om vi öppnar en dörr till ett brandrum och att det strömmar ut en stor mängd brandgaser som antänds. Det kan då se ut som att brandgaserna antänder spontant på grund av höga temperaturer och kontakt med luftens syre, men det kan lika gärna vara så att det finns en tändkälla precis innanför dörren.

Massavbrinning

Vid förbränning och brand sker en mängd kemiska reaktioner. Den kemiskt bundna energin i bränslet omvandlas till värme och ljus samt till annan kemiskt bunden energi hos förbränningsprodukterna. Som en konsekvens av dessa kemiska reaktioner omvandlas bränslet så att en del avgår som förbränningsprodukter i gasform medan en del blir en återstående rest. Massan hos bränslet förändras vid förbränning, och en del av bränslets massa omvandlas (genom förångning eller pyrolys) till gas som helt eller delvis förbränns.

Massavbrinning

Den hastighet med vilken ett ämne förångas eller pyrolys sker från ett material. Massavbrinning anges i $\text{g/m}^2\text{s}$.

Denna förändring hos bränslets massa vid brand kallas massavbrinning. Det kan anges som massflöde per tidsenhet, normalt i kilogram per sekund, kg/s , eller gram per sekund, g/s . Oftast anges det dock som massflöde per ytenhet och per tidsenhet: kilogram eller gram per kvadratmeter och sekund, $\text{kg/m}^2\text{s}$ eller $\text{g/m}^2\text{s}$. I synnerhet för brännbara vätskor kan massavbrinningen antas vara en materialkonstant, även om kärlets storlek och form också påverkar. En materialkonstant beskriver en egenskap som är specifik för olika material. Det finns mycket forskning om detta, och vid beräkningar går det att kompensera för kärlets storlek och form. Men ju större kärlet är, desto mindre betydelse har det för massavbrinningen.

Ibland skiljer man även mellan förbränningshastighet och massavbrinning, eftersom det normalt inte är allt bränsle som deltar i förbränningen även om massan omvandlas till exempel från fast form till gasform. För bränslen som brinner med obegränsad tillgång till luft är dock massavbrinning och förbränningshastighet synonyma.

Tabell 11. Massavbrinning för några olika typer av vätskor och material

Material	Massavbrinning [g/m ² s]
Etanol	15
Metanol	17
Polypropylen	18
Polystyren	34
Fotogen	39
Aceton	41
Bensin	55

Massavbrinningens storlek, det vill säga hur fort ett bränsle minskar i vikt vid förbränning, beror delvis på materialet. Det är på så vis en materialegenskap. Men massavbrinningen beror även på omgivande faktorer. Om branden är i ett rum, kommer återstrålningen från tak- och väggytor att öka massavbrinningen. Även antalet öppningar i rummet och storleken på dessa kan påverka massavbrinningen. Färre eller mindre öppningar medför dels att luftflödet till branden minskar, dels att en större andel av den utvecklade energin stannar kvar i rummet, vilket medför att massavbrinningen kan öka. En brand i ett rum är således ett tämligen komplext fenomen, där såväl bränslets egenskaper som rummets geometri och övriga egenskaper påverkar. Värmeupptagningsförmågan hos ytorna i rummet är ett exempel på sådana egenskaper som kan påverka branden.

Effektutveckling

Den mängd energi som frigörs under ett tidsintervall kallas effektutveckling eller värmeeffekt. Effektutveckling uttrycks i joule per sekund (J/s) eller watt (W). Detta känner vi igen till exempel från belysning där en lampas "storlek" beskrivs i watt. Observera att ljusstyrka mäts i candel och ljusflöde i lumen. Då handlar det om hur mycket energi per tidsenhet (joule per sekund) som belysningen förbrukar. Alla som någon gång köpt en lampa till bostaden känner säkert till ungefär hur mycket belysning en lampa märkt med 20 W ger. I brandsammanhang är 1 joule per sekund (1 W) mycket lite frigjord energi. Vi brukar därför i stället ange effekt i tusental eller rent av miljontal, det vill säga i kilowatt (kW) eller megawatt (MW). Tusen joule per sekund är således detsamma som 1 kW (tusen watt), och en miljon joule per sekund är på motsvarande sätt 1 MW (en miljon watt).

Effektutveckling

Den värmeutveckling som sker när ett material förbränns. Den utvecklade värmen mäts i watt (J/s). Effektutveckling betecknas med $\dot{q}$.

Hur stor effekt en brand avger benämns brandeffekt. Det är svårt att säga exakt hur stor brandeffekten är vid en brand, eftersom de flesta bränder inte är konstanta utan förändras i storlek med tiden. Men det går att ange några enkla riktvärden, så att man får en uppfattning om hur stor brandeffekt en viss storlek på branden utvecklar. Observera att när man anger effektutveckling för brand i ett föremål på det här sättet, är det normalt maximal effektutveckling som avses. För vätskor är det framför allt ytans storlek som avgör brandens effektutveckling. Ju större vätskeytan är, desto större blir effektutvecklingen. Om vätskans yta är konstant är brandens effektutveckling också konstant. Även för fasta material kommer ytans storlek att påverka effektutvecklingen.

Tabell 12. Exempel på maximal effektutveckling hos olika material och föremål

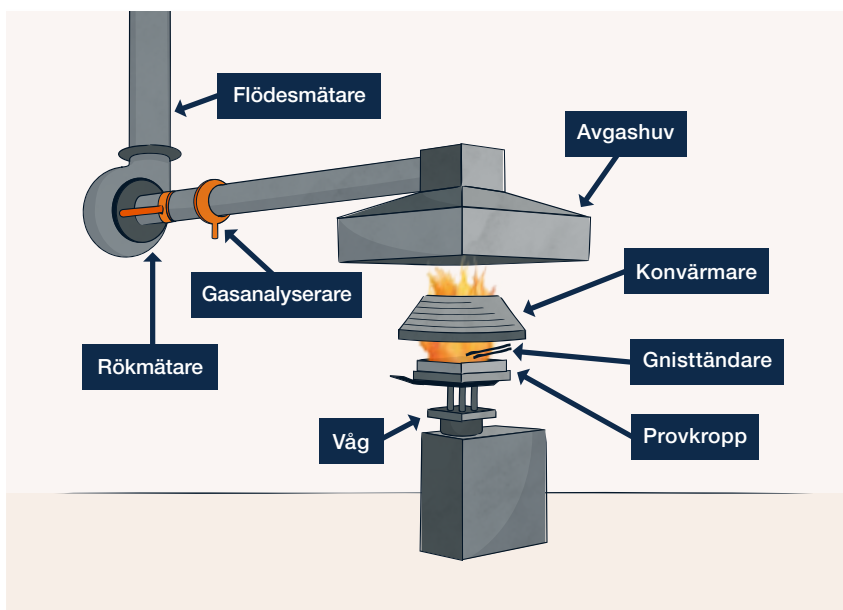
Föremål/bränsle	Maximal effektutveckling
LED-lampa	1–10 W
Glödlampa	40–100 W
Papperskorg	40–100 kW
Stol med sittdyna	200–500 kW
Fåtölj med stoppning	500–1 500 kW
Soffa med stoppning	1 000–3 000 kW
1 m ² bensenbrand	2,5 MW
3 m hög stapel med träpallar	7 MW
2 m ² plastmuggar, 4,9 m hög	30–40 MW

Den effektutveckling som kan anges för vissa typer av föremål gäller under förutsättning att föremålet brinner fritt med fri tillgång till luft. Om föremålet brinner inne i ett rum, påverkas effektutvecklingen även av bland annat placeringen i rummet, rummets storlek, om det finns andra föremål i rummet samt, inte minst, hur många och stora öppningar det finns till rummet.

Effektutvecklingen från en brand är alltid svårbedömd, och vi kan inte heller mäta den vid en räddningsinsats. Men om man någotsånär kan uppskatta hur stor effektutvecklingen är, kan man i vissa fall också göra en grov bedömning av till exempel hur mycket släckvatten som behövs eller hur stora frånluftsöppningar som behövs vid brandgasventilation. Effektutvecklingen är också ett av de viktigaste ingångsvärdena när man dimensionerar brandskyddet i byggnader.

Effektutvecklingen kan vid brandtester mätas antingen genom att man mäter massavbrinningen med en våg eller genom att mäta hur mycket syre som branden förbrukat. Den energi som utvecklas per kilo förbrukat syre är ungefär densamma för de flesta bränslen, 13 MJ/kg.

Figur 41. Mätning av effektutveckling kan göras i laboratorium med hjälp av en så kallad konkalorimeter



Den energi som utvecklas per kilo syrgas är ungefär densamma för de flesta bränslen, cirka 13 MJ/kg. I konkalorimetern samlas brandgaserna upp, syrgashalten och mängden brandgaser mäts. Ur detta kan effektutvecklingen beräknas. Även tid till antändning samt massavbrinning mäts. Dessutom kan man mäta den mängd sot som bildas samt andra typer av gaser, som till exempel koldioxid.

Temperatur

Dom allra flesta av oss är vana vid att mäta temperatur, till exempel så att vi vet hur vi ska klä oss när vi går ut. Men temperatur är mer komplext än det verkar vid en första anblick. Värme och temperatur får inte förväxlas. Skillnaden är att värme är energimängd, medan temperatur är ett tillstånd, ett mått på uppvärmning eller en nivå uppnådd genom uppvärmning. Dessutom kan upplevd temperatur skilja sig avsevärt från faktiskt temperatur, eftersom bland annat vind och luftfuktighet påverkar stort. Till exempel så kan en bastu där temperaturen är 80 °C och luftfuktigheten 40 procent upplevas som mycket varmare än en bastu där temperaturen är 100 °C och luftfuktigheten endast 10 procent.

Temperatur är ett mått på hur mycket och hur snabbt något värms upp eller kyls ner, det vill säga i princip ett mått på atomernas och molekylernas rörelsehastighet. När värmeenergin tillförs ett ämne, ökar atomernas och molekylernas rörelsehastighet och temperaturen stiger (temperatur är ju ett mått på uppvärmning eller på en nivå uppnådd genom uppvärmning). Om värmen av någon anledning förs bort, minskar rörelsehastigheten och temperaturen sjunker.

Lägsta möjliga temperatur innebär att ingen rörelse förkommer hos molekylerna. Detta sker vid $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (absoluta nollpunkten), som är utgångsläget för den absoluta temperaturskalan som anges i kelvin (K). Skaldelar i kelvinskalen är lika stora som i celsiusskalan, och en grads skillnad i Celcius är lika stor som en grads skillnad i kelvin. Omvandling från $^{\circ}\text{C}$ till kelvin blir då $T_{\text{kelvin}} = T_{\text{Celsius}} + 273$.

I England och USA används temperaturskalan enligt Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$). Varje $^{\circ}\text{F}$ är ungefär två gånger $^{\circ}\text{C}$. Fryspunkten $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 32\text{ }^{\circ}\text{F}$ och kokpunkten $100\text{ }^{\circ}\text{C} = 212\text{ }^{\circ}\text{F}$. En omvandling kan göras med dessa formler:

$$^{\circ}\text{F} = 1,8 * ^{\circ}\text{C} + 32$$

$$^{\circ}\text{C} = 0,55 * ^{\circ}\text{F} - 32$$

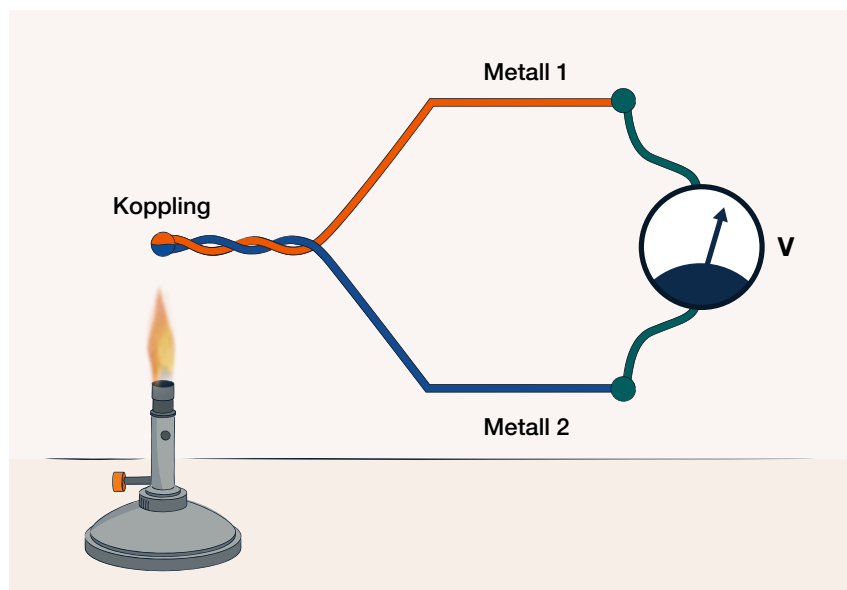
Tabell 13. Omvandling mellan olika mått på temperatur

	Kelvin, K	Celsius, $^{\circ}\text{C}$	Fahrenheit, $^{\circ}\text{F}$
Absoluta nollpunkten	0	$-273,15$	$-459,67$
Vattnets fryspunkt	273,15	0	32
Människans kroppstemperatur	310,15	37	98,6
Vattnets kokpunkt	373,15	100	212

Mätning av temperatur baseras på termodynamikens nollte huvudsats. Den säger att två kroppar i termisk kontakt med varandra antar samma temperatur genom att värmeenergi i den varmare kroppen flödar till den kallare kroppen.

Att mäta temperatur kan uppfattas som lätt, men det kan vara svårt att veta vad man mätt eller att få mätningar som är relevanta. Om man till exempel använder en vanlig termometer för att mäta lufttemperaturen i ett rum, så är det egentligen inte luftens temperatur man mäter, utan termometerns. Även en termometer har de egenskaper som beskrivits tidigare, såsom densitet, värmeledningsförmåga och värmekapacitet. Dessutom påverkar värmeövergångstalet, om det är naturlig eller påtvingad konvektion och om värmeöverföringen sker genom ledning mellan två material. För en vanlig utomhustermometer har detta ytterst liten betydelse. Men för mätningar i brandsammanhang, där temperaturen kan variera flera hundra grader under några få sekunder, har mätutrustningen mycket stor inverkan på noggrannheten i resultatet.

Figur 42. Vid mätning av temperatur i brandsammanhang används så kallade termoelement



Ett termoelement består av två sammankopplade trådar av olika metallegeringar. I kopplingen skapas en liten elektromotorisk kraft, en spänning, som är temperaturberoende. Detta kallas Seebeckeffekten.

Kapitel 6

Brand och flammor

Förbränning av de flesta gaser, vätskor och fasta ämnen sker genom flamförbränning i gasfas. Några fasta material, till exempel kol, kan förbrännas i fast fas i luft. I ett fåtal ämnen, särskilt explosivämnen, finns redan bränsle och oxidator tillsammans. Sådana ämnen förbränns helt i fast fas.

En förbränningsprocess kan delas upp i flamförbränning och glödbbrand. Flamförbränning (som också kallas homogen oxidation eller homogen förbränning) sker när både bränsle och oxidator är i gasfas. I samband med de flesta bränder är luftens syre oxidator medan pyrolysgaser är bränsle. Ett exempel på en sådan förbränning är stearinljuset. Förgasat stearin från ljuset bryts ner och brinner med en lysande flamma, där bränslet blandas med luftens syre.

Glödbbrand (som även kan kallas heterogen oxidation eller heterogen förbränning) sker vid ytan av ett bränsle i fast fas. Det vanligaste exemplet är grillkol, som är i fast fas och reagerar med luftens syre, som är i gasfas. Resultatet blir i detta exempel en glödbädd som vi kan grilla på. Tricket är då att åstadkomma en så bra glödbbrand som möjligt. Vid bränder i byggnader och i upplag av olika slag kan glödbränder vara svåra att hantera, inte minst om dom är dolda inne i väggar eller bjälklag.

Antändning

Det första synbara tecknet på förbränning är antändning. Det brännbara ämnet, till exempel en gasblandning, antänds av en källa, till exempel en tändsticka eller en gnista. Värmen tillförs då utifrån. I sådana fall är det fråga om så kallad påtvingad antändning, det vill säga antändning med liten flamma eller motsvarande.

För att antändning ska kunna ske, måste bränslet värmas upp så att det antingen börjar pyrolysera (fasta material) eller förgasas (vätskor). Därefter måste bränslet även nå sin antändningstemperatur. Antändning av ett material beror bland annat på antändningskällan, eftersom olika antändningskällor kan ha olika temperatur och tändenergi och därmed olika egenskaper med avseende på värmeöverföring. För ett brännbart material gäller att ju högre värmeupptagningsförmågan är, desto längre tid tar det att värma upp ytan. Detta påverkar tiden till antändning. Ju fortare ytan värms upp, desto fortare kan materialet nå sin antändningstemperatur och antändas. Om värmen snabbt leds vidare in i materialet och bort från ytan, på grund av hög värmeupptagningsförmåga, så fördröjs uppvärmningen och därmed antändningen av materialet. Dessutom krävs det en viss minsta mängd pyrolysgaser eller förgasad vätska för att antändning ska kunna ske.

Påtvingad antändning

Påtvingad antändning är när antändning av ett material sker med hjälp av en gnista eller en låga. Antändningstemperaturen vid påtvingad antändning kallas även för ämnets flampunkt. Flampunkten nämns oftast i samband med brännbara vätskor, som är inordnade i klasser efter sin flampunkt. Vätskor med låg flampunkt antänder vid relativt låg temperatur och anses därför som mer brandfarliga än vätskor som antänder vid högre temperatur. Dom måste först värmas upp till sin antändningstemperatur. Detta innebär att vätskor med hög flampunkt har längre tid till antändning och därmed är mindre brandfarliga, sett till antändlighet. Observera att det kan finnas andra faktorer som påverkar eller som kan beskriva en brännbar vätskas brandfarlighet, såsom vätskans ångtryck. Ett lågt ångtryck medför att vätskan förgasas vid låg temperatur, medan ett högt ångtryck kräver en högre temperatur för att vätskan ska förgasas.

För de flesta fasta material ligger antändningstemperaturen vid påtvingad antändning mellan 300 °C och 500 °C. Det är konsekvensen av att de fasta materialens komplexa molekyler oftast först måste sönderfalla till enklare beståndsdelar (pyrolysis) innan dom kan antändas.

Oxidationen i gasblandningen sker vid ungefär samma temperatur, men att värma upp materialet till denna temperatur tar olika lång tid

för olika material. Det innebär att vi inte kan bedöma farligheten hos fasta material efter deras flampunkt utan efter tid till antändning, givet att materialet utsätts för en viss mängd värme.

Självantändning

En annan typ av antändning är spontan antändning eller självantändning. Då antänds det brännbara materialet, till exempel en gasblandning, genom en spontan inre värmeavgivande (exotermisk) kemisk eller biologisk process.

Enkla exempel där självantändning kan ske är tygtrasor indränkta i rå linolja och stora högar med träflis.

Självantändning är egentligen en rad kemiska kedjereaktioner. Eftersom hastigheten på dessa kemiska reaktioner ökar med stigande temperatur, blir den värme som utvecklas vid förbränning och som tillförs eller stannar kvar i materialet viktig för de fortsatta kemiska reaktionerna.

Om reaktionerna sker med måttlig hastighet, utvecklas det en måttlig mängd värme. Om denna värme hela tiden överförs till omgivningen, kan förbränningen inte accelerera (ske snabbare och snabbare) och leda till självantändning. Om däremot värmen av någon anledning inte kan överföras till omgivningen ökar temperaturen till självantändningstemperatur och antändning sker. Det kan till exempel ske om reaktionerna börjar mitt i ett torvupplag, där den omgivande torven är ett bra isoleringsmaterial. Förbränningen kan i sådana fall fortskrida. Denna typ av självantändning uppstår oftast när finfördelat eller pulveriserat organiskt material som torv, sågspån, kolpulver eller liknande lagras i stora mängder och där biologiska processer gör att värme utvecklas. Ju större lagringsvolymen är, desto mer värme kan stanna kvar i materialet, och då ökar risken för självantändning.

Känsligheten för antändning (lättantändlighet) hos olika brännbara ämnen och material kännetecknas av den lägsta temperatur vid vilken materialet kan antända. För ett och samma material är självantändningstemperaturen alltid högre än antändningstemperaturen vid påtvingad antändning. Skillnaden kan vara flera hundra grader.

Flamförbränning

Det som ofta är kännetecknande för brand är de flammor som uppstår. Det är ju flammorna vi ser av branden. Vid brand (eller förbränning) utvecklas förutom värme även ljus, vilket vi då uppfattar som flammorna från branden.



Det som ofta är kännetecknande för brand är de flammor som uppstår.
Foto: Stefan Svensson.

Flammor kan beskrivas som den plats där det sker en reaktion mellan bränsle och luft. Denna plats brukar avge värmestrålning, strålning i form av synligt ljus och även strålning med våglängder det mänskliga ögat inte kan se, såsom ultraviolett och framför allt infraröd strålning. Det gula eller orange-röda ljuset från flammor beror i stor utsträckning på de sotpartiklar som bildas och glöder i flammen. Men det finns ämnen som inte ger upphov till gula eller orange-röda flammor, där det vanligaste exemplet är vissa alkoholer. Förbränningen av alkohol är väldigt effektiv, vilket gör att det endast bildas ett mycket litet antal sotpartiklar. Vi får då blåa eller nästan osynliga flammor i stället för gula. Strålningen från en sådan brand kan fortfarande vara hög, men inte i det synliga området.

Adiabatisk flamtemperatur

Den temperatur som blir resultatet av förbränning under idealiska förhållanden där ingen värmeenergi eller mekanisk energi utväxlas med omgivningen. Det är den teoretiskt högsta möjliga temperaturen.

Flamförbränning kan bara ske om det finns en viss mängd syre tillgängligt. Luften innehåller normalt cirka 21 procent syre. Om syrgashalten sjunker till cirka 10–12 procent, kan en flamförbränning inte längre ske (vid normalt lufttryck och cirka 20 °C). Om syrgashalten sänks från 21 procent, blir lågorna helt enkelt mindre och mindre tills dom upphör helt vid cirka 10–12 procent syrgas. Glödbland kan dock fortsätta vid lägre syrgashalter än så.

Det finns två olika typer av flammor, förblandade flammor och diffusionsflammor. Dessa har något olika egenskaper.

Förblandade flammor

Förblandade flammor uppstår när gasformigt bränsle och luft är blandade med en koncentration innanför brännbarhetsområdet. Det finns således redan ett förhållande mellan mängden bränsle och syre som är tillräckligt för att förbränning ska kunna ske. Ett vanligt exempel på en förblandad flamma är i ett svetsmunstycke. För att svetsa med gas används till exempel acetylen och syre, som då finns i två separata behållare. Dessa båda gaser blandas i svetsmunstycket och när denna gasblandning antänds uppstår en förblandad flamma. Genom att reglera förhållandet mellan mängden syre och brännbar gas kan temperaturen på flammen justeras, inom vissa gränser.

Förblandad flamma

En flamma som uppstår när gasformigt bränsle och luft är väl blandade med varandra innan antändning sker.



Förblandad flamma. Foto: Stefan Svensson.

Även vid brand i byggnad kan förblandade flammor uppstå, men detta kräver särskilda förutsättningar och är relativt ovanligt.

Diffusionsflammar

Diffusionsflammar uppstår när förbränningen sker i samband med att bränsle och luft möts. Bränsle och luft är då inte blandade innan förbränningen sker. Blandningen sker i stället genom molekyulär diffusion i samband med själva förbränningen. Detta är en relativt långsam process, även om den påskyndas av hög temperatur.

Ett bra exempel på en diffusionsflamma är när ett stearinljus brinner. Värmen från flaman gör att stearinet smälter för att därefter sugas upp i veken. Temperaturen längre upp i veken är högre än längre ner, vilket gör att stearinet förgasas samtidigt som de långa kolkedjor som stearinet består av bryts ner till enklare beståndsdelar i mitten av stearinljusets flamma. Tittar man noga på ett stearinljus kan man se ett mörkt flamfritt område närmast veken. Här är mängden bränslegas för hög för att det ska kunna brinna. I detta område bryts även bränslegasen (stearinet) ner så att förbränningen lättare kan ske.



Ett stearinljus är ett exempel på en diffusionsflamma. Foto: Stefan Svensson.

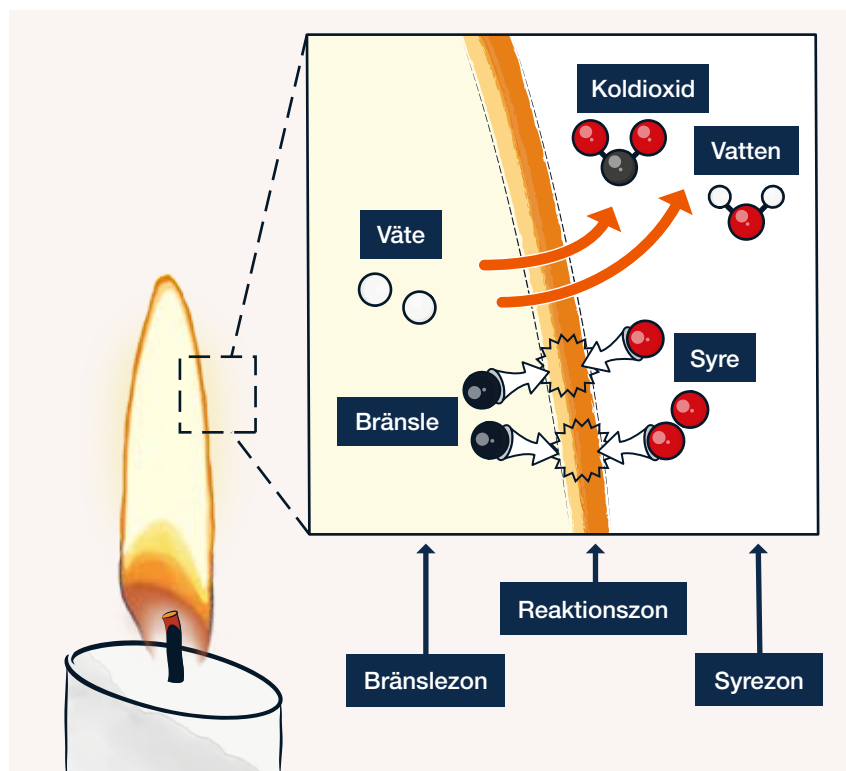
Bränslemolekylerna, bestående av det förgasade och delvis nedbrutna stearinet, strömmar därefter till den plats där själva förbränningen sker. Den platsen kallas förbränningszonen eller reaktionsskiktet. Det är där bränslemolekylerna blandas med syremolekyler från den omgivande luften. Det transportförlopp där två eller flera gaser blandas på det här sättet kallas diffusion. Gaserna diffunderar in i varandra.

Diffusionsflamma

Den flamma som uppstår om bränslet och luften inte är blandade med varandra när antändning sker. Blandning sker i stället i samband med själva förbränningen. Bränsle och luft diffunderar in i varandra, och ett brännbart område uppstår i gränsskiktet mellan dem. Flamman från ett stearinljus är ett vanligt exempel.

En exoterm kemisk reaktion sker när bränslet och syret har blandats i en viss proportion till varandra och förbränns. 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.

Figur 43. I en diffusionsflamma blandas bränslegas och syre i samband med själva reaktionen



Diffusion är en naturlig process där partiklar förflyttar sig från ett område med hög koncentration till ett område med låg koncentration tills dom är jämnt fördelade. I en diffusionsflamma diffunderar bränslemolekyler från bränslezonen, som har hög koncentration av bränslemolekyler, och syrgasmolekyler från syrezonen, som har hög koncentration av syremolekyler, in i reaktionszonen där förbränning sker.

Flammans synliga lysande del består av värmestrålning från glödande sotpartiklar. Vid oxidationen i reaktionszonen bildas främst koldioxid, kolmonoxid, vatten och värme (i exemplet med stearin). Den inre delen av flaman, som är fylld med bränslemolekyler, innehåller för lite syre för att förbränning ska kunna äga rum där. Förbränningen sker i stället i utkanten av detta område, där bränsle och syre diffunderar in i varandra.

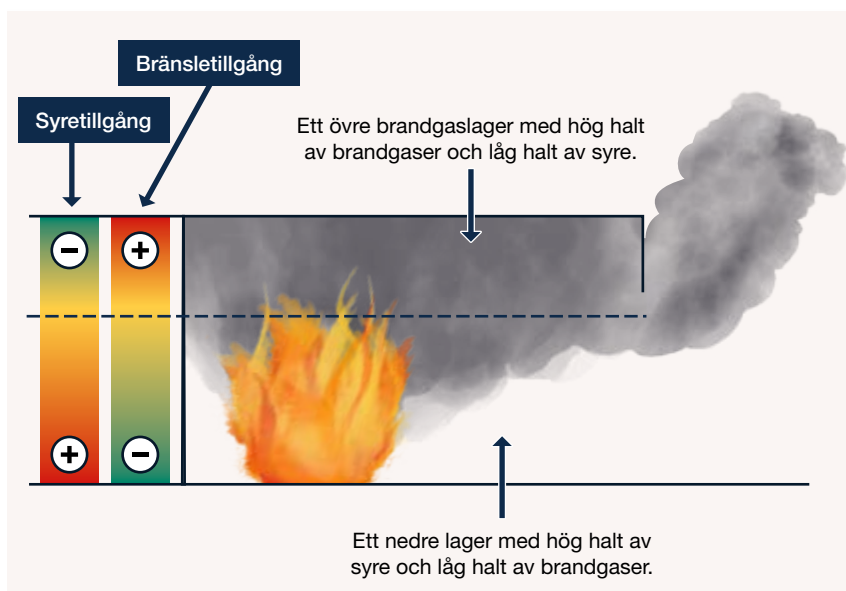
Förbränningseffektiviteten är lägre hos en diffusionsflamma än hos en motsvarande förblandad flamma. Att förbränningen inte är fullständig resulterar i att det bildas sotpartiklar. Dessa sotpartiklar har samma temperatur som flaman, och dom sänder ut elektromagnetisk

strålning bland annat i det synliga ljusspektrumet: flammen blir gul/orange. Det kan tilläggas att det finns diffusionsflammar som inte sotar så mycket, till exempel flammorna vid förbränning av vissa alkoholer. Dom liknar därför förblandade flammor till utseendet.

Diffusionsflammen uppstår i gränsskiktet mellan bränsle och luft, där blandningsförhållandet är "lagom". Närmast bränsleytan är bränslekoncentrationen 100 procent, och vid sidan om flammen är den 0 procent. Man kan därför inte använda brännbarhetsgränser för att beskriva en diffusionsflamma.

Vid bränder i byggnader är det nästan alltid fråga om diffusionsflammar. De brandgaser som vid brand ansamlas i ett rum har i många fall olika sammansättningar eller koncentrationer av ämnen i olika delar av rummet. Detta kan till exempel bero på att det skett en kraftig pyrolys av takmaterialet eller att föremål i rummet pyrolyserar. Det beror givetvis även på att varma brandgaser stiger uppåt. Syrehalten blir då mycket låg precis under taket. Koncentrationen av bränsle blir då inte heller jämnt fördelad i hela rummet. Syret måste diffundera in i bränslet för att det ska kunna uppstå förbränning, vilket normalt sker på undersidan av brandgaserna.

Figur 44. Koncentrationen av bränslegas i ett brandrum



Diffusionsflammar utmärker sig genom att förbränningen sker med ungefär samma hastighet som när bränslegas och syre från luften diffunderar in i varandra, eftersom förbränningen i princip sker i samband med att gaserna blandas. En diffusionsflamma är resultatet av en förbränningsprocess där bränslemolekyler blandas med syre genom inblandning som kan vara laminär (jämsides) eller turbulent (virvlande). Det uppstår då så kallade laminära respektive turbulenta diffusionsflammar. Turbulens gör att blandningsprocessen påskyndas, och flammorna får då en något annorlunda karaktär.

Laminära diffusionsflammar

När ett stearinljus brinner uppstår en typisk laminär 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. Vi kallar sådana flammar som uppstår då för laminära diffusionsflammar.



Laminär diffusionsflamma. Foto: Stefan Svensson.

Vid brand i byggnad förekommer laminära diffusionsflammar främst vid initialbranden och eventuellt även under det tidiga brandförloppet. Branden är då liten, hastigheten på pyrolysgaser eller det förångade bränslet är låg, och även hastigheten på luften som strömmar in till branden är låg. Senare i brandförloppet är det ovanligt med laminära diffusionsflammar.

Turbulenta diffusionsflammar

Om hastigheten på pyrolysgaserna eller det förångade bränslet ökar, övergår flammorna så småningom från att vara laminära till att bli turbulenta. När hastigheten hos bränslegasen 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 och oregelbunden. Även om turbulens gör att förbränningshastigheten ökar, är förbränningshastigheten hos en turbulent diffusionsflamma mycket lägre än hos en förblandad flamma.

Turbulenta diffusionsflammar är det vi normalt ser vid bränder i byggnader.



Turbulent diffusionsflamma. Foto: Stefan Svensson.

Turbulenta flammor karakteriseras av

- oregelbunden virvelrörelse
- snabb diffusion
- tunt och oregelbundet reaktionsskikt.

Turbulenta flammor kännetecknas ofta av ljud och snabba förändringar i utseendet, det vill säga att turbulenta flammor ”fladdrar”, till skillnad från laminära.

Glödbrand

En förbränning i form av glödbrand sker vid ytan av ett bränsle, där bränslet är i fast fas och oxidatorn i gasfas. Det är således endast i fasta material som glödbrand kan ske. Vid en rumsbrand är det luftens syre som är oxidatorn.

Glödbrand kan även förekomma inuti ett poröst material där det finns en begränsad tillgång till syre, men tillräcklig för att oxidationen (förbränningen) ska kunna fortsätta. Inuti ett sådant poröst material kan värmen även stanna kvar och underhålla pyrolysisprocessen, till dess att en eventuell självantändning sker eller att förbränningen upphör.



Glödbrand. Foto: Stefan Svensson.

En glöddbrand kan producera mycket pyrolysisprodukter som inte oxiderar eller medverkar i förbränningsprocessen direkt, eller där oxidationen är ofullständig. Det händer i synnerhet inuti porösa material. Dessa produkter kan samlas i rummets övre del utan att förbrännas. Eftersom glöddbranden sker med begränsad lufttillgång bildas det stora mängder kolmonoxid. Om en glöddbrand får fortgå, kan pyrolysgaserna så småningom antändas. Då ökar risken för spridning av branden till angränsande utrymmen. Sådana problem kan till exempel uppstå i samband med eftersläckning. Kvarvarande glöddbränder producerar pyrolysgaser som samlas i dolda utrymmen. Dessa kan antändas om mängden ofullständigt förbrända pyrolysgaser blir tillräcklig och det finns en antändningskälla. Om dessa ofullständigt förbrända pyrolysgaser dessutom blandas väl med luft innan antändning kan det uppstå en så kallad brandgasexplosion.

Glöddbränder är vanliga vid brand i stoppade möbler, som madrasser, fåtöljer och soffor. Branden uppstår till exempel genom att tygstycken av bomull eller viskos på ett underlag av polyuretanstoppning börjar glödförbränna, kanske på grund av en tappad cigarett eller på grund av strålningsvärme från ett annat brinnande föremål.

Glöddbränder kan också uppstå inne i konstruktioner, till exempel i isoleringsmaterial eller i trämaterial, och är då mycket svåra att komma åt. En sådan miljö blir på grund av förbränningen fort syrefattig, så att ingen låga kan uppstå. De brännbara gaserna transporteras i stället bort och kan antändas på andra ställen. En glöddbrand brinner mycket långsamt och kan därför pågå under lång tid. Det finns många fall där glöddbränder pågått under lång tid och så småningom antänts och orsakat en totalskada på byggnaden, på grund av en omfattande spridning och antändning av brandgaser. Glöddbränder kan helt enkelt vara svåra att hantera.



Glödbränder inne i konstruktioner är svåra att upptäcka. När till exempel en vägg bryts upp för att komma åt glödbrand, finns det risk att flamförbränning uppstår eller att branden sprids eftersom luft tillförs. Foto: Stefan Svensson.

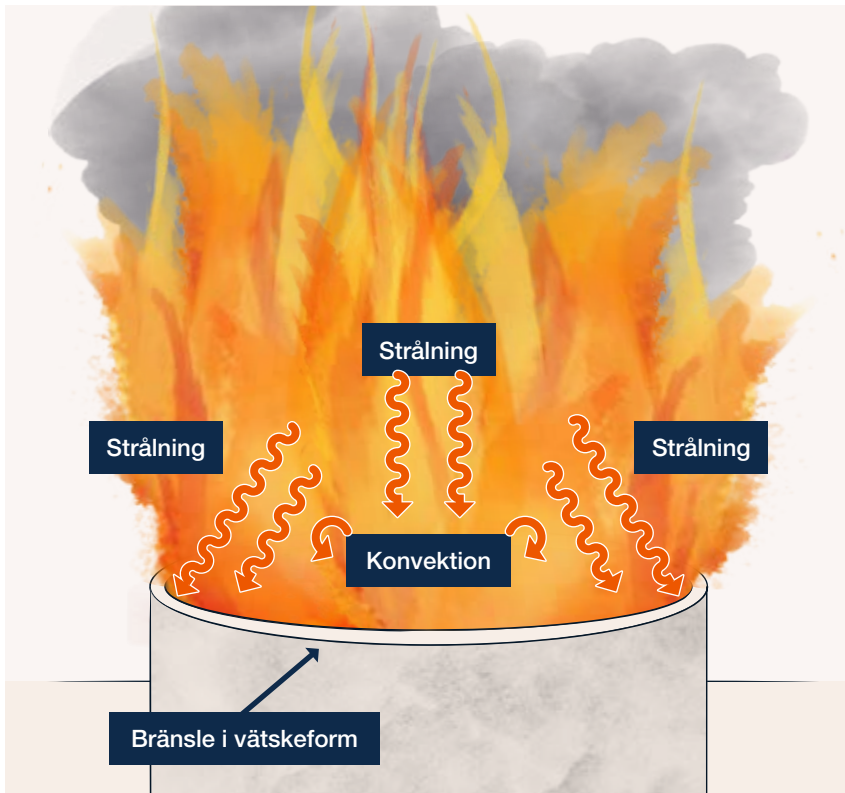
Det är relativt få ämnen som brinner med glöd, men dessa ämnen är vanliga. Grillkol är ett exempel. Förutom kol gäller det även ämnen som frigör kol vid förbränning, som trä. I byggnader finns ofta en stor mängd trä, i såväl inredning som byggnadsmaterial. Därför uppstår ofta glödbränder, som kan orsaka stora problem vid räddningsinsatser. Glödbrand kan även uppstå i en del metaller, bland annat i finfördelat järn eller stålull, men detta är ovanligt vid bränder i byggnader.

Flamspridning

Flamspridning är en viktig process vid brand, i synnerhet när en brand i ett föremål utvecklas till en rumsbrand. Flamspridning kan ske på ytan av material men också i de förbränningsprodukter (brandgaser) som bildas vid brand. Flamspridning i förbränningsprodukter kan ske långt från den plats där pyrolysgaserna bildats.

Flamspridning på material kan ses som en serie kontinuerliga antändningshändelser, där materialet antänds efterhand. Eftersom antändningen är starkt beroende av den tidigare beskrivna värmeupptagningsförmågan (kpc) för materialet, blir flamspridningen också beroende av materialegenskaper. Flammorna sprids genom att värme återförs från branden tillbaka till bränslet, såväl det bränsle som redan brinner som det som ännu ej brinner. Denna värmetransport sker främst genom konvektion och värmestrålning. Vilket som dominerar beror bland annat på brandens storlek och mängden brandgaser vid en viss tidpunkt. Värme kan även transporteras in i ett material, genom ledning. Detta kan också påverka flamspridningen, men eftersom ledning sker långsammare än strålning och konvektion så påverkar det även flamspridningen långsammare.

Figur 45. Värmeöverföring från branden tillbaka till bränslet



Värmeöverföring från flammorna till bränslet sker främst genom strålning, men vid ytan sker även en viss överföring genom konvektion.

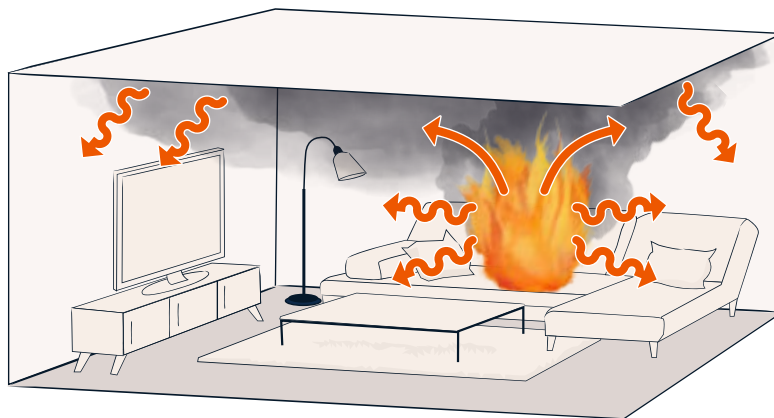
En snabb flamspridning bidrar till att öka brandens yta och därmed effektutvecklingen. Branden blir helt enkelt större i och med att mer och mer bränsle deltar i förbränningen. Detta gör också att bland annat värmestrålningen ökar efterhand, vilket ökar flamspridningshastigheten ytterligare.

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

- materialets värmeupptagningsförmåga, kpc
- ytans orientering
- ytans geometri
- den omgivande miljön.

Flamspridning kan sägas vara en flamfronts rörelse över ett brännbart materials yta. Tillsammans med värmestrålning och konvektion är flamspridning den vanligen dominerande mekanismen när en brand utvecklas och sprids. Vid flamspridning över en yta kan branden (flammorna) ses som en vandrande antändningsfront. Flamfronten verkar både som värmekälla – den värmer upp det brännbara materialet framför flamfronten till antändningstemperatur – och som antändningskälla. Hur snabbt flammorna sprider sig över en yta av fast material avgörs av kemiska och fysikaliska materialfaktorer samt av omgivande faktorer. Sådana materialfaktorer är bland annat materialets egenskaper och tillstånd, som initial temperatur, tjocklek, termiska egenskaper, densitet, geometri, ytans orientering och flamspridningsriktning. Omgivande faktorer som påverkar flamspridningen är atmosfärens sammansättning, tryck och temperatur, värmefflöde från yttre källor samt luftens hastighet. Och ju högre temperaturen blir i ett rum, desto högre blir hastigheten på gaserna i rummet.

Figur 46. Värmeöverföring från en initialbrand till rummets övriga ytor sker på flera sätt



Närmast initialbranden sker värmeöverföringen främst genom strålning från flammorna. Mot taket sker värmeöverföringen till stor del genom konvektion men även genom strålning. Brandgaserna kommer även värma upp övriga ytor i rummet genom strålning.

Flammor sprider sig långsammare på ett brännbart material med hög värmeupptagningsförmåga än på ett material med låg värmeupptagningsförmåga. Hög värmeupptagningsförmåga gör att värmen lättare leds bort från ytan, åtminstone initialt. Observera dock att även materialets tjocklek påverkar, eftersom ett tunnare material värms upp fortare än ett tjockare. I en byggnad är bränslet, såväl omgivande ytor som föremål, ofta sammansatt av flera olika typer av material med olika tjocklek. Detta komplicerar flamspridningsprocessen ytterligare.

Figur 47. Flamspridning över en vägg

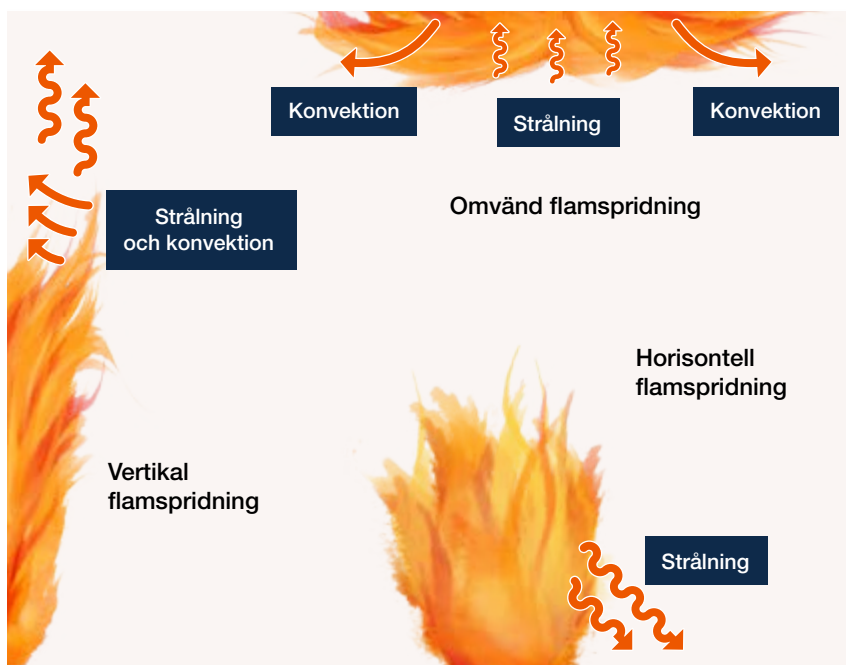


Pilarnas längd motsvarar storleken på komponenterna. Längst ner dominerar värmeöverföringen av konvektion. Längre upp är det strålning från flammorna som dominerar. Ovanför flammorna sker värmeöverföringen främst genom konvektion från de varma gaser som bildas vid förbränningen.

När en brand sprider sig uppåt längs en vägg kan väggen delas in i tre zoner. Den nedersta värms framför allt upp genom konvektion. I den mellersta är det i stället värmestrålningen från flammen som bidrar mest till uppvärmningen. Det beror på att flammans tjocklek ökar med höjden. Ju tjockare flammen är, desto större andel av värmeöverföringen sker genom värmestrålning. I den översta zonen har väggen ännu inte antänts, men väggen värms upp genom konvektion från de varma förbränningsprodukterna från de ytor som brinner.

Om ytan som flamspridning sker över har annan geometri än vertikal, sker värmetransporten på andra sätt, med varierande grad av värmestrålning, konvektion och ledning.

Figur 48. Flamspridning över ytor med olika geometrier



Vid flamspridning uppåt sker värmetransport genom strålning och konvektion. Vid horisontell flamspridning sker värmeöverföringen genom strålning. Under till exempel ett tak sker värmeöverföringen vid flamspridning främst genom konvektion.

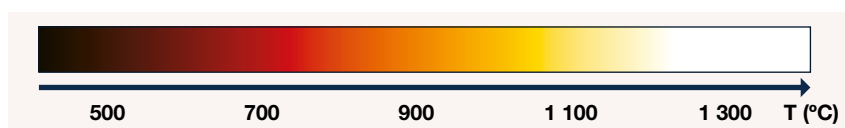
En enkel tumregel säger att brand i en byggnad sprider sig nedåt på timmar, åt sidorna på minuter och uppåt på sekunder.

Flamfärg

Flammor kan uppträda med olika färg. Färgen kan i vissa fall ge oss information om bränslets egenskaper eller till och med vilken typ av bränsle det är eller under vilka förhållanden bränslet förbränns.

Det bildas alltid en viss mängd sot vid förbränning. Sotet är fasta partiklar och beroende på deras temperatur skickar de ut olika mycket värmestrålning. Vid ca 550 °C börjar de skicka ut värmestrålning i det synliga ljusspektrumet. Partiklarna börjar avge rött ljus. Om förbränningen är bättre blir temperaturen högre och värmestrålning börjar avges som orange och gult ljus, som i stearinljuset. Då är temperaturen ca 800 °C. Vid ännu bättre förbränning skickas ljus ut i hela det synliga spektrumet och lågan blir vit, exempelvis som i en svetslåga. Temperaturen är då upp emot 1200 °C.

Figur 49. Ungefärlig flamfärger vid olika temperaturer

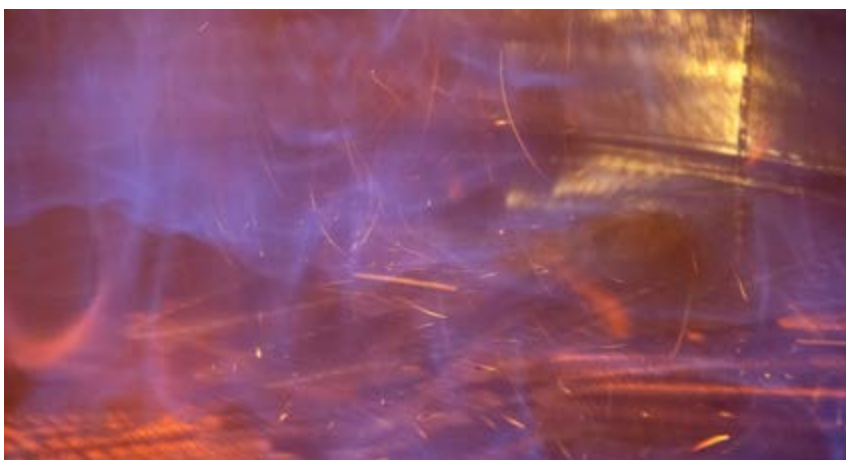


Tabell 14. Ungefärliga temperaturer och flamfärger

Färg	Temperatur [°C]
Svagt röd	500
Blodröd	600
Röd	700
Körsbärsröd	750
Ljusröd	800
Laxfärgad	850
Mörkorange	900
Orange	950
Citrongul	1 000
Ljusgul	1 100
Vit	1 200

Att flammor kan ha olika färg beror på att dom sänder ut elektromagnetisk strålning med olika våglängder. När ett ämne värms upp tar elektronerna i atomernas yttersta elektronskal upp energi som dom använder för att "hoppa upp" till ett högre skal (elektronerna exciteras). Detta är inget stabilt tillstånd, utan elektronerna faller tillbaka till sitt ordinarie elektronskal. Då avges ämnets unika energimängd i form av elektromagnetisk strålning. Metalljoner ger typiska färger på flammor. Natrium ger gula flammor, strontium ger röda flammor och koppar ger gröna flammor. Även klor gör flammor gröna. Detta används till exempel i fyrverkerier för att åstadkomma olika effekter.

Figur 50. Olika ämnen kan ge olika färg på flammor



Flammor kan ha olika färg. Till exempel ger metanol blå eller nästan osynliga flammor.
Foto: Stefan Svensson.

Flammor som knappt syns eller som brinner med endast mycket svaga blå lågor, kan bero på att bränslet är en alkohol. Förbränningseffektiviteten är då mycket god, så att förbränningsprodukterna består nästan uteslutande av koldioxid och vatten. Men även alkoholer kan brinna med gula lågor som dessutom producerar mycket sot (svarta brandgaser). Så kan till exempel vara fallet om branden är mycket stor, så att en stor del av förbränningen sker med luftunderskott. Då är förbränningseffektiviteten mycket sämre, och det bildas stora mängder oförbrända produkter samt sot.

Förutom bränslets egenskaper kommer även de förhållanden förbränningen sker vid att påverka flammornas färg.

Brännbara vätskor och gaser

Brännbara vätskor brinner på ett något annorlunda sätt än fasta material. Ett fast material behöver oftast pyrolysera för att en brand ska kunna uppstå och fortgå. För en vätska räcker det med att den förgasas, det vill säga övergår från vätskeform till gasform. Även en brännbar vätska bryts ned, men det sker först i gasfas. Förbränningen av vätskor liknar därför förbränningen av gaser mer än den liknar förbränningen av fasta material. Beroende på bränslegasens egenskaper och tillstånd kan förbränningen (branden) komma att ske på olika sätt.

För en vätska är det framför allt vätskeytans storlek som blir avgörande för brandens storlek medan vätskepölens djup blir avgörande för hur länge det kommer att brinna.



En vätskebrand i det fria är bränslekontrollerad, medan en vätskebrand i ett rum kan bli ventilationskontrollerad precis som för ett fast bränsle. Foto: Peter Wemmert.

Vätskors brännbarhet beror på hur lätt dom förångas. Brännbarheten kan beskrivas med hjälp av två temperaturer – flampunkt och termisk tändpunkt. Flampunkt är den temperatur där en vätska kan antändas med hjälp av en låga. Gaskoncentrationen vid vätskeytan är då över ämnets undre brännbarhetsgräns. Den termiska tändpunkten är den temperatur där vätskan antänder spontant utan någon tändkälla.

Ämnen med låg flampunkt kan ha hög termisk tändpunkt. Men ämnen med låg flampunkt kan även ha låg termisk tändpunkt och det finns inget enkelt samband. Flampunkten för bensen är under -30 °C och den termiska tändpunkten cirka 400 °C . För diesel är flampunkten över 55 °C , medan den termiska tändpunkten endast är 220 °C .

Man kan även beskriva en brännbar vätska med dess avbrinningshastighet. Denna egenskap är ämnesberoende och mer eller mindre konstant hos ett och samma ämne. Vätskepölens storlek har också viss inverkan. Om vätskan är i ett kärl kommer det omgivande materialet i kärlets kanter att ha en viss inverkan. Men ju större pölen är, desto mindre inverkan har kärlet. Ett undantag kan vara om kärlets kanter är mycket höga, det vill säga om kanterna sticker upp väldigt mycket över vätskeytan. I sådana fall kan kärlet komma att påverka vätskebranden mycket. Det sker dels genom att kärlets kanter blir väldigt varma, dels genom att lufttillförseln till branden påverkas. Om kärlets kanter är varma blir det även svårare att släcka branden. Om kärlets kanter är mycket höga, kan det också vara svårt att nå bränsleytan med släckmedel.

Figur 51. Om man vet massavbrinningshastigheten kan man räkna ut effektutvecklingen

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

$\dot{Q}$	effektutveckling [MW]
$\dot{m}$	massavbrinningshastighet [kg/s]
ΔH_c	förbränningsvärme [MJ/kg]
χ	förbränningseffektivitet [-]

När vätska brinner i ett rum kommer bland annat rummets väggar att påverka effektutvecklingen. Ju varmare rummet är, desto högre blir effektutvecklingen. Men brand i vätskor påverkas något mindre än brand i fasta material.

En större mängd fast material i närheten av en brinnande vätska kan påverka vätskebranden även om det fasta materialet är obrännbart. Det fasta materialet värms upp och återstrålar stora mängder värmeenergi till vätskan. Branden blir då svårare att släcka, eftersom man utöver att släcka själva vätskebranden även måste kyla ner det fasta materialet. Detta kan vara aktuellt till exempel vid tankbilsolyckor och cisternbränder, där metallen i behållaren fort blir mycket varm. Även om vätskebranden då släcks, kommer metalldelar som har högre temperatur än bränslets självantändningstemperatur att göra så att bränslet återantänds. Är det då svårt att kyla metallen, kommer vätskebranden att vara svår att släcka.

På motsvarande sätt är det för en gas. För en brännbar gas som strömmar ut ur till exempel ett rör kommer den så kallade källstyrkan i stor utsträckning att avgöra brandens storlek. Med källstyrka menas hur många liter eller kilogram bränslegas som flödar ut per sekund. Brandens varaktighet bestäms då av hur länge utsläppet pågår. Slutar gasen att strömma ut, slocknar branden. Effektutvecklingen avgörs av källstyrkan, det vill säga utflödet av den brännbara gasen. Minskar källstyrkan så minskar även brandeffekten. Om branden släcks men gasen fortsätter att strömma ut, uppstår ett moln av brännbara gaser.

Ett gasmoln kan bete sig något annorlunda när det antänds. Är gasmolnet väl blandat med luft, kan en explosion eller en förblandad flamma uppstå. Då går förbränningsprocessen väldigt snabbt. Ofta åtföljs en explosion av en tryckvåg och en ljudeffekt. Detta kommer att behandlas mer utförligt senare. Om gasmolnet inte är blandat med luft i förväg, uppstår en diffusionsflamma. Förbränningsprocessen i en sådan situation kan dock medföra att turbulensen blir kraftig och att inblandningen av luft ökar hastigt. Då kan även ett sådant icke-förblandat gasmoln ge upphov till förblandade flammor.

Förbränningsprodukter och brandgaser

När det brinner bildas alltid gasformiga förbränningsprodukter. Förutom att dom normalt är varma, är dom också giftiga och kan vara brännbara. Dom reagerar dessutom ofta lätt med olika material och ger följdskador som till exempel korrosion. När dessa förbränningsprodukter stiger uppåt blandas dom med luft och bildar brandgaser. När brandgaser sprider sig i ett rum eller vidare i en byggnad, kommer brandgaserna att värma upp föremål och ytor genom konvektion och värmestrålning. Hur mycket dessa föremål och ytor värms upp beror bland annat på brandgasernas temperatur. Även gasernas innehåll och strömnings-hastighet kan ha betydelse. Till exempel så ger påtvingad konvektion högre värmeöverföring än naturlig konvektion. Brandgaser är således betydelsefulla och har mycket stor inverkan på hur bränder utvecklar och sprider sig i byggnader.

De brandgaser som bildas vid bränder består av två komponenter:

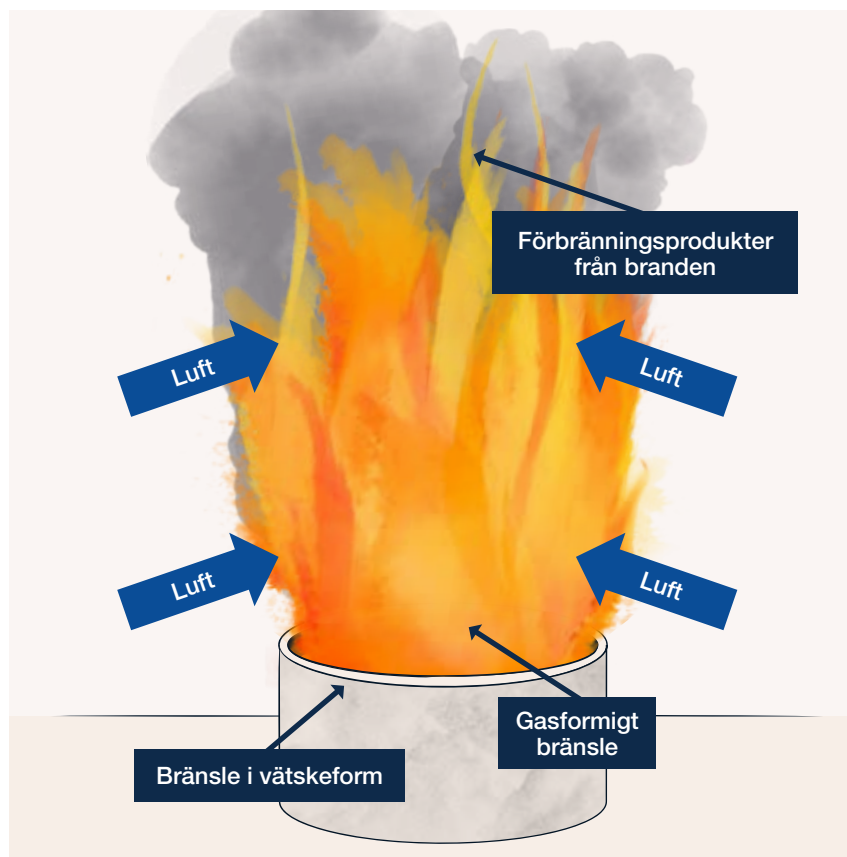
- luft (inklusive överskottskvävet från förbrukad luft)
- förbränningsprodukter, till exempel koldioxid, kolmonoxid och sot men även en lång rad andra föreningar, inklusive fasta produkter och vätskepartiklar.

Begreppet "brandgaser" är således missvisande, eftersom förbrännings-produkterna består av såväl gaser som vätskepartiklar och fasta produkter. Men den absolut största komponenten i brandgaser är luft som inte deltar i förbränningen. Den värms upp av branden men är relativt opåverkad av de kemiska reaktioner som sker i branden. En del av den luft som finns i byggnaden kommer att delta i och påverka själva förbrännings-processen. Men det kan även tillföras luft utifrån, vilket kan ha stor betydelse för hur branden kommer att utvecklas och spridas.

Den andra komponenten består av de förbränningsprodukter som bildas vid branden och blandar sig med luften. Det är till exempel gaser såsom koldioxid, kolmonoxid, kväveoxider, svavelväte, vattenånga och cyanväte. Där finns även partiklar i fast form (sot) eller i vätskeform, till exempel tyngre kolväteföreningar, det vill säga föreningar som i huvudsak består av grundämnena kol och väte. Denna andra komponent är liten till både vikt och volym, jämfört med den luft som ingår i brandgaserna.

De fysikaliska egenskaperna hos brandgaser liknar i stor utsträckning egenskaperna hos luft. Därför kan flöden av brandgaser behandlas som ett flöde av uppvärmd luft vid såväl beräkningar som vid taktiska bedömningar av bränder. En fördel är att vi oftast kan se brandgaserna. Brandgaser strömmar på samma vis som luft även om brandgasutvecklingen är kraftig eller om den innehåller mycket partiklar och därför har låg genomsiktighet. Den luft som tillförs brandgaserna och värms upp är fortfarande många gånger större än det övriga innehållet. Men vi måste samtidigt ta hänsyn till brandgasernas temperatur och brännbarhet (energiinnehåll), eftersom detta bidrar till brandens spridning. Dessutom kommer mängden, typen och egenskaperna hos partiklarna i brandgaserna att vara avgörande bland annat för hur mycket värmestrålning brandgaserna avger mot omgivande ytor och föremål.

Figur 52. Brandgaser består av förbränningsprodukter från branden samt luft



Den exakta sammansättningen hos brandgaserna bestäms bland annat av de förhållanden som råder vid branden – dels bränslets sammansättning och egenskaper, dels mängden luft som finns tillgänglig för förbränning. Sammansättningen förändras således beroende på de förhållanden som råder vid varje enskilt tillfälle, och den varierar över tid. Om tillgången till luft (syre) vid förbränningen är låg, kommer brandgaserna till stor del att bestå av oförbrända produkter från branden. Om tillgången till luft däremot är god, kommer brandgaserna att bestå av en mindre andel brännbara produkter. Det kan ändå vara tillräckligt för att göra brandgaserna brännbara.

Brandgasernas sammansättning påverkas även av temperaturen i flammorna. Temperaturen i ett brandrum påverkas i sin tur av tillgången till luft, och därmed även av de ventilationsåtgärder som räddningstjänsten eventuellt vidtar. En rumsbrand är på så vis en mycket komplex process när det gäller vilka ämnen som finns i brandgaserna och hur mycket av dessa ämnen det finns.

Även bränslets innehåll och kemiska sammansättning påverkar brandgasernas sammansättning. Till exempel ger material som innehåller kväve, såsom skumplasten polyuretan, nitrösa gaser, medan material som innehåller svavel ger svaveldioxid.

Brandgaser är ofta vita, grå, gulbruna eller svarta. Orsaken till detta är att dom innehåller partiklar som bryter ljuset. Genomskinliga vätskepartiklar bryter ljuset på ett sätt som ger vita brandgaser. Utseendet ger dock ingen information om i fall den genomskinliga vätskan är vatten eller en brännbar vätska. Ju svartare brandgaserna är, desto större är mängden sot. Gulbruna brandgaser kan komma från en pyrolyprocess, men även höga halter av nitrösa gaser kan ge en sådan färg. Brandgasernas färg är en dålig indikator på hur giftiga eller brännbara brandgaserna är.

Hur en brand utvecklar sig påverkas såväl av brandgaserna som av ämnen som normalt inte direkt deltar i förbränningen, till exempel kväve. Det kommer till exempel att gå åt värme för att värma upp sådana ämnen. Ämnena fungerar då som en så kallad termisk barlast, som sänker temperaturen och dämpar branden. Nästan alla släckmedel fungerar också som termisk barlast, eftersom släckmedlet tar upp värme. Om släckmedlet gör att temperaturen sjunker tillräckligt, så slocknar flammorna.

Beroende på bland annat förhållandet mellan bränsle och luft bildas det således olika förbränningsprodukter och olika mängder av dessa förbränningsprodukter. Brandgaserna kan även få olika färg, beroende på bränslets egenskaper samt under vilka förhållanden förbränningen har skett.

Brandgaser har olika egenskaper beroende på sin sammansättning:

- Brandgaser kan vara ogenomsiktliga och begränsar därmed vårt seende.
- Brandgaser kan vara brännbara, även om dom är helt ogenomsiktliga.
- Brandgaser är generellt giftiga och påverkar människor, djur och miljön på såväl kort som lång sikt.
- Brandgaser kan vara reaktiva och på så vis förstöra inredning, verktyg eller annan utrustning.
- Brandgaser kan vara varma.

Hur en brand sprider sig i en byggnad påverkas framför allt av brandgasernas brännbarhet, deras temperatur, mängden partiklar samt partiklarnas egenskaper (storlek, brännbarhet, mm).

Det är svårt att bedöma hur brännbara brandgaser är. Vid bränder i byggnader är förbränningen så gott som alltid ofullständig, eftersom den sker med begränsad syretillgång (ventilationskontrollerade bränder). När det är brist på syre bildas förbränningsprodukter som är mer eller mindre brännbara och som därmed kan börja brinna under vissa omständigheter. Dessa förbränningsprodukter utgör en del av brandgaserna och samlas i det brandgaslager som bildas närmast taket i rummet eller byggnaden. Kolmonoxid är ett exempel på en sådan brännbar gas som bildas vid rumsbränder. Brännbarhetsområdet för kolmonoxid är mellan 11 och 74 procent vid rumstemperatur, men detta intervall ökar vid högre temperatur. Även inblandningen av övriga gaser och de partiklar som bildas vid rumsbränder påverkar såväl brännbarhetsområdet som antändligheten. Därför är brännbarheten hos brandgaser ytterst komplex. Brännbarheten hos brandgaser låter sig inte heller på ett enkelt sätt likställas med brännbarheten hos en enskild gas. Brandgasernas brännbarhetsområde kommer att variera från fall till fall, och går i praktiken inte att bestämma exakt.



Brandgaser kan vara varma och brännbara. Foto: Stefan Svensson.

Beroende på vilka typer av och hur mycket partiklar som ingår i brandgaserna kan brännbarheten öka eller minska. Vissa typer av partiklar kan till exempel göra att brännbarheten minskar. Det kan ske genom att partiklarna fungerar som ett slags termisk barlast, som gör att det krävs mer energi för att höja temperaturen. Andra typer av partiklar kan i stället göra att brännbarheten ökar, genom att bidra till att höja temperaturen eller hålla upp temperaturen under längre tid. Det kan även ske genom att partiklarna i sig själva är brännbara. Dessutom påverkar partiklarnas storlek brännbarheten. Små partiklar har en större yta i förhållande till sin volym. Det leder till att fler molekyler av partiklarna exponeras för omgivningen, vilket ökar potentialen för att dom ska reagera och bidra till de kemiska reaktionerna.

Exempel

Natten till den 9 oktober 1986 fick brandstationen i Täby larm från ett byggvaruhus. Byggnaden var delad i två avdelningar, avskilda i brandteknisk klass A60 (stålreglar med dubbla gips-skivor på båda sidor och obrännbar tätning mot golv, väggar och mot takets insida). Den mindre avdelningen innehöll en butiksdelen medan den större avdelningen innehöll en säljdelen för privata konsumenter och en säljdelen för yrkesutövare.

Branden hade uppstått i säljdelen för privata konsumenter. Som ett led i släckningsarbetet fick en rökdykargrupp i uppgift att kontrollera det sektionerade väggpartiet mellan butiksdelen och den övriga byggnaden. När arbetet inleddes kunde vita rökslingor iakttas, och inne i butiksdelen bedömdes sikten som relativt god. För att kontrollera brandens spridning bröt rökdykarna upp en dörr mellan butiksdelen och säljdelen för yrkesutövare. När så skett meddelades det att brand var på väg mot rökdykarna, och dom beordrades av rökdykarledaren att stänga dörren.

Något senare meddelade rökdykarna att "det börjar bli hett här". Dom fick då order om att bege sig ut. På vägen ut inträffade något som har bedömts som en brandgasexplosion, följd av kraftiga eldslågor som slog ut genom butiksdelens entré.

Försök gjordes att undsätta de båda rökdykarna, men deras liv gick tyvärr inte att rädda.

Troligtvis var branden i säljdelen för yrkesutövare ventilationskontrollerad. Stora mängder brännbara förbränningsprodukter spred sig till butiksdelen genom en skjutdörr som stod öppen och som inte hade identifierats. När mängden förbränningsprodukter blivit tillräckliga i butiksdelen, antändes dessa under explosionsliknande former.

I exemplet är det således brandgaser som läckt över till butiksdelen och antänts.

(Utredningsrapport Nr 3:1987, Kommittén (Kn 1981:02) för undersökning av allvarliga olyckshändelser).

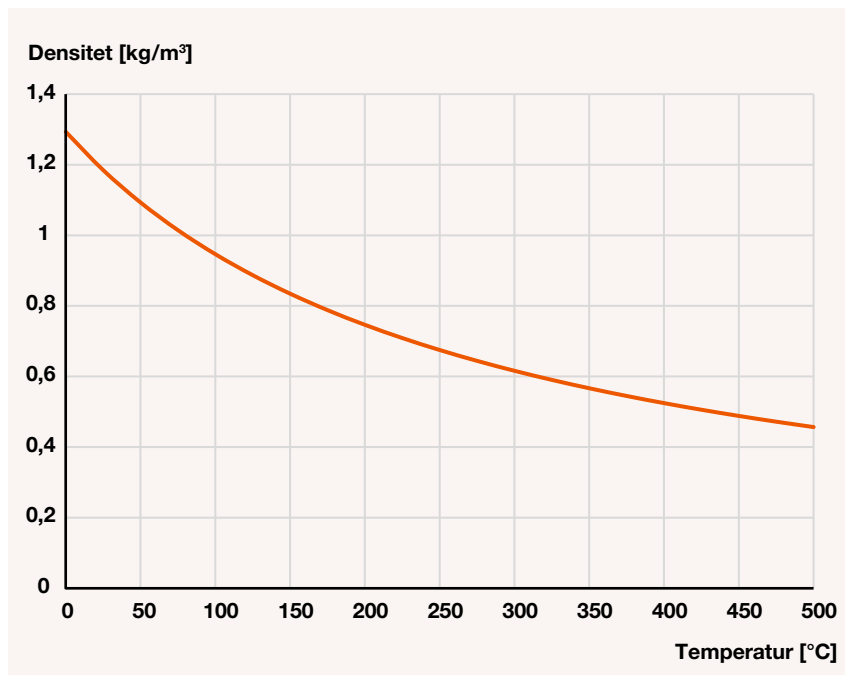
Även helt genomskinliga brandgaser kan vara brännbara och farliga. Kolmonoxid är ett exempel på en osynlig men brännbar gas. Vi känner aldrig till den exakta sammansättningen hos brandgaserna, och därmed inte heller deras exakta egenskaper. Därför är det mycket svårt att avgöra brandgasernas brännbarhet baserat på genomskinligheten. När det finns risk för att stora mängder genomskinliga brandgaser bildats, bör räddningstjänstpersonal använda fullständig skyddsutrustning inklusive andningsapparat. Det bör även finnas direkt tillgång till släckmedel.

Brandgaser är vanligtvis varma, vilket också påverkar på en mängd olika sätt. Framför allt ger det oss de grundläggande mekanismerna för spridningen av brandgaser och brand, främst termisk stigkraft som får brandgaserna att strömma uppåt. Brandgasers termiska stigkraft handlar helt enkelt om att brandgasernas densitet minskar när temperaturen ökar. Detta beror på att ju varmare brandgaserna är, desto fortare rör sig de molekyler brandgaserna består av och desto mer plats behöver brandgaserna. Brandgaserna expanderar (termisk expansion), dom tar större plats så att densiteten minskar, och därmed stiger brandgaserna uppåt.

Luft vid 20 °C har densiteten 1,2 kg/m³. Luft och brandgaser med temperaturen 300 °C har densiteten 0,6 kg/m³. Är temperaturen 500 °C blir densiteten på brandgaserna 0,45 kg/m³. Densitetsskillnaderna blir fort stora redan vid relativt små temperaturhöjningar.



Ju varmare brandgaser, desto lägre densitet. Foto: Pavel Koubek.

Figur 53. Brandgasers temperatur och densitet

Varma brandgaser kan medverka till brandspridning även på stora avstånd från branden, eftersom brandgaserna strömmar vidare i en byggnad eller inne i en konstruktion. Värmen i brandgaserna är också en starkt bidragande orsak till bland annat övertändning i rum. Det sker främst genom värmestrålning från brandgaserna mot ytor och föremål i rummet men även genom konvektion, det vill säga den värmeöverföring som sker när gaserna strömmar förbi ytor eller föremål.

Brandgaser är en blandning av förbränningsprodukter från branden och luft som strömmar in i plymen och blandar sig med förbränningsprodukterna. Sker en förbränning under god syretillförsel skapas 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. Förbränningseffektiviteten är normalt ganska dålig vid bränder. Det gör att bränslet inte bryts ner fullständigt vid förbränning. I stället bildas en stor mängd restprodukter, såväl i fast form som i gasform och vätskeform.

Kolmonoxid (CO) är den vanligast förekommande gasen utöver koldioxid (CO₂) och vatten. Den är oftast den primära dödsorsaken när människor omkommer vid brand. Kolmonoxid är brännbart och har ett brett brännbarhetsområde. Gasen har varken färg eller lukt, vilket gör den svår att upptäcka. Generellt luktar dock brandgaser kraftigt, och lukten av andra föreningar i brandgaserna kan hjälpa oss upptäcka den farliga kolmonoxiden, även om brandgaserna är mer eller mindre genomskiktliga. Kolmonoxid bildas i stora mängder i synnerhet vid begränsad lufttillförsel till branden. Halter på 10–15 procent kan uppnås.

Cyanväte (HCN) produceras vid ofullständig förbränning av produkter som ull, silke, nylon och polyuretan. Gasen är brännbar, och den är ett gift som snabbt dödar genom att blockera celledningen så att cellerna inte kan tillgodogöra sig syre. Cyanväte är dessutom färglös, och därmed osynligt på motsvarande sätt som kolmonoxid.

Det bildas också en mängd oförbrända kolväten vid förbränning av kolväteföreningar, som olika typer av plast. Sådana ämnen innehåller kol och väte i olika föreningar. Samtidigt som det bildas oförbrända kolväten bildas det också rena kolföreningar (C). Dom kallas sot och är det svarta i brandgaserna. Sotet består av kolpartiklar som slås ihop och bildar större partiklar. Ju lägre förbränningseffektivitet, desto mer sot bildas. Men det finns även bränslen som ger stora mängder sot vid hög förbränningseffektivitet, som till exempel plasten polystyren. Det är också glödande sotpartiklar som ger flammor deras karakteristiska gula färg. Observera att sot även kan bestå av andra ämnen än kolföreningar, till exempel tungmetaller eller delvis oförbrända produkter från bränslet.

Brandgasernas färg säger egentligen inget om vare sig brännbarhet, giftighet, genomsiktighet eller temperatur. Generellt kan man dock säga följande om brandgaser utifrån deras färg:

- Svarta brandgaser bildas ofta vid förbränning av kolväten och innehåller stora mängder sot, som ger den karakteristiska färgen.
- Ju mer underventilerad branden är, desto fler oförbrända produkter bildas. Detta kan ge stora mängder sot.
- Gulaktiga brandgaser kan bero på kväveinnehållande och svavelhaltiga polymerer, till exempel däckmaterial.
- Vitaktiga brandgaser kan komma från glödbland i till exempel skumgummi, men det kan även bero på stora mängder vattenånga.

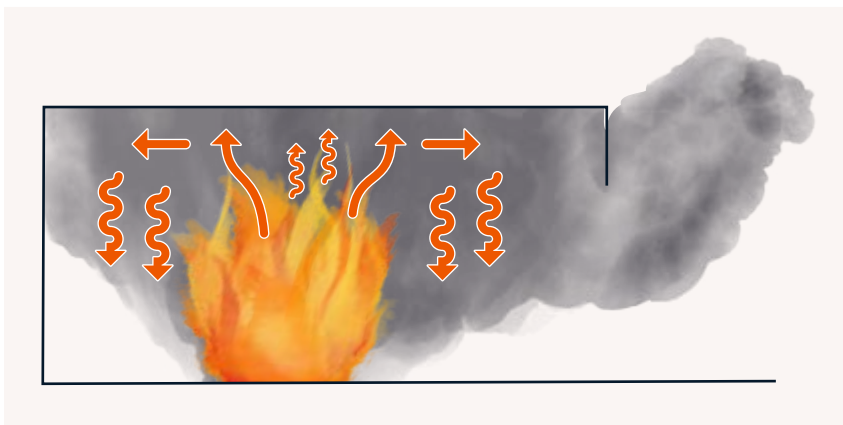
För att bedöma brandgasers ”farlighet”, behöver man göra en samman-
tagen bedömning av brandgasernas brännbarhet, giftighet, genomsikt-
lighet och temperatur. Och för att göra det behöver man förutom
brandgasernas färg även ta hänsyn till bland annat brandgasernas
flödeshastighet och inte minst förändringar som sker över tid.
Detta är dock mycket svårt – i vissa fall omöjligt.



För att bedöma brandgasers farlighet, behöver man förutom brandgasernas färg även
ta hänsyn till bland annat flödeshastighet och de förändringar som sker över tid.
Foto: Åsa Brorsson.

Utöver att brandgaserna är giftiga och brandfarliga, så kommer dom
framför allt påverka omgivningen genom värmeöverföring. Brandgaser
har normalt högre temperatur än omgivande luft och omgivande ytor.
Detta innebär att när varma brandgaserna strömmar förbi ytor med
lägre temperatur, så överförs energi från brandgaserna till ytorna genom
konvektion. En typisk yta som utsätts för mycket värmeenergi genom
konvektion är innertaket i en brinnande byggnad. Energi kommer även
att överföras genom värmestrålning, dels till de ytor som brandgaserna
strömmar förbi, dels till andra ytor och föremål i rummet. Ju varmare
brandgaserna är, desto större blir andelen energi som överförs
genom värmestrålning.

Figur 54. Värmeöverföringen från brandgaser har stor betydelse för bränders spridning och utveckling



Värmeöverföring mot taket och de övre delarna av väggarna sker genom konvektion och strålning. Värmeöverföring mot golvet och andra ytor nedanför brandgasernas sker främst genom strålning från flammor och brandgaser.

Detta innebär att brandgaserna kan påverka ytor och föremål på stora avstånd från initialbranden. Ju mer brandgaser och ju varmare dom är, desto mer påverkar brandgaserna andra ytor och föremål och desto längre avstånd kan påverkan ske på. Detta gäller i synnerhet om brandgaserna är kvar inne i en byggnad. Brandgaser som kan ventileras ut gör att risken för spridning av brand minskar. Att ventilerar ut brandgaser medför givetvis även andra fördelar, som att giftighet och reaktivitet minskar inne i byggnaden och att sikten förbättras.

Mängden brandgaser som produceras kommer givetvis att ha stor betydelse, men även utrymmenas storlek avgör hur mycket dom påverkas av brandgaserna. I ett stort rum blir värmeöverföringen generellt mindre, eftersom det är mer ytor som ska värmas upp. Brandgaserna ska helt enkelt fördelas över mer yta. Avståndet till föremål i rummet blir också större, ju större utrymmet är. Följaktligen kommer brandgaserna att påverka ett mindre rum eller utrymme mer än ett större. Vid så kallade konstruktionsbränder kan även små mängder brandgaser bidra mycket till att en brand sprider sig, eftersom utrymmen inne i byggnaders konstruktion (väggar, bjälklag med mera) normalt är små.

Deflagration, detonation och explosion

Tre termer som i synnerhet används vid snabba brandförlopp, är deflagration, detonation och explosion.

Explosion

En exoterm kemisk process som, när den sker vid konstant volym, ger upphov till en plötslig och betydande tryckökning. Termen används ofta för att beskriva när någonting antänds hastigt och skapar ett tryck, ofta med tillhörande ljudeffekt, en ljudlig bang. En explosion är således en snabb process som frigör energi och ger upphov till en tryckvåg.

Något förenklat kan man säga att explosion är det överordnade uttrycket, som allmänt används när någonting antänds hastigt och skapar ett tryck. Dessutom ofta med tillhörande ljudeffekt, en ljudlig bang. En explosion är således en snabb process som frigör energi och ger upphov till en tryckvåg. Vid bränder i byggnader är detta normalt inte fallet. Men det finns undantag, som vid så kallad backdraft eller brandgasexplosion.

Deflagration

Förbränning där reaktionszonen breder ut sig långsammare än ljudets hastighet, till exempel en brandgasexplosion. I brandsammanhang rör sig flamfronten med hastigheten cirka 3–5 m/s.

En deflagration kan sägas vara en hastig förbränning där förbränningshastigheten är under ljudets hastighet (cirka 340 m/s vid rumstemperatur och normalt lufttryck). Förbränningshastigheten kan vara hög, det frigörs energi men det blir inte några större tryck. Deflagrationer kan uppstå vid brand i byggnad, till exempel när förblandade gasmassor antänds och ger upphov till förblandade flammor. Även en deflagration kan ge upphov till ljud, men då handlar det främst om bruset från flammornas turbulens.

Detonation

Vid en detonation breder reaktionszonen ut sig fortare än ljudets hastighet. Förloppet skapar en chockvåg och en ljudlig knall. Detonationer sker normalt i fasta explosivämnen.

En detonation är då i någon mening deflagrationens motsats – förbränningshastigheten är högre än ljudets hastighet, och detonationen skapar ett ganska ordentligt tryck och en knall. Oftast sker detonationen i fasta material (explosivämnen), eftersom det normalt bara är i fasta material som förbränningshastigheten kan bli tillräcklig hög för att skapa en detonation. Observera att förbränningshastigheten i fasta material (explosivämnen) normalt är mycket hög, upp till flera tusen meter per sekund.



Detonationer sker företrädesvis i fasta material. Foto: Johnér Bildbyrå.

Deflagration är det eftersträvade förloppet för förbränning i till exempel en förbränningsmotor, en raketmotor eller i ett skjutvapen. Dessa kan skadas om en detonation skulle uppstå. Detonation är det eftersträvade förloppet för sprängämnen vid till exempel gruvbrytning.

Kapitel 7

Rumsbrand

Allt det som hittills har behandlats har betydelse för hur en brand utvecklas i ett rum, för att så småningom sprida sig till flera rum eller till byggnaden i övrigt. I den följande genomgången kommer utgångspunkten att vara att den så kallade initialbranden, det vill säga den första branden som uppstår, är förhållandevis liten. Om inga åtgärder vidtas växer den sig större, för att omfatta hela rummet och slutligen hela byggnaden. En brand som redan i initialskedet är stor kommer att utvecklas något annorlunda. Ett exempel kan vara om ett större vätskespill antänds inne i byggnaden. Men de grundläggande faktorerna som påverkar brandens utveckling och spridning är givetvis desamma. Det kan ju hända att en brännbar vätska rinner ut i ett rum för att därefter antändas. Ett sådant brandförlopp kan bli mycket hastigt. Om vätskan har lågt ångtryck och därmed förångas vid låg temperatur, kan det dessutom finnas ett brännbart gasmoln i rummet. Detta kan ge explosionsliknande effekter vid antändning.

En rumsbrand blir alltid komplex, eftersom det är en mängd faktorer som växelverkar. Till exempel kommer tillgången till luft i rummet att påverka hur fort branden växer. Samtidigt kan bristande lufttillgång till branden i rummet göra att det produceras mer oförbrända brandgaser. Detta ökar risken för att brandgaserna antänds, och dessutom ökar värmestrålningen från brandgaserna tillbaka mot branden. Det förekommer således vid samma tillfälle såväl faktorer som kan öka som minska brandens utveckling och spridning.

Brand i föremål

Vi antar att vi har ett brännbart föremål som står helt fritt i ett stort rum eller utomhus. När en brand uppstår i detta föremål sker en mängd saker samtidigt. Molekylerna som bränslet består av utsätts för värmeenergi, och kommer då att börja brytas ner och bilda brännbara gaser (pyrolys). Samtidigt kommer den kemiskt bundna energin i bränslet att omvandlas till värmeenergi och ljus samt till annan kemiskt bunden energi i de förbränningsprodukter som bildas. En del av dessa förbränningsprodukter kommer att ”gå upp i rök”, det vill säga bilda brandgaser. Resterande förbränningsprodukter kommer att bli kvar i fast form. Den värmeenergi som utvecklas kommer till viss del att återföras till bränslet så att det fortsätter brinna. Denna värmetransport tillbaka till bränslet sker främst genom värmestrålning från flammorna mot bränslets yta. Men huvuddelen av den utvecklade värmeenergin kommer att transporteras bort genom de varma gaser som produceras och stiger upp. På sin väg uppåt blandas dessa varma gaser med den omgivande kallare luften. Denna kallare luft värms då upp genom konvektion och stiger uppåt tillsammans med förbränningsprodukterna från branden.

Förbränningsprodukterna tillsammans med den luft som blandas in bildar brandgaser. Dessa har stor inverkan på hur bränder sprids i rum och byggnader. Detta eftersom brandgaserna kan spridas långa vägar och värma upp ytor och föremål genom såväl värmestrålning som konvektion.



Initialbranden värmer upp det bränsle som ännu inte brinner, så att flamspridning i bränslet kan ske. Foto: Stefan Svensson.

Beroende på bränslets form eller utseende kan konvektion spela en avgörande roll i att värma upp bränsle som ännu inte har antänts. Om det till exempel är en brännbar skiva som står på högkant, kommer de varma brandgaserna att strömma uppåt längs ytan och värma upp materialet genom konvektion redan när flammorna är väldigt små. I det skedet är värmetransporten genom värmestrålning fortfarande liten.

Efterhand som flammorna växer kommer värmestrålningen att öka, för att så småningom bli den dominerande mekanismen för värmetransport till den del av skivan som ännu inte brinner.

Om intilliggande bränsle inte värms upp tillräckligt för att branden ska sprida sig, kommer den så småningom att slockna. En brand i det fria är betydligt mindre komplex och relativt enkel att beskriva, eftersom det endast är bränslets egenskaper och tillgången till bränsle som påverkar brandens utveckling och spridning. Men om föremålet som det brinner i befinner sig i ett rum, blir processen mer komplex. Låt oss därför i den fortsatta framställningen anta att initialbranden, med tillhörande bränsle, befinner sig inne i ett rum.

Batterier är en typ av föremål som kan innebära en särskild problematik. Batteribränder är en typ av så kallad högenergibrand. Högenergibränder frigör en anmärkningsvärt stor mängd (värme)energi. Begreppet högenergibrand bör användas med viss försiktighet, eftersom det inte är en officiellt erkänd term och är inte definierad.



Batteribränder kan medföra stora problem. Foto: PerOla Malmqvist.

Batteribränder har kommit att bli allt vanligare under senare år. Det beror dels på att batterier förekommer i allt fler föremål, dels på att produktutveckling hela tiden ökar den mängd energi som ett batteri kan lagra. I batterier är syre kemiskt bundet inne i batteriets beståndsdelar. Om batteriet är laddat och därmed innehåller en stor mängd energi, kan en batteribrand underhålla sig själv under lång tid. Det finns såväl bränsle som syre och värme i själva batteriet. Batteribränder är dessutom svårsläckta, eftersom det är svårt att komma in i batterier och kyla de brinnande ytor. Det har också visat sig att batteribränder utvecklar stora mängder giftiga brandgaser på kort tid och att dom kan ge upphov till flammor under högt tryck och med höga temperaturer.

Om sådana batteribränder uppstår inomhus medför detta förstås stora problem, dels på grund av de brandgaser som produceras, dels på grund av de höga temperaturer flammorna kan få. Dessutom kan batteribränder utvecklas mycket fort.

Bränslekontroll och ventilationskontroll

En brand kräver bränsle och luft för att uppstå och utvecklas. Tillgången till bränsle, samt dess egenskaper, form, utseende och placering i rummet, är viktiga komponenter som påverkar hur branden inledningsvis kommer att utvecklas. Men även mängden luft som branden har tillgång till är många gånger avgörande för hur branden utvecklas och sprider sig i ett rum och vidare i en byggnad. Vi kan kategorisera en brand i ett rum som bränslekontrollerad eller ventilationskontrollerad. Det är en förenklad men funktionell indelning, som vi kan ha stor nytta av vid räddningsinsatser. Insatsernas slutresultat kan i hög grad påverkas av hur vi hanterar branden utifrån om den är bränslekontrollerad eller ventilationskontrollerad.

En bränslekontrollerad brand är en brand vars förlopp i huvudsak styrs och påverkas av bränslets egenskaper. Ett typiskt exempel är en brand i en öppen sopcontainer som står för sig själv ute i det fria. Observera dock att det givetvis kan finnas områden i branden där tillgången till luftens syre är begränsad, till exempel inne i själva branden. En sådan brand klassificeras ändå som bränslekontrollerad, eftersom bålet som sådant har fri tillgång till luftens syre. Att det finns områden inne i bränslet handlar om bränslets form och utseende, inte brandens (bålets) tillgång till syre.

Bränslekontroll

En bränslekontrollerad brand styrs och påverkas främst av bränslets mängd, fördelning och egenskaper. Efter antändning och i början av rumsbrandens utveckling är branden normalt bränslekontrollerad. Det finns då tillräckligt med luft för förbränningen, och brandens utveckling styrs av bränslets egenskaper och dess placering. En brand kan också vara bränslekontrollerad i ett senare skede av branden.



En bränslekontrollerad brand är en brand vars utveckling i huvudsak styrs och påverkas av bränslets egenskaper. Foto: Stefan Svensson.

Även inne i ett rum eller annat utrymme kan en brand vara bränslekontrollerad. Så är fallet om utrymmet är stort i förhållande till branden eller om branden är liten i förhållande till utrymmets storlek. Ett annat exempel är om det finns stora eller många öppningar till utrymmet, så att brandgaser kan strömma fritt ut ur utrymmet och luft kan strömma fritt in. Men om branden inte längre har fri tillgång till luftens syre, blir branden ventilationskontrollerad. Det händer när syrgashalten sjunker under 21 procent.

En ventilationskontrollerad brand är således en brand vars förlopp i huvudsak styrs och påverkas av tillgången till luftens syre. Vid rumsbrand är det i stor utsträckning antalet öppningar till rummet och deras storlek som styr och påverkar brandens utveckling. Avståndet mellan branden och öppningen eller öppningarna kan också ha avgörande betydelse.



En ventilationskontrollerad brand är en brand vars utveckling i huvudsak styrs och påverkas av tillgången till syre. Foto: Stefan Svensson.

I ett stängt rum ”förbrukar” branden luftens syre genom de kemiska reaktioner som sker, så att syrgashalten i rummet sjunker. Syret deltar i förbränningsprocessen och bildar nya föreningar tillsammans med de brännbara gaserna från bränslet. Branden minskar då i intensitet. Flammorna blir mindre och mindre efterhand som halten av fritt tillgängligt syre i rummet minskar. Om rummet fortsätter att vara stängt sjunker syrgashalten till en nivå där flamförbränning inte längre kan ske. Denna nivå är ungefär 10–12 procent. Därefter fortsätter förbränningsprocessen, men då som en glödbrand.



I praktiken påverkas graden av ventilationskontroll av hur många och hur stora öppningarna är till rummet där det brinner. Foto: Åsa Brorsson.

Även glödbranden förbrukar syre genom de kemiska reaktioner som sker vid förbränningen. Om glödbranden får fortgå och rummet fortfarande är tillslutet, upphör till slut även glödbranden vid en syrgashalt på ungefär 6–8 procent. Branden självslocknar. Men redan när flammförbränningen upphör brukar vi säga att branden självslocknar. Uttrycket ”självslöckna” är på så vis inte helt entydigt.

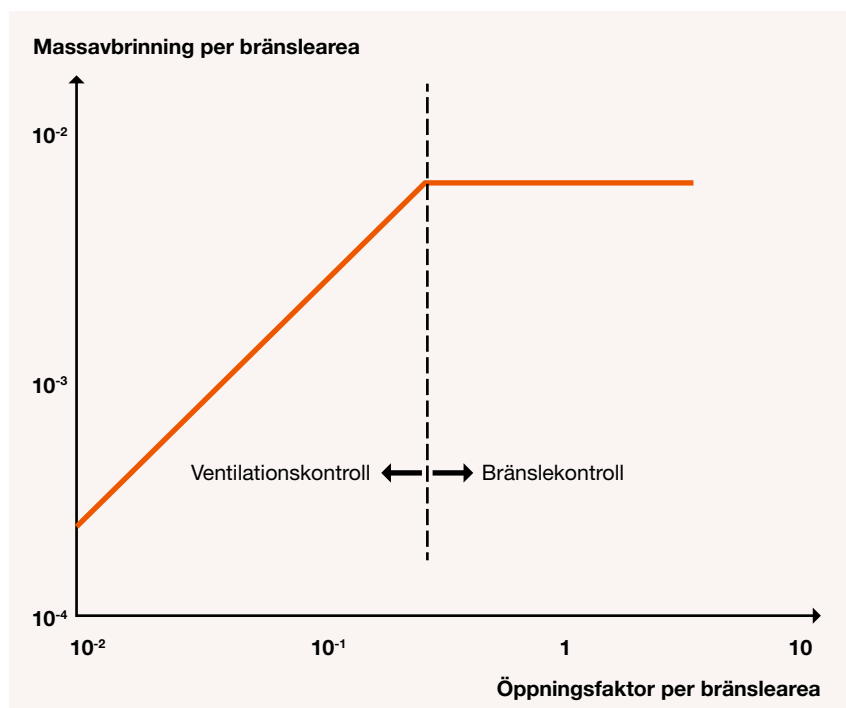
Ventilationskontroll

Ett tillstånd när en brand i huvudsak styrs och påverkas av mängden tillgänglig luft. I praktiken innebär detta att det är antalet och storleken på rummets öppningar som är avgörande för brandens utveckling.

Luftens syrehalt är normalt cirka 21 procent. Så fort syrehalten sjunker under denna nivå, blir branden ventilationskontrollerad i någon grad. I synnerhet i små utrymmen kan temperaturen förbli hög. Pyrolysen kan då fortsätta, förutsatt att det finns tillräckligt med bränsle i utrymmet

och åtminstone ett litet tillflöde av luft. Branden blir då mer och mer ventilationskontrollerad, samtidigt som det fortsätter produceras oförbrända förbränningsprodukter (pyrolysgaser) i utrymmet.

Figur 55. Förhållandet mellan avbrinningshastighet och öppningsfaktor (fritt efter Harmathy, 1972)



Diagrammet visar att en bränslekontrollerad brand alltid har full tillgång till luft, medan en ventilationskontrollerad brand kan ha en varierad grad av tillgång till luft, men alltid mindre än luftens normala syrgashalt (cirka 21 procent).

En bränslekontrollerad brand har full tillgång till luft. Det finns med andra ord cirka 21 procent syre i den tillströmmande luften. Men normalt börjar syrehalten sjunka när det brinner i stängda rum av ordinär storlek, som kök eller sovrum, och då blir branden ventilationskontrollerad. En brand kan vara ventilationskontrollerad i olika hög grad. Branden blir mer och mer ventilationskontrollerad efterhand som syrehalten i luften sjunker. Om branden har pågått under en längre tid eller om utrymmet är väldigt litet, talar vi ibland om en kraftigt ventilationskontrollerad brand.

En förbränning kan ske med luftunderskott. Detta behöver inte innebära att branden är ventilationskontrollerad. En brand i det fria är normalt bränslekontrollerad. Men om branden är mycket stor sker en stor del av förbränningen med luftunderskott eftersom luftens syre inte kan nå de inre delarna av bränslet. Ventilationskontroll kan uppstå för bränder som är inneslutna i något slags utrymme, till exempel ett rum. Det är då storleken och antalet öppningar som avgör om branden är ventilationskontrollerad eller bränslekontrollerad. Men en brand i det fria betraktas normalt som bränslekontrollerad, även om förbrännings-effektiviteten är låg på grund av dålig lufttillförsel till brandens inre delar.

Öppningsfaktor

Termen öppningsfaktor används för att beskriva ventilationsförhållandena i ett rum. Öppningsfaktorn ger oss ett samband mellan öppningarnas storlek, deras höjd och rummets storlek. Ju mindre öppningsfaktorn är, desto mindre brand krävs det för att den ska bli ventilationskontrollerad. Öppningsfaktorn har också visat sig ha stor betydelse för bland annat temperaturen i brandrummet då branden är fullt utvecklad.

Figur 56. Öppningsfaktorn kan användas för att beskriva ventilationsförhållandena i ett rum

$$\text{Öppningsfaktor} = \frac{A_0 \sqrt{H_0}}{A_t}$$

A_0 Öppningens area

H_0 Öppningens höjd

A_t Utrymmets omslutande area

Öppningsfaktorn används bland annat för att dimensionera byggnaders bärande konstruktion. Med dess hjälp går det att beräkna maximala temperaturer vid en fullt utvecklad rumsbrand. Ju mindre öppningsfaktorn är, desto lägre kan temperaturen i brandrummet bli. Temperaturen i ett brandrum har betydelse för hur länge en byggnadskonstruktion kan stå emot brand innan konstruktionen kollapsar.

Att beräkna öppningsfaktorn är särskilt enkelt för ett enskilt rum med endast en öppning. I de fall det finns flera öppningar till rummet, kan man använda den totala öppningsarean och ett medelvärde av öppningarnas höjd. Men ju fler öppningar eller om dom har olika höjd, desto osäkrare blir resultatet.

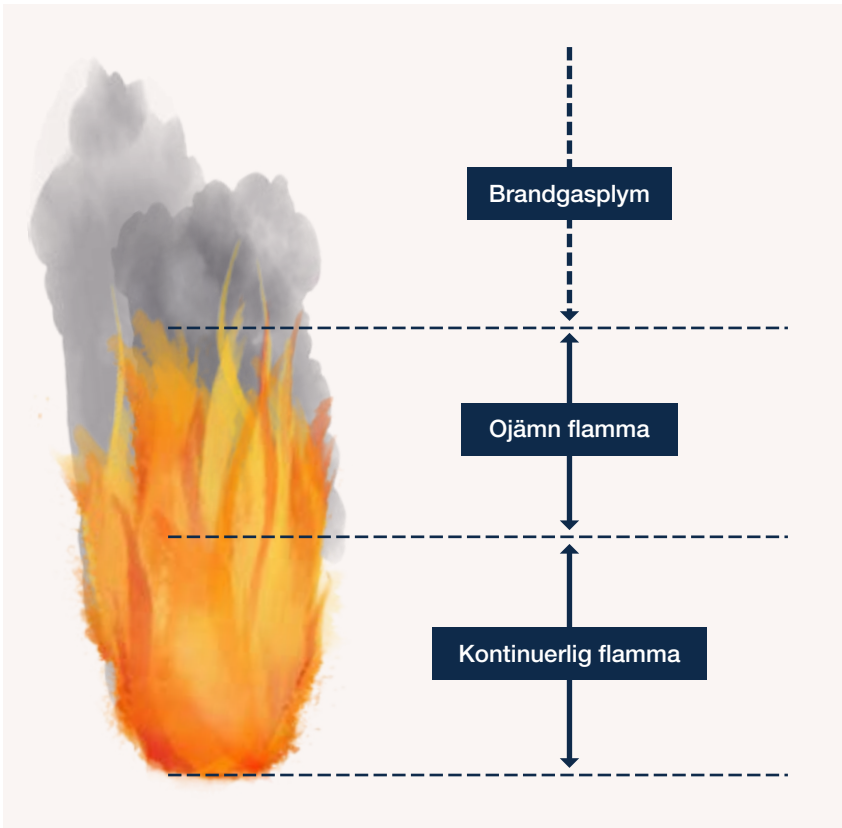
Brandplym

Brandplymen är den varma gasström som bildas i och ovanför en flamma. Brandplymens egenskaper är främst beroende av brandens storlek, det vill säga den värmeeffekt en brand utvecklar. I ett brandrum kan brandplymen delas in i tre områden:

- området nära flambasen, med den kontinuerliga flammen
- området med ojämn flamma (vi brukar ju säga att flammor ”fladdrar”)
- gasströmmen ovanför flammen, karakteriserad av att gashastighet och temperatur avtar med höjden.

Det är främst gasströmmen ovanför flammen som avses när man talar om brandplymer. Denna del utgör ju den största delen av brandplymen.

Figur 57. Brandplymen är de brandgaser som strömmar uppåt och som är i direkt anslutning till branden



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, det vill säga mängden förbränningsprodukter och luft. Brandplymens temperatur och hastighet minskar med höjden. Ett stearinljus påverkar luftströmmen ungefär en meter över lågan. För en stor brand i till exempel ett upplag kan brandplymen bli ett par kilometer hög, innan brandgaserna späts ut och svalnat och försvinner iväg med vinden.

Initialbrand och det tidiga brandförloppet

Låt oss nu återgå till brand i ett utrymme. En brand uppstår i ett startföremål. Det kan vara en soffa, matolja i en kastrull på en spis, en dator eller något annat föremål. Brandorsaken kommer inte att belysas vidare i denna bok, men utgångspunkten är att det sker någon form av energiomvandling som resulterar i värmeutveckling och brand. Det kan vara rörelseenergi som ger friktion, vilken i sin tur ger värme. Det kan också vara elektrisk energi som ger värmeenergi, till exempel på grund av en kortslutning. Med ett startföremål och en brandorsak har branden startat och vi har en initialbrand.



När brand uppstår i ett föremål i ett rum brukar detta benämnas som initialbrand.
Foto: Johnér Bildbyrå.

Den värmeutveckling som sker vid antändningen ger upphov till en brand, under förutsättning att det finns tillräckligt med bränsle som är brännbart och tillräckligt lättantändligt. Avgörande för brandens fortsatta utveckling är också att det finns ytterligare bränsle i närheten av initialbranden. Om inte, kan branden självslockna eftersom bränslet tar slut. Det måste således kunna ske en flamspridning. Den kan ske antingen genom pyrolys i mer eller mindre sammanhängande bränslen, genom att initialbrandens flammor värmer upp närliggande föremål så att dessa antänds, eller genom att de brandgaser som bildas antänds.

Om brandgaserna produceras och ansamlas i tillräcklig mängd, med en viss minsta temperatur och med ett visst brännbart innehåll, så kan branden sprida sig via brandgaserna.

Även de omgivande ytornas egenskaper påverkar om och hur initialbranden sprids. För tak- och väggmaterial med låg värmeupptagningsförmåga kan uppvärmningen av ytorna, och därmed även värmestrålningen från dessa tillbaka till initialbranden, inledningsvis bli högre. Initialbranden växer då snabbare än om tak- och väggmaterial haft hög värmeupptagningsförmåga.



Det tidiga brandförloppet. Foto: Stefan Svensson.

Brandgaserna påverkar brandens fortsatta utveckling i rummet, eftersom dom värmer upp omgivande ytor. Uppvärmningen sker dels genom konvektion när de varma brandgaserna strömmar förbi ytor i rummet, till exempel ett innertak, dels genom värmestrålning mot innertak, väggar och föremål i rummet, såsom möbler och annan inredning. Ju varmare brandgaserna blir, desto mer sker värmeöverföringen genom värmestrålning. Och ju mer partiklar (sot) brandgaserna innehåller, desto mer sker värmeöverföringen genom värmestrålning. För helt genomsiktliga brandgaser sker värmeöverföringen till stor del genom konvektion. Värmeöverföring sker även genom värmestrålning utanför det synliga området, främst genom IR-strålning (strålning i det infraröda spektrumet).

Det tidiga brandförloppet

Perioden från att en rumsbrand startar tills att övertändning inträffar. Under denna period är branden normalt begränsad till ett eller ett fåtal föremål i rummet.

Även bränslets egenskaper påverkar det tidiga brandförloppet genom bland annat mängden och typen av brandgaser som produceras. Porösa och fibrösa material, som till exempel trä, tyg och skumplaster, kan bidra till ett snabbare förlopp eftersom sådana material ofta pyrolyserar fortare och vid lägre strålningspåverkan. Vissa plaster kan också bidra till ett snabbare förlopp och en snabbare spridning av branden. Det beror på att dom kan smälta, droppa på andra material eller bilda pölbränder som till och med kan rinna iväg. Den strålningsvärme som avges från flammor vid en brand kan även medföra att plastföremål på relativt stort avstånd från branden mjuknar eller smälter och även att dom börjar pyrolysera, utan att direkt delta i branden. Det smälta materialet kan sedan antändas genom värmestrålning från branden, genom brinnande droppar, eller genom att något brinnande föremål faller ner i det smälta materialet. Smält plast beter sig på så vis ungefär som en brännbar vätska.

Såsom tidigare beskrivits producerar vissa bränslen mer oförbrända pyrolysgaser eller större mängder brandgaser än andra. Till exempel så producerar metanol såväl mindre mängder oförbrända gaser som mindre mängder sot än ett bildäck som brinner. Men om förbränningen sker med dålig lufttillgång, kan initialbranden snabbt bli ventilationskontrollerad så att förbränningseffektiviteten blir mycket dålig. I sådana fall kan det produceras stora mängder oförbrända förbränningsprodukter från de flesta typer av bränslen.



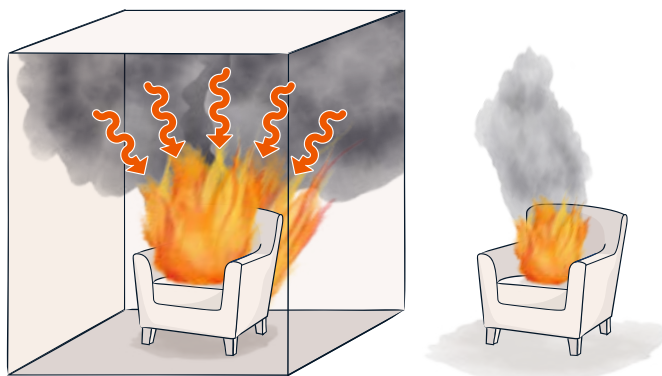
Porösa material med lägre värmeupptagningsförmåga påverkas fortare av en brand och antänds därför också fortare. Fåtöljens trästomme, som har högre värmeupptagningsförmåga, antänds långsammare. I bilden är trästommen nästan opåverkad, eftersom det krävs mer energi för att den ska pyrolysera. Foto: Stefan Svensson.

Bränslets form, utseende och placering i rummet påverkar brandspridningen. Brand i en spånskiva som ligger plant på ett golv och antänds mitt på kommer att sprida sig långsamt utåt. Flamman sprider sig långsamt över materialet, eftersom värmeåterföringen främst sker genom värmestrålning och att det är ett stort avstånd mellan flamman och ytan. De delar av spånskivan som ännu inte brinner påverkas då så gott som uteslutande av värmeåterföring från flammorna. Om spånskivan i stället står upp, sker flamspridningen över skivan snabbare. Det beror

på att såväl de bildade brandgaserna som flammorna värmer upp ovanliggande ytor, genom konvektion och värmestrålning. Är flammorna närmare en yta, är värmestrålningen mot ytan mycket större. Allra snabbast sker flamspridningen över skivan om den sitter i taket, med brand på undersidan. Hur mycket strålning som träffar en yta beror på avståndet till det föremål som strålningen kommer ifrån. Branden växer sig stor fortare, vilket gör att hela rummet och rummets övriga föremål värms upp fortare. Brandspridningen i rummet, till andra föremål, går då också fortare.

Även bränslets placering i rummet påverkar brandförloppet. Om till exempel en brinnande fåtölj står intill en vägg, värms väggen upp fortare än om fåtöljen står mitt i rummet. Det sker dels genom konvektion när brandgaserna strömmar förbi väggen, dels genom värmestrålning från branden. Och efterhand som väggen värms upp, kommer den att återstråla på fåtöljen. Fåtöljen, inklusive de delar av den som ännu inte brinner, värms upp fortare och pyrolysen ökar. Branden ökar då i intensitet fortare, det vill säga att effektutvecklingen ökar fortare. Dessutom kan även väggen börja pyrolysera och bidra till brandens tillväxt och spridning. Även en obrännbar vägg i betong eller gips har normalt ett brännbart ytskikt i form av tapet eller målarfärg. Ett sådant tunt skikt kan vara tillräckligt för att flamspridning ska ske över ytan.

Figur 58. Bränslets placering i rummet påverkar brandens utveckling och spridning



I figuren till vänster påverkas branden dels av strålning från flammorna och dels av strålning från brandgaserna och från varma takytor. I figuren till höger påverkas branden endast av flammorna.

Om bränslet är placerat mot en vägg, begränsar väggen luftens tillströmning till branden. När mindre luft blandas in går reaktionerna i flamman långsammare, och temperaturen på brandgaserna sjunker inte lika mycket med höjden. Då sträcks flamman ut och blir högre. Dessutom begränsas förbränningen på grund av den minskade lufttillförseln. Flamman blir högre för att förbränningen ska kunna bli mer fullständig. Detta medför dels att värmestrålningen mot väggen ökar fortare, dels att värmestrålningen mot övriga ytor och föremål i rummet blir större (eftersom flamman blir större och brandgaserna varmare). Rummets ytor och föremål värms upp fortare, och branden kan då också sprida sig fortare i rummet. Är branden i ett hörn begränsas lufttillförseln ytterligare, med konsekvensen att flammorna blir ännu högre.



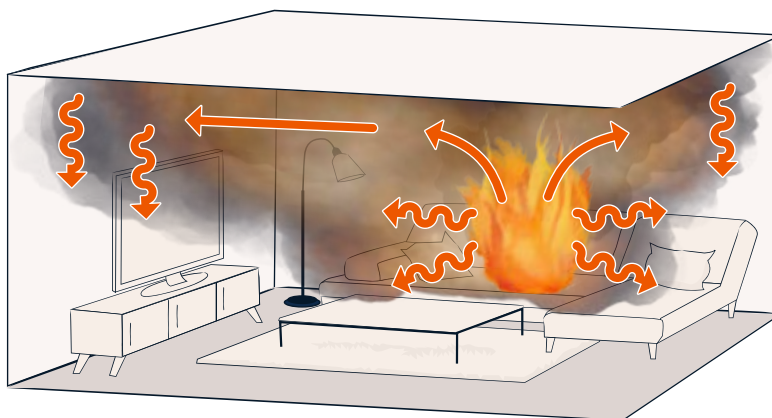
Flamnor i ett hörn blir högre än mitt på en vägg eller mitt i ett rum. Foto: Stefan Svensson.

Efter hand som initialbranden fortgår och sprider sig i rummet, bildas det även mer brandgaser. Observera att initialbranden normalt är bränslekontrollerad, även om rummet är helt slutet och under förutsättning att branden inte växer allt för fort. Det finns ju fortfarande tillräckligt med syre i rummet, det vill säga cirka 21 procent. Detta förändras när syrgashalten i rummet börjar sjunka. Hur fort syrgashalten sjunker beror bland annat på rummets storlek och på hur fort branden växer, det vill säga hur fort effektutvecklingen ökar.

De brandgaser som bildas från initialbranden stiger upp mot taket, eftersom dom är varma och har lägre densitet än den omgivande luften i rummet. Dom träffar taket och breder ut sig. Dessa initiala brandgasers utbredning under ett tak kallas ibland för takstråle. Det är takstrålen som normalt ska aktivera brandvarnare, rökdetektorer och sprinklerhuvuden. Efterhand bildas det ett så kallat brandgaslager närmast taket i rummet, det vill säga ett lager med varma brandgaser. Brandgaslagret fylls på efter hand och undersidan sänker sig mot golvet.

Detta brandgaslager bidrar till uppvärmningen av rummets alla ytor, inklusive väggar, tak och lösa föremål i rummet. Värmeöverföringen från brandgaserna till sådana ytor sker dels genom konvektion, det vill säga att de varma brandgaserna strömmar förbi kallare ytor. Denna värmeöverföring sker främst mot taket, men även mot de delar av rummets väggar som möts av brandgaser. Efterhand som brandgaslagret fylls på, kommer brandgaserna att påverka rummets väggar allt längre ner. Dels sker värmeöverföringen från brandgaslagret genom värmestrålning. Detta påverkar då samtliga ytor som är exponerade för brandgaserna. Ju närmre ett föremål är brandgaserna, desto mer värmeenergi överförs genom värmestrålning. Och ju varmare brandgaserna blir, desto mer värme överförs till ytor och föremål i rummet, genom såväl konvektion som värmestrålning.

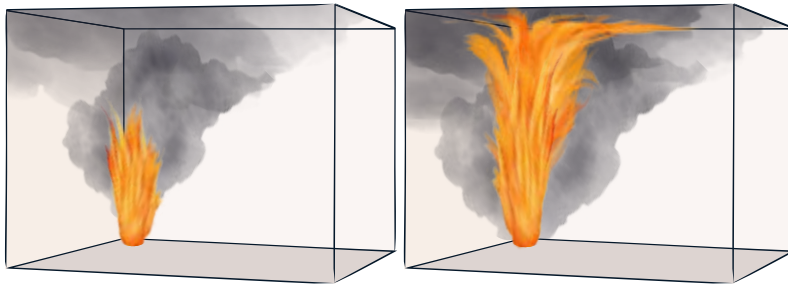
Figur 59. Brandgaserna stiger uppåt, breder ut sig under taket och värmer upp rummets ytor



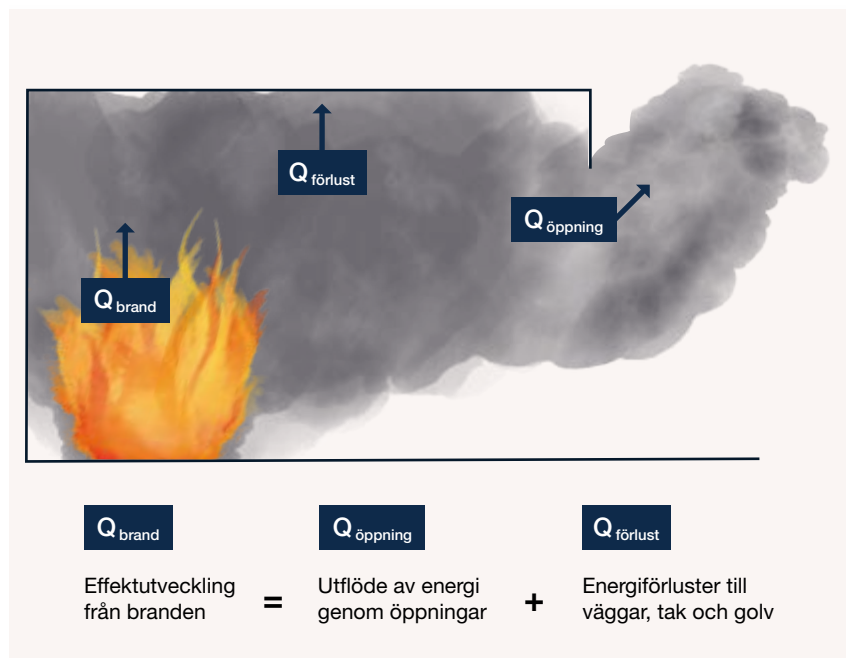
Under det tidiga brandförloppet sker värmeöverföring mot taket främst genom konvektion. Värmeöverföring mot andra ytor i rummet sker främst genom strålning från brandgaserna. Ju högre temperatur på brandgaserna, desto mer värmeöverföring sker genom strålning.

Viktigast i denna process är värmestrålningen. Både från värmeledning och konvektion är värmetransporten proportionell mot temperaturskillnaden: en liten temperaturökning ger en liten ökning i värmetransporten. Med värmestrålning är det annorlunda. Den ökar med temperaturen upphöjt till fyra, vilket gör att även en liten temperaturökning ger en kraftig ökning i värmestrålningen.

Figur 60. När flammorna når taket, böjer dom av och följer taket



När flammorna når upp till taket, böjer de av och följer taket. Detta medför att värmestrålningen från flammorna ökar mot såväl taket som golvet och de övre delarna av väggarna. Uppvärmningen av rummets ytor går då fortare, pyrolysen av brännbara material ökar, och branden börjar nu sprida sig allt fortare.

Figur 61. Energibalans för brand i rum

Eftersom energi varken kan skapas eller förstöras, måste det hela tiden vara en balans i rummet, en balans mellan såväl energi som massa. Den energi som utvecklas när bränslet brinner kommer att värma upp rummets omslutande ytor (tak, väggar och golv). Samtidigt strömmar energin ut ur rummet med de brandgaser som bildas i branden. Dessutom sker en viss återföring av energi tillbaka till bränslet, så att branden kan fortgå. Summan av den energi som strömmar ut ur rummet, den energi som överförs till ytor och föremål och den energi som återförs till branden i rummet motsvarar den energi som utvecklas av branden. På motsvarande sätt är det med massan i rummet. De brandgaser som strömmar ut ur rummet, måste ersättas med luft som strömmar in. Energi och massa i rummet måste hela tiden befinna sig i balans. Dessa båda mekanismer är huvudorsakerna till bland annat flödet av brandgaser i och ut ur en byggnad.

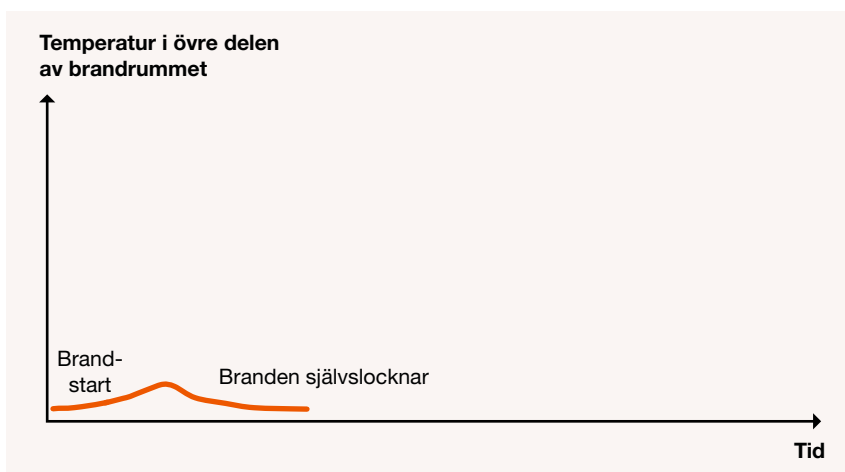
Det fortsatta brandförloppet

I grova drag kan initialbranden utvecklas på tre olika sätt:

1. Branden självslocknar.

Detta kan ske om det inte finns tillräckligt med bränsle i rummet, om det är för stora avstånd mellan olika bränslen, om det inte bildas tillräckligt med brandgaser eller om rummet är helt stängt så att syrgashalten sjunker under cirka 10–12 procent. Observera dock att även om branden självslocknar kan de brandgaser som produceras vara tillräckliga för att döda en människa.

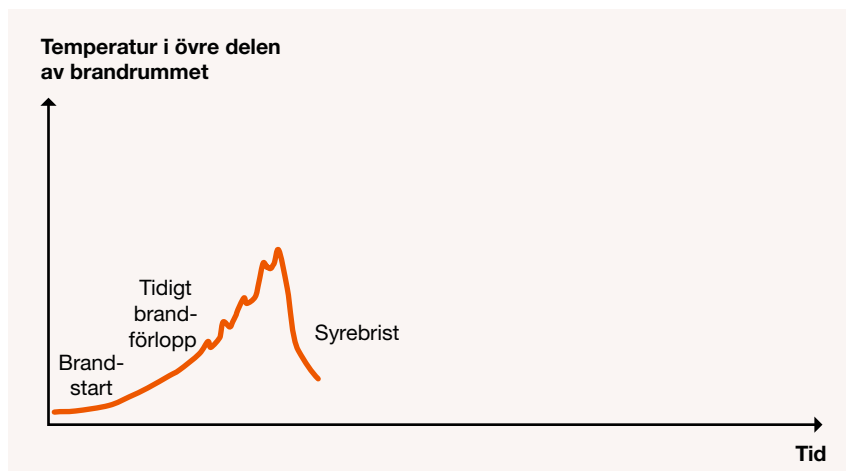
Figur 62. Branden självslocknar



2. Branden minskar kraftigt i intensitet, men fortsätter att brinna.

Detta kan ske om det finns otillräckligt med ventilationsöppningar till rummet (fönster, dörrar med mera) så att endast en begränsad mängd luft kan strömma in till branden. Branden kan då fortgå under mycket lång tid och eventuellt fortsätta producera stora mängder pyrolysgaser. Den här typen av bränder kan leda till bland annat så kallad backdraft, något som kommer att behandlas senare. Men det kan även hända att branden återupptar sitt förlopp om en dörr eller ett fönster öppnas eller om ett fönster går sönder som en följd av värmepåverkan från branden. Brandens utveckling kan då gå mycket fort, eftersom det finns en stor mängd oförbrända brandgaser samt att det kan vara mycket värme i rummet. Man talar då ibland om så kallad ventilations-inducerad övertändning.

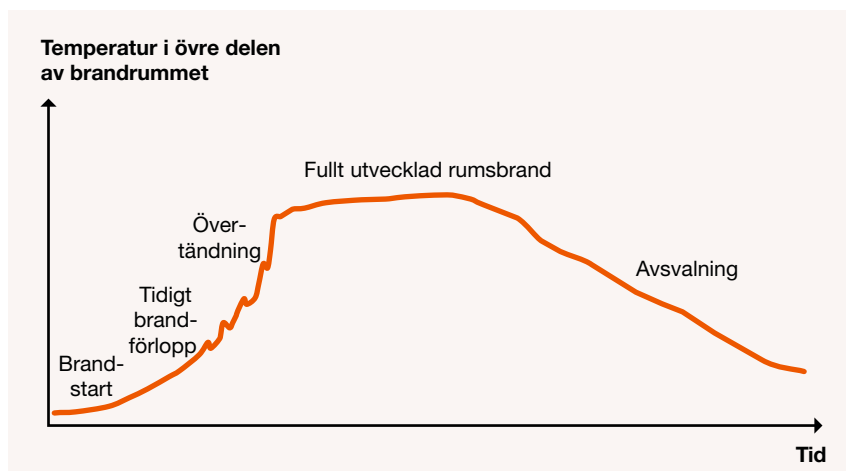
Figur 63. Branden minskar kraftigt i intensitet, men fortsätter att brinna



3. **Brandförloppet övergår till en övertändning, vilket resulterar i en fullt utvecklad rumsbrand.**

Detta kan ske om det finns tillräckligt med bränsle (föremål eller brännbara ytor) i rummet, om spridning mellan föremålen kan ske och det finns tillräckligt med ventilationsöppningar så att luft kan strömma in. Detta är ett grundläggande scenario som är relativt enkelt att förklara och beskriva.

Figur 64. Brandförloppet övergår till en övertändning, vilket resulterar i en fullt utvecklad rumsbrand



Fall 2 och fall 3 är tämligen likartade, och gränsen mellan dom kan många gånger vara svår att definiera. Den stora skillnaden kan vara brandspridningshastigheten, eftersom rummets ytor och föremål troligen kommer att vara mer uppvärmt i fall 2 än i fall 3. Det kan överhuvudtaget vara svårt att i praktiken skilja mellan olika typer av hastiga brandförlopp, i synnerhet när det är brandgaser som antänds. Skillnaderna är ofta hårfinna, samtidigt som definitioner och förklaringar är baserade på välkontrollerade försök i laborativa miljöer.

Om det fortfarande finns tillräckligt med luft i rummet blir ytor och föremål i rummet så småningom så varma och producerar så mycket pyrolysgaser att dessa antänds under en relativt kort tidsperiod. Detta underlättas särskilt om det finns en eller flera öppningar där luft kan strömma in.

Vi har då nått det skede i branden som kallas övertändning, det vill säga fall 3 i beskrivningen ovan.

Övertändning

Om initialbranden får fortgå och har tillräckligt med syre för att växa, inträffar ett stadium där strålningen från branden, de varma gaserna och de varma ytorna gör att alla brännbara ytor i brandrummet pyrolyseras och antänds. Detta stadium av kraftigt ökande brand kallas övertändning, och det hänger nära samman med det tidiga brandförloppet och den fullt utvecklade branden.

Tid 2:11

Rumsbrand

Tid 2:14

Tid 2:17

Tid 2:19

Under en rumsbrand kan det hända att den termiska strålningen från branden, de varma gaserna och de varma ytorna gör att alla brännbara ytor i brandrummet pyrolyseras och antänds. Detta plötsliga och sammanhängande övergångsstadium av ökande brand kallas övertändning. Tiden är angiven i minuter och sekunder från antändning. Foto: Lars Axelsson.

När övertändningen inträffar övergår branden från att vara bränslekontrollerad till att bli ventilationskontrollerad. Det finns nu inte längre tillräckligt med luft i rummet för att allt pyrolyserat bränsle ska kunna brinna. Det kan givetvis fortfarande ske en viss flamförbränning inne i rummet, beroende av hur mycket luft som kan strömma in i rummet. Temperaturen i rummet är fortfarande mycket hög, vilket innebär att det fortsätter produceras stora mängder pyrolysgaser. Flamförbränningen av dessa gaser sker till stor del utanför rummet, även om de grundläggande kemiska reaktionerna för förbränning sker inne i rummet. Observera att en brand i vissa fall kan vara ventilationskontrollerad även före övertändningsskedet, men då av låg grad.

Övertändning

Ett stadium i en rumsbrand 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.

Ett tydligt tecken på att övertändning sker eller har skett, är att de brandgaser som strömmar ut genom öppningar antänds. Det kommer då att brinna med kraftiga flammor ut genom rummets öppningar (dörrar och fönster). Inne i rummet går det då inte längre att överleva, dels på grund av temperaturen, dels på grund av den stora mängden förbränningsprodukter (pyrolysgaser).

En övertändning är således inte något särskilt fenomen, utan snarare en övergångsperiod. Branden övergår från att vara bränslekontrollerad och brinna endast i ett eller ett fåtal föremål till att bli ventilationskontrollerad (i hög grad) och involvera alla brännbara ytor i rummet. Efter övertändningen sker en stor del av flamförbränningen utanför rummet, eftersom det inte finns tillräckligt med syre i rummet för att fullständig förbränning ska kunna ske där. Däremot är temperaturen ofta hög, och en omfattande pyrolys sker inne i rummet.



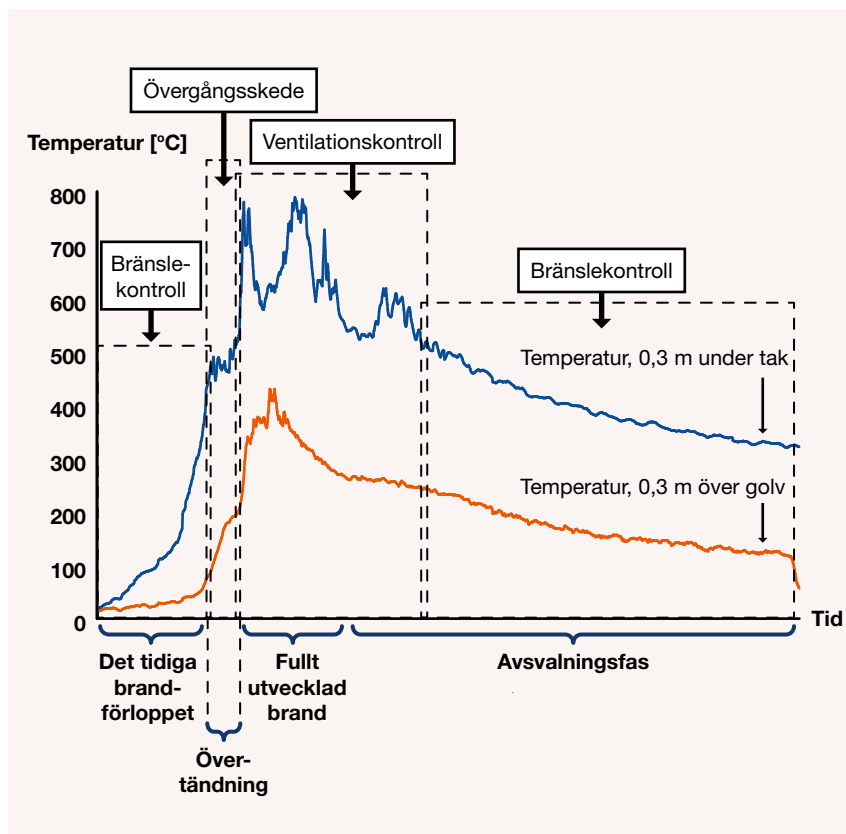
En övertändning är ett övergångsskede från att branden är bränslekontrollerad till att branden blir ventilationskontrollerad. Foto: Stefan Svensson.

Denna beskrivning förutsätter att branden inledningsvis och under tillväxten är bränslekontrollerad, det vill säga att det finns tillräcklig tillgång till luft i rummet. När övertändningen inträffar övergår branden till att bli ventilationskontrollerad. De oförbrända gaserna brinner då utanför rummet, vilket syns i form av flammor genom öppningar.

För att en övertändning ska kunna ske måste initialbranden kunna växa sig tillräckligt stor och få en tillräckligt hög effektutveckling, så att en omfattande pyrolys av rummets ytor kan ske. Denna effektutveckling beror på bland annat rummets storlek, väggarnas termiska egenskaper och ventilationsarean. Det krävs en tillräcklig mängd bränsle och bränsleyta för att ge denna effektutveckling. Ofta är effektutvecklingen tillräckligt stor för att ge övertändning i bostäder eller kontor, men det händer att initialbranden i stället slocknar på grund av bränslebrist.

Eftersom övertändning är ett skede är det svårt att ange en exakt definierad tidpunkt för när den inträffar eller hur lång tidsperioden är. De kriterier som används är framför allt temperaturen i brandgaslagret och värmestrålningen till golvet, något vi inte har möjlighet att mäta i samband med räddningsinsatser. Den hastighet som temperaturen ökar med under övertändningsperioden är dock mycket hög. Under några enstaka sekunder kan temperaturen öka flera hundra grader.

Generellt brukar man säga att när temperaturen är över cirka 600 °C i brandgaslagret så har en övertändning inträffat. På motsvarande sätt brukar man säga att när strålningsnivån mot golvet överstiger cirka 20kW/m² har övertändning inträffat (för normala takhöjder, cirka 2,5 m). Men det tydligaste kriteriet för övertändning är att flammor slår ut genom öppningar. Observera att flammor kan slå ut genom öppningar även av andra anledningar, till exempel att det står en brinnande soffa precis innanför ett fönster. Det kan då vara lätt att göra en felaktig bedömning av situationen.

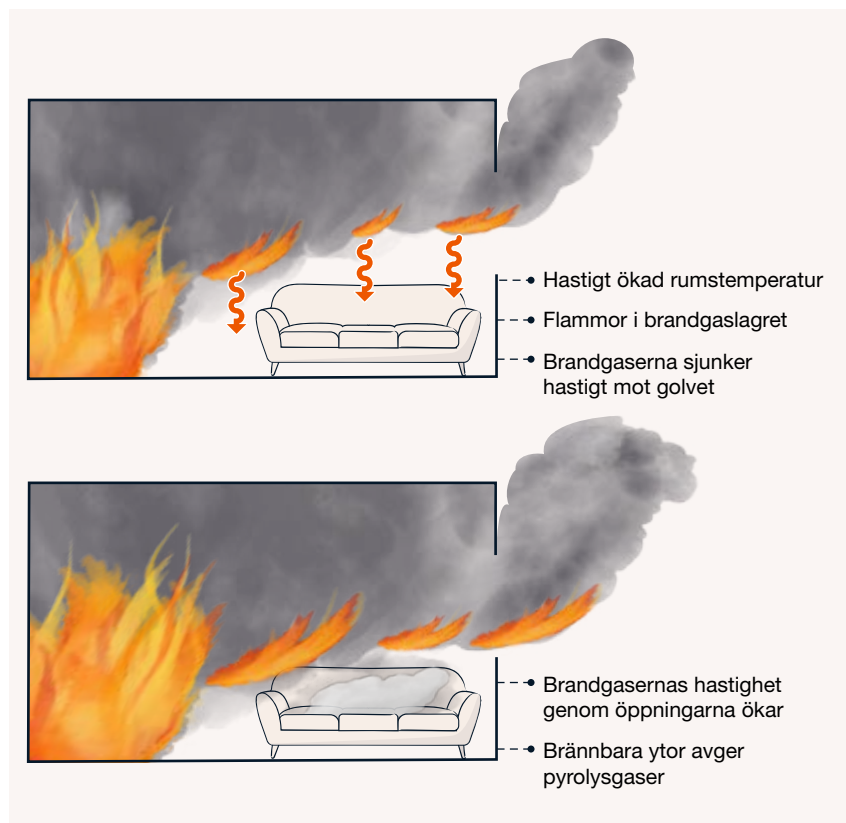
Figur 65. Exempel på temperaturens utveckling i ett brandrum

Definitionen av övertändning bygger i stor utsträckning på experiment i kontrollerade miljöer, även om det också finns en stor mängd erfarenhet som säger samma sak. I verkliga fall kan det vara svårt att avgöra när en övertändning sker och hur förloppet då ser ut. Definitionen har varit något vag för att direkt kunna användas i praktiska sammanhang, och det har som en konsekvens av detta uppstått olika tolkningar av vad övertändning innebär. Ofta har dessa tolkningar uppstått vid observation av fenomenet i kombination med bristande kunskaper kring de grundläggande faktorer som styr och påverkar brandens utveckling i rum. Detta tyder på att övertändning är ett fenomen som kan vara svårt att identifiera och förstå. Vi behöver därmed ha goda kunskaper kring de faktorer som påverkar hur brand utvecklas i rum för att kunna göra bra bedömningar i samband med räddningsinsatser.

Det finns således ett antal förklaringar och beskrivningar av fenomenet övertändning, där de allra flesta i stor utsträckning baseras på experiment under kontrollerade former. Generellt kan man säga att en övertändning kännetecknas av

- en övergång från en lokal brand i ett eller ett fåtal föremål till att alla brännbara ytor i rummet är involverade i branden
- en övergång från att branden är bränslekontrollerad till att den blir ventilationskontrollerad
- brandgaser som plötsligt sänks mot golvet och ökar såväl värmestrålningen mot rummets föremål och ytor som konvektionen mot rummets övre delar
- en plötslig antändning av och flamspridning i de brandgaser som samlats i rummet övre del, med en kraftig ökning av värmestrålning mot rummets ytor som följd.

De två sistnämnda kännetecknen är viktiga att komma ihåg, eftersom dom pekar på att brandgaserna är en viktig komponent för att övertändning ska kunna ske. Ett bränsle som inte producerar några större mängder brandgaser leder sällan till övertändning i utrymmet. Med flammor i brandgaserna sker en snabb temperaturökning. Det är denna temperaturökning som ger drivkraften i övertändningsprocessen. När temperaturen i brandgaserna ökar från till exempel 300 °C till 600 °C innebär det en dubblering, dvs en ökning med en faktor 2. Samtidigt ökar värmestrålningen från brandgaserna med temperaturen upphöjt till fyra, vilket ger en mycket stor ökning av värmestrålningen.

Figur 66. Tecken på nära förestående övertändning

En övertändning leder alltid till en fullt utvecklad rumsbrand. Och den fullt utvecklade rumsbranden är följaktligen ventilationskontrollerad.

Fullt utvecklad rumsbrand

Efter att en övertändning skett, är samtliga föremål och ytor i rummet involverade i branden. Temperaturen är hög, branden är ventilationskontrollerad, flammor slår ut genom öppningar och det bildas stora mängder pyrolysgaser inne i rummet. Branden är nu fullt utvecklad. Under detta skede sker en stor del av flamförbränningen utanför rummet. Detta beror på att branden är ventilationskontrollerad samtidigt som branden producerar ett överskott av brännbara gaser.



En fullt utvecklad rumsbrand är ventilationskontrollerad. Foto: Åsa Brorsson.

Eftersom branden är ventilationskontrollerad förbränns inte allt pyrolyserat bränsle inne i brandrummet. En stor del brinner på utsidan efter att där ha blandats med mer luft: flammor slår ut genom rummets 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. Detta förutsätter också att den konstruktion som omger brandrummet inte ger vika. Temperaturer på 800–900 °C är vanliga, men temperaturen beror på öppningarnas storlek och antal. Begreppet öppningsfaktor kan användas för att beskriva ventilationskontrollerade bränder. Det ger ett mått på öppningarnas storlek i förhållande till rummets omslutningsyta. Öppningsfaktorn påverkar även massavbrinningen i rummet och ger även ett mått på brandens effektutveckling. Så länge det finns bränsle i rummet och tillgång på syre för förbränning, håller sig temperaturen på denna nivå. Om öppningsfaktorn är känd, går det att ungefärligt beräkna effektutvecklingen i rummet.

I detta skede finns det normalt ingen möjlighet att överleva i rummet. Inte ens med fullgod skyddsutrustning går det att överleva under någon längre tid, i praktiken endast ett fåtal sekunder. Under den fullt utvecklade rumsbranden är värmestrålningen från branden mot rummets omslutande ytor mycket kraftig. Värmestrålningen kommer då främst från de varma och ibland lågande brandgaser som bildas i rummet, men även från andra flammor i utrymmet. Och när ytorna i rummet värms upp på grund av värmestrålning, leds värmen in i väggarna, takets och golvets konstruktion. I vissa fall kan värmeledningen genom väggar, tak och golv bli så kraftig att branden sprids till brännbart material på andra sidan.

Fullt utvecklad rumsbrand

Ett stadium som inträffar efter att övertändning uppnåtts. Branden är då ventilationskontrollerad. Flammor sprider sig ut genom byggnadens öppningar. En stor del av förbränningen sker utanför rummet.

När branden är fullt utvecklad kan risken för ras bli ett problem. Ju längre branden får fortgå, desto större blir risken att byggnadens bärande delar kollapsar. Värmen som leds in i konstruktionen påverkar de material som finns i konstruktionen. Byggnaders bärande förmåga är konstruerade för att motstå brand under en viss tid. Den bärande konstruktionen dimensioneras olika beroende på byggnadstyp. Det är vanligt att klassificera byggnader som att dom ska kunna motstå brand upp till flera timmar, men beroende på brandens karaktär kan denna tid vara avsevärt kortare. Det är dock ovanligt att byggnader kollapsar fullständigt. Där emot kan det ske mer eller mindre lokala ras, att stålbalkar förvrängs eller att tak rasar in. Om byggnaden är i trä, och det inte sker någon släckinsats, kan byggnaden kollapsa och brinna upp helt och hållet.



Ju längre branden får fortgå, desto större blir risken att byggnadens bärande delar kollapsar. Foto: Åsa Brorsson.

Den fullt utvecklade branden i ett rum påverkas bland annat av

- bränsle
 - mängd, typ, densitet, form och placering
- syre
 - eventuella öppningars storlek, form och antal
- värmetransport och värmeöverföring
 - som i sin tur påverkas av rummets form, rumsyornas storlek och värmeegenskaper.

Den fullt utvecklade branden fortgår så länge det finns bränsle tillgängligt. När bränslet börjar ta slut, övergår branden i den så kallade avsvalningsfasen. Branden blir då återigen bränslekontrollerad, eftersom det kan strömma in mer luft i rummet än vad som krävs för att förbränna de brännbara gaser som bildas. Observera dock att vi än så länge utgår från att endast ett rum brinner samt att detta rum inte rasar samman på grund av branden.

Avsvalningsfasen

När bränslet i rummet börjar ta slut, övergår branden i den så kallade avsvalningsfasen. Branden blir då att återigen bränslekontrollerad. Om branden inte släcks kan avsvalningsfasen pågå under lång tid, ofta något dygn. Under detta stadium är glödbränder mycket vanliga.

Verkligheten är dock mer komplex. Det är sällan rumsbranden når avsvalningsfasen, eftersom den då med största sannolikhet har spridit sig till andra delar av byggnaden och att byggnaden då mer eller mindre har rasat samman. Även sådana förlopp leder i och för sig till en avsvalning, men brandrummet är då inte längre intakt och vi kan inte längre tala om en rumsbrand.

Avsvalningsfas

Perioden efter en fullt utvecklad rumsbrand, när temperaturen sjunker och branden återigen blir bränslekontrollerad.

Om räddningstjänsten har gjort en insats och släckt branden, kan man inte heller tala om någon avsvalningsfas. Från ett vetenskapligt perspektiv bygger beskrivningen av brandens avsvalningsfas på att branden får utvecklas och sprida sig helt utan mänsklig inverkan, att den inte sprider sig utanför det initiala brandrummet och att rummet är intakt. Om branden sprider sig till flera rum kan det också uppstå en avsvalningsfas, men även detta fall baseras på att branden inte sprider sig utanför dessa rum och att dessa rum är intakta.



Brandens avsvältningsfas bygger på att branden utvecklas och sprids helt utan mänsklig inverkan men att branden inte sprider sig utanför det initiala brandrummet.
Foto: Stefan Svensson.

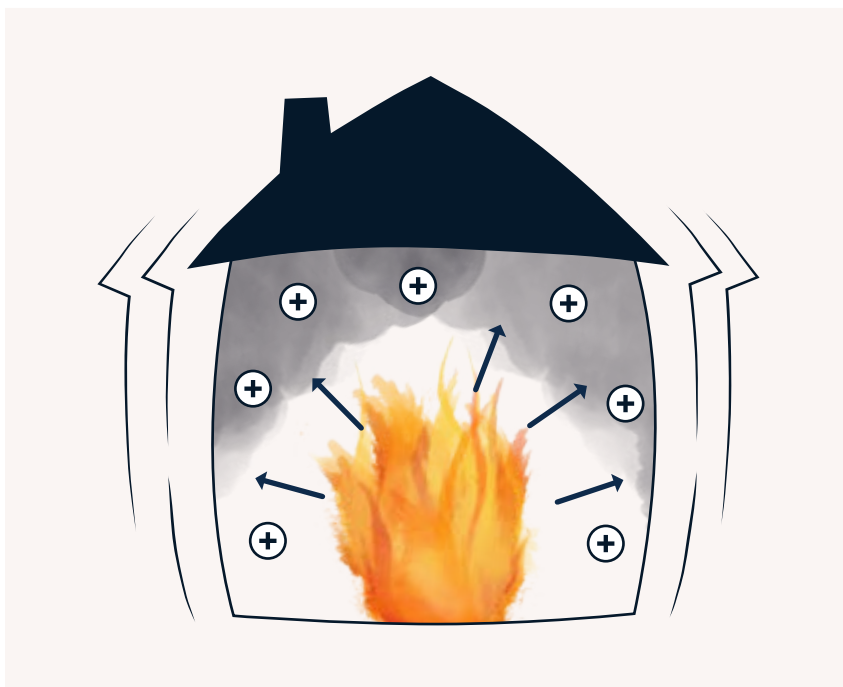
Även om branden har spridit sig till hela byggnaden så att denna har brunnit ner till grunden, skulle man kunna tala om en sorts avsvältningsfas. Bränslet håller då på att ta slut, men branden har övergått från att vara en rumsbrand (eller en brand i byggnad) till att vara en brand i det fria, ungefär som en brand i ett enstaka föremål. Termen avsvältningsfas kan då inte användas på samma vis som vid en rumsbrand.

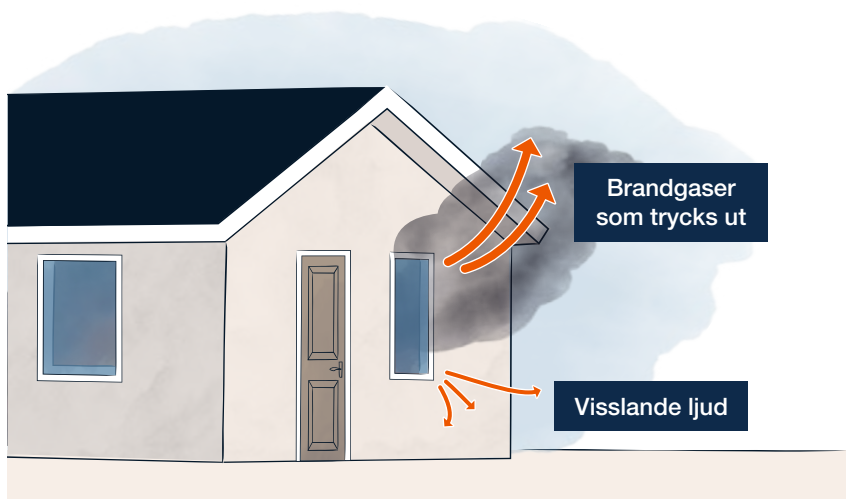
Tryckförhållanden i rum vid brand

Vid förbränning frigörs energi. Denna energi medför att temperaturen ökar, det vill säga att molekylerna rör sig fortare. Molekylerna behöver då mer plats, vilket bland annat medför att de varma brandgaserna tar upp mer plats ju varmare dom blir. Brandgaserna expanderar. Dessutom blir dom då lättare än den omgivande (kallare) luften, vilket gör att brandgaserna stiger uppåt. Densiteten för varm luft (och varma brandgaser) är lägre än för kall.

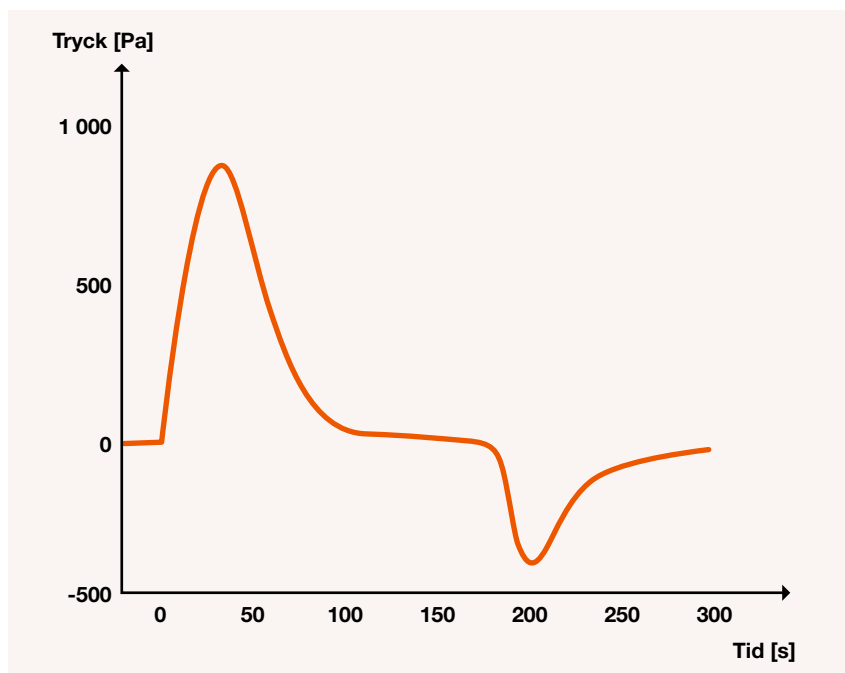
Vid en brand i ett helt stängt rum byggs ett övertryck upp till följd av att luften värms upp och expanderar. Det måste inte brinna för att en sådan termisk expansion ska ske, men i utrymmen utan brand blir tryckuppbyggnaden liten. Vid brand, där temperaturen kan nå många hundra grader, kan denna tryckskillnad däremot ha en avsevärd påverkan, i synnerhet om branden utvecklas och växer snabbt. Om en brand uppstår i ett helt slutet rum sker inte heller något utbyte med omgivningen av gaser eller partiklar (massa).

Figur 67. Vid brand i ett helt stängt rum sker en tryckuppbyggnad



Figur 68. Utvändiga tecken på termisk expansion

Oftast finns ett visst luftläckage i brandrummet, till exempel i form av komfortventilation eller otätheter vid fönster och dörrar eller i andra konstruktionsdetaljer. Eftersom en brand i ett rum normalt växer, jämnas trycket efterhand ut på grund av otätheter och läckage. Tryckökningen blir därför endast i storleksordningen någon enstaka Pascal, om det alls blir någon tryckökning i rummet. Detta beror i stor utsträckning på öppningarnas storlek i förhållande till brandens tillväxthastighet. Men även tiden spelar in eftersom det sker en tryckutjämning över tiden. Om det inte finns några öppningar alls eller om öppningarna är mycket små, kan trycket i rummet eller byggnaden kortvarigt bli flera hundra Pascal.

Figur 69. Exempel på tryckuppbyggnad i en helt stängd brandlägenhet

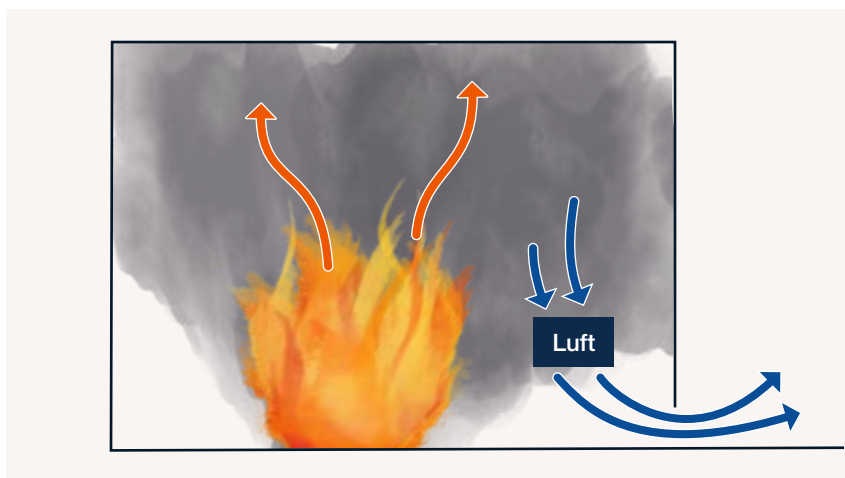
Direkt efter antändning stiger trycket hastigt. Därefter jämnas trycket ut på grund av de läckageytor som normalt finns vid fönster och dörrar samt via ventilationen. När branden blir ventilationskontrollerad, sjunker brandens intensitet, temperaturen sjunker och trycket blir negativt så att luft sugas in. Källa: Rein, 2007.

Trycket kan öka kraftigt och hastigt i rummet. Det kan bero på att branden växer hastigt eller att den redan i det tidiga brandförloppet är relativt stor, till exempel om det är en utspilld brännbar vätska som antänds. Denna tryckökning är som mest direkt proportionell mot temperaturökningen. Även i detta fall jämnas trycket i praktiken ut relativt snabbt.

Om rummet har en öppning, kommer det tryck som uppstår att utjämnas ännu snabbare. Hur fort utjämningen sker beror bland annat på öppningens storlek. Delvis kan det även bero på hur långt ifrån branden det finns en öppning. Detta är främst aktuellt vid mycket stora byggnader eller om byggnaden har flera rum som förbinder det primära brandrummet med öppningen till det fria. Då blir det i stället öppningarna mellan dessa rum som kommer vara avgörande för hur fort trycket i brandrummet och övriga rum utjämnas. Varje sådan öppning eller förbindelse mellan rummen kommer att innebära en begränsning av flödet, och det sker en tryckförlust när gaser strömmar genom öppningen.

I ett rum som har en liten öppning i förhållande till rummets storlek kan trycket i rummet vara relativt högt under lång tid. Det samma kan hända i ett rum där branden växer fort. Utifrån kan detta synas genom att brandgaser tydligt flödar ut genom öppningar, eventuellt under visst tryck (det vill säga hastigheten eller flödet uppfattas som ”hög” eller ”stor” i någon mening). Om vi försöker stänga en dörr till ett brandrum, kan vi ofta också uppfatta dörren som svår att stänga. Det beror på att temperaturen är hög i rummet och att brandgaserna expanderar. När dörren väl är stängd kan vi ofta observera att trycket sjunker i rummet eftersom vi då har begränsat lufttillförseln med följd att brandeffekten minskar, temperaturen sjunker och trycket minskar, eftersom brandgaserna minskar i volym när temperaturen sjunker.

Figur 70. I ett brandrum med läckageytor kommer trycket att jämnas ut



Detta kan således också få till följd att trycket sjunker när temperaturen sjunker i ett förhållandevis tätt rum eller i en förhållandevis tät byggnad. Det skulle till exempel kunna ske när branden efter en tillväxtperiod blir ventilationskontrollerad på grund av syrebrist, så att dess effektutveckling minskar och temperaturen följaktligen sjunker. Om så är fallet är det inte helt självklart att det syns från utsidan att det pågår en brand i rummet. Eftersom temperaturen och därmed trycket i byggnaden sjunker, kommer luft att strömma in i byggnaden genom eventuella läckageytor. Då syns inte nödvändigtvis några brandgaser från utsidan, även om det fortfarande är en pågående ventilationskontrollerad brand

i byggnaden. Så småningom kommer trycket att ha utjämnats genom att luft strömmar in. Detta tillskott av luft kan göra att branden växer igen, att temperaturen och därmed även trycket ökar och att brandgaser trycks ut. Denna pulserande effekt kan fortgå under lång tid och medföra en kraftigt ventilationskontrollerad brand i ett utrymme där temperaturen fortfarande är hög. Om utrymmet öppnas upp, kan det uppstå en så kallad backdraft.

Det som beskrivs ovan är det tryck som uppstår till följd av termisk expansion i slutna rum eller i en sluten byggnad. Även om tryck uppstår i byggnaden som en följd av brand, kommer detta normalt att utjämnas relativt fort, på grund av byggnadens naturliga läckageytor.

Vi antar nu i stället att vi har ett rum med en relativt stor öppning i förhållande till rummets storlek. Det kan till exempel vara ett vanligt sovrum med måtten 5×3 m, en takhöjd på 2,5 m och en dörr av storleken 2×0,8 m. I detta rum uppstår en liten brand. Rummet är öppet, och öppningen är relativt stor i förhållande till såväl rummets totala volym som i förhållande till den brand som uppstår. Därför kommer det inte att uppstå något tryck i rummet, eller ett mycket litet tryck. Trycket jämnas helt enkelt ut efterhand.

De flesta byggnader består ju av flera rum som hänger samman. Där kan det uppstå tryckskillnader mellan olika rum eller utrymmen i byggnaden. Om till exempel en dörr är stängd eller om öppningarna mellan rummen är väldigt små, kan det uppstå ett högre tryck på den sidan om dörren där branden är. När det är olika tryck i olika delar av en byggnad, kommer flödet av brandgaser att ske från det högre trycket mot det lägre. Tryckskillnader strävar hela tiden efter att utjämnas.

Bränder i slutna eller nästan slutna byggnader eller rum skapar tryckskillnader på grund av förhindrad termisk expansion, det vill säga att de varma brandgaserna inte kan expandera. Vid brand bildas förbränningsprodukter som kan bidra till ett ökat tryck, men detta är så små mängder att det kan bortses från. Vid bränder med hög effektutveckling, bränder som växer snabbt, eller i byggnader där öppningarna är förhållandevis små, kan tryckskillnaderna tillsammans bli ansenliga och bidra till spridningen av brandgaser. Spridningen sker då alltid från högre tryck till lägre tryck.

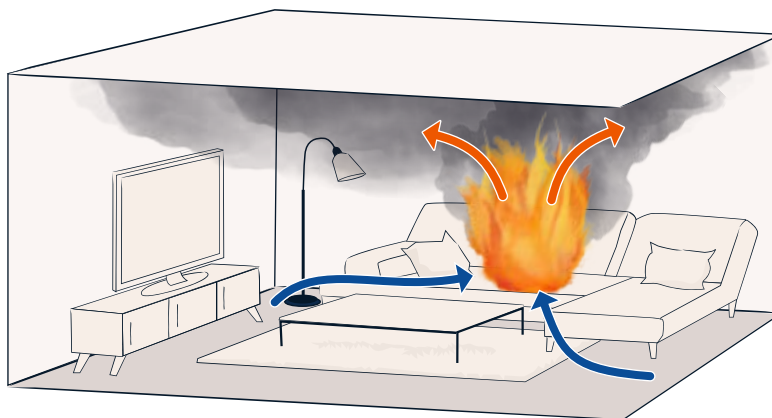
Om en brandcellsgräns är bristfällig eller om konstruktionen är försvagad, till exempel på grund av brandpåverkan, kan tryckskillnaderna göra att brandcellsgränsen eller konstruktionen försvagas ytterligare. Det sker i synnerhet vid mycket häftiga eller snabba brandförlopp eller vid höga temperaturer. Speciella fenomen såsom backdraft och brandgasexplosion kan medföra att byggnadsdelar brister. Att byggnadsdelar brister beror dock oftare på direkt värmepåverkan från branden, genom värmestrålning, konvektion eller ledning.

Flöden av brandgaser

Eftersom brandgaser till allra största del består av luft, kan man anta att densiteten för brandgaser är ungefär densamma som för luft och förändras på motsvarande sätt som luft. Densiteten för luft är vid 20 °C cirka 1,2 kg/m³. Luft och därmed även brandgaser med temperaturen 300 °C har densiteten 0,6 kg/m³. Är temperaturen 500 °C blir densiteten på brandgaserna 0,45 kg/m³. Densitetsskillnaderna blir fort stora redan vid relativt små temperaturhöjningar.

Den lägre densiteten på de varma brandgaserna gör att dessa stiger uppåt och bildar ett brandgaslager som samlas under taket. Hur tjockt detta brandgaslager blir och hur mycket det ökar i volym beror bland annat på utrymmets volym, öppningarnas höjd, brandens storlek och tillväxthastighet samt bränslets egenskaper. När brandgaserna når ner till överkant på dörren, kommer dom att strömma ut ur rummet och in till nästa rum eller ut i det fria.

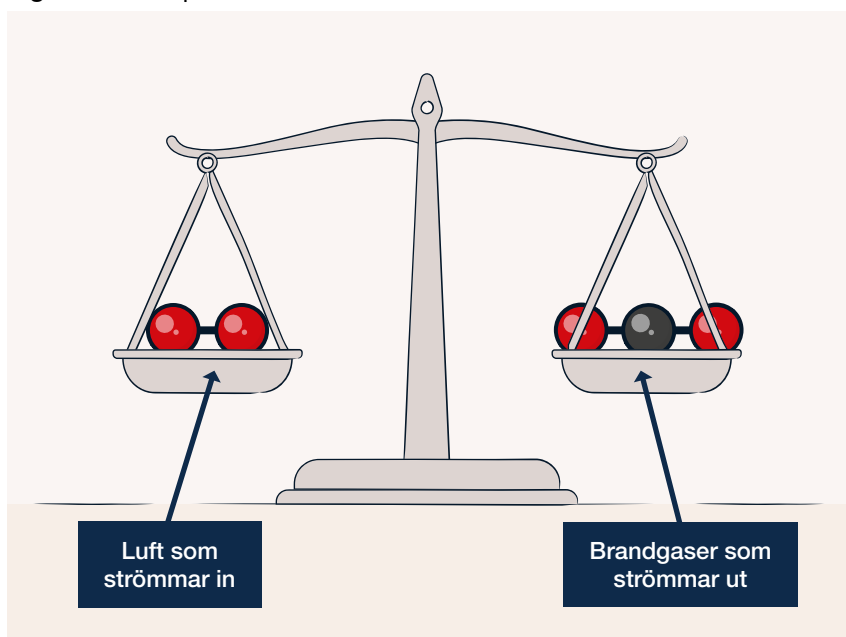
Figur 71. De varma brandgaserna stiger uppåt från branden och samlas under taket



Eftersom rummet är öppet, antingen direkt till det fria eller till ett eller flera andra rum som är öppet mot det fria, kommer det inte att uppstå något större tryck i någon del av rummet eller rummen. Detta förutsätter givetvis att öppningen eller öppningarna är tillräckligt stora för att utflödet av brandgaser inte ska begränsas. I stället är det i stor utsträckning brandgasernas lägre densitet, den termiska stigningskraften, som ger upphov till ett flöde av brandgaser ut ur rummet och ett flöde av luft in i rummet. Branden blir så att säga en motor som genom att tillföra energi driver brandgaserna uppåt och tvingar luft att sugas in i rummet och upp i plymen. Men även den termiska expansionen och tillförseln av massa till brandgaserna vid förbränning kommer givetvis att bidra till flödet av brandgaser.

De brandgaser som bildas måste helt enkelt ta vägen någonstans, det vill säga uppåt och utåt från branden. Som en direkt konsekvens kommer det även att strömma in luft i rummet för att ersätta det som strömmar ut. Denna inströmning av luft sker normalt i golvnivå, eftersom den kalla luften som strömmar in har högre densitet än de varma brandgaserna som strömmar ut. Att luft strömmar in när brandgaser strömmar ut baseras på principen om massans bevarande. Den mängd brandgaser som strömmar ut, som en följd av den termiska stigningskraften, måste ersättas med att motsvarande mängd luft strömmar in.

Figur 72. Principen om massans bevarande



Principen om massans bevarande säger att den mängd som strömmar ut måste ersättas med motsvarande mängd som strömmar in. Observera att det även tillkommer förbränningsprodukter från bränslet, som också strömmar ut.

Det bildas i princip inget tryck i rummet under förutsättning att rummet är öppet, antingen direkt till det fria eller till ett eller flera andra rum som är öppna mot det fria. I stället är skillnader i densitet i stor utsträckning den drivande kraft som ger ett flöde av brandgaser, såväl inne i rummet som ut ur rummet eller byggnaden. Det brandgaslager

som bildas inne i rummet, och eventuellt även i anslutande rum, bildas då också som en direkt följd av skillnader i densitet (den termiska stigningskraften). Skiljelinjen mellan det övre brandgaslagret och det undre (mer eller mindre brandgasfria) luftlagret, är en tydlig temperaturgräns och därmed även en gräns mellan högre och lägre densitet. Ofta går det att med handen känna en tydlig skillnad i temperatur mellan det övre och det nedre lagret, även under det tidiga brandförloppet.

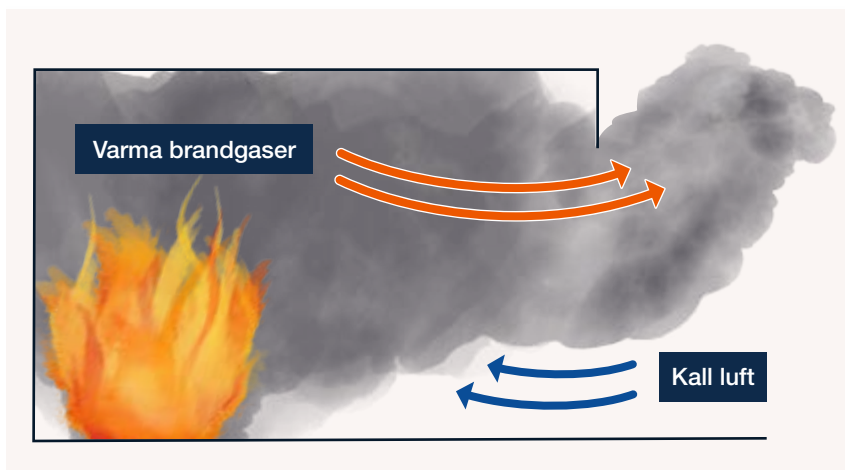
Denna skiljelinje kallas även neutralplan, neutrallager eller nollplan. Det är inte någon gräns mellan olika tryck i rummet: rummet har samma tryck överallt under förutsättning att det inte är ett mycket stort eller på annat sätt komplext rum.

Det neutralplan som uppstår i ett brandrum beror till största delen på skillnader i temperatur och densitet. Detta så kallade neutralplan kan sägas vara en termisk diskontinuitet, det vill säga ett ”hopp” i temperaturen och ofta en kännbar gräns mellan de varma brandgaserna och den kallare luftmassan under brandgaserna.

Som en konsekvens av densitetsskillnaden (som ger upphov till en termisk diskontinuitet) och lagen om massans bevarande, kommer brandgaser att strömma ut ur rummet ovanför neutralplanet och frisk luft strömma in nedanför. De brandgaser som strömmar ut genom öppningarnas övre delar måste ersättas med frisk luft som strömmar in genom öppningarnas nedre delar, som en följd av lagen om massans bevarande.

På motsvarande sätt som för energibalansen för ett brandrum, säger lagen om massans bevarande (även kallad masskonserveringsprincipen) att massan i ett slutet system är konstant. Denna princip innebär bland annat att det alltid måste finnas en balans mellan den massa som strömmar ut ur ett rum och den massa som strömmar in. De brandgaser som strömmar ut ur rummet, måste således ersättas med luft som strömmar in. Energi och massa i rummet måste hela tiden befinna sig i balans.

Figur 73. Brandgaser som strömmar ut ersätts med frisk luft som strömmar in

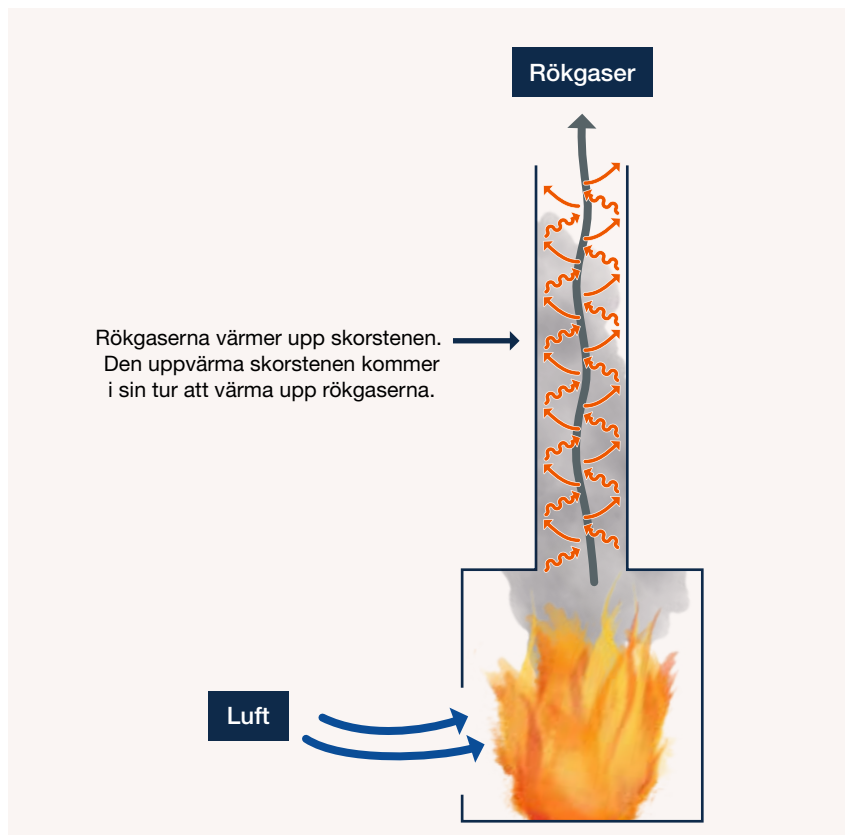


Vid en rumsbrand kommer varma brandgaser att strömma ut genom öppningens övre del, och frisk luft strömma in genom öppningens nedre del.

Flöden av brandgaser i höga byggnader

I schakt, i synnerhet i höga byggnader, kan det uppstå något som kallas skorstenseffekt eller ”stack effect”. De varma brandgaserna från branden har lägre densitet och stiger uppåt i schaktet (trapphus, hisschakt, installationsschakt eller liknande). Om det finns en öppning såväl upptill som nedtill (vilket det ofta gör, i form av läckageytor) medför detta att brandgaser strömmar ut upptill och luft strömmar in nedtill, som en direkt följd av principen för massans bevarande. Om schaktet är högt kan det bli stor temperatur- och densitetskillnad mellan mark- och taknivå. Då blir även flödet i schaktet stort. Om arean på schaktet dessutom är förhållandevis liten, kan hastigheten på de strömmande brandgaserna bli hög.

En skorsten bygger på den här principen. Där är tilluftsöppningen längst ner normalt större än frånluftsöppningen längst upp. I en kamin kan man reglera luftinflödet genom att ändra tilluftsöppningens storlek, och därmed även kontrollera brasans effektutveckling.

Figur 74. Skorstenseffekt

Skorstenseffekten innebär att rökgaserna värmer upp skorstenen. Den uppvärmda skorstenen kommer i sin tur att värma upp rökgaserna. Detta medför att hastigheten i skorstenen blir hög och att frisk luft strömmar in nedtill och ökar brandens effektutveckling.

Schaktets väggar skärmar av ytterligare luftinblandning. Det betyder att brandplymen inte kyls ner utan behåller sin höga temperatur. Stigkraften blir då stor och hastigheten hög. Det gör samtidigt att luft tillförs branden med högre hastighet vid den nedre öppningen och att branden blir mer intensiv. Och ju högre schaktet är, desto större blir drivkraften i flödet. Om det finns brännbart material i schaktet kommer förloppet att eskalera ytterligare. När brandens förlopp eskalerar, stiger temperaturen på de uppåtströmmande brandgaserna och hastigheten ökar ytterligare.

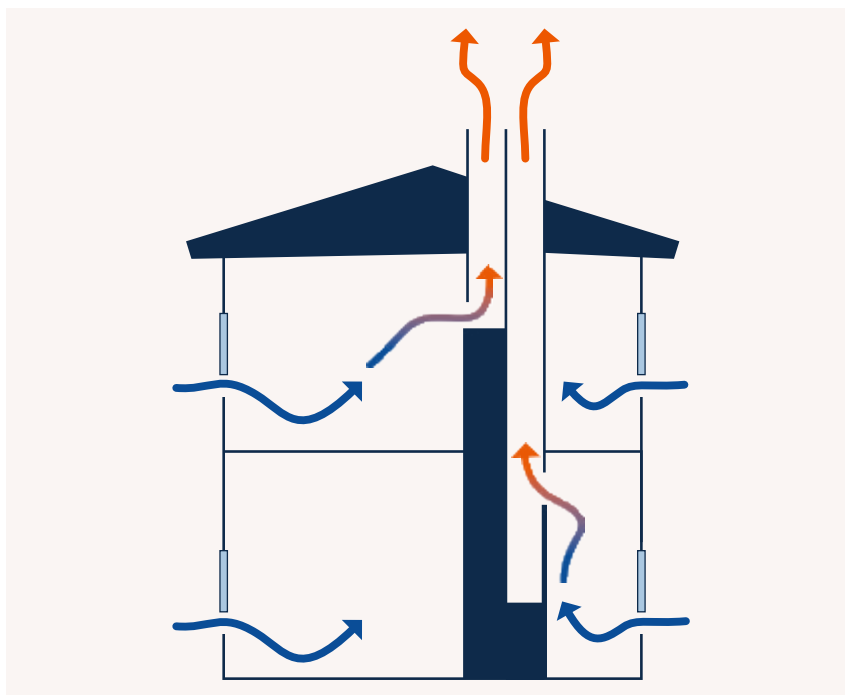
Hög hastighet på de uppåtströmmande brandgaserna kan medföra att stora mängder brandgaser strömmar uppåt i byggnaden.

Hastigheten kan även bidra till en större konvektiv värmeöverföring till schaktets väggar. Efterhand som schaktets väggar värms upp, kan hastigheten på gasströmmen i schaktet öka ytterligare. Dessutom kan ju då även den luft som strömmar in nedtill i byggnaden få hög hastighet, vilket bidrar till att brandens effektutveckling ökar snabbare än vad den annars hade gjort. Och ökar effektutvecklingen, så ökar produktionen av brandgaser ytterligare, den konvektiva värmeöverföringen ökar ytterligare och så vidare.

Skorstenseffekter uppstår även i lägre byggnader, under förutsättning att det finns en höjdskillnad mellan tilluftsöppning och frånluftsöppning. Men dom blir i synnerhet märkbara i höga byggnader eller ju högre schaktet är.

I äldre byggnader används skorstenseffekten ofta för att åstadkomma komfortventilation och kallas då självdragsventilation.

Figur 75. Komfortventilation i äldre byggnader baseras på skorstenseffekten



Självdragsventilation bygger på skorstenseffekten. Den uppvärmda luften strömmar ut genom ventilationskanaler, vilket medför att frisk luft strömmar in genom byggnadens otätheter.

Brandförlopp i slutna utrymmen

En bränslekontrollerad brand, med full tillgång till luft, är relativt enkel att förutse. Förloppet följer ofta ett tydligt ”schema”. Spridningen sker ofta genom värmestrålning från flammorna, uppåt eller åt sidorna, och begränsas bland annat av mängden, typen och placeringen av bränslet. En ventilationskontrollerad brand är svårare att förutse, men det finns normalt ett antal grundläggande förlopp som en sådan brand följer.

Man ska ha i åtanke att dessa olika tänkbara förlopp sällan är så renodlade som det kan framstå i litteraturen. Definitioner och beskrivningar av dessa förlopp utgår från standardiserade förhållanden eller från förhållanden som kan återskapas till exempel vid experiment i laboratoriemiljö. I verkligheten kan olika fenomen överlappa varandra. Det kan också vara svårt att avgöra till exempel om antändning av brandgaser eller föremål sker spontant eller på grund av en antändningskälla. Men kunskaper och förståelse för de grundläggande mekanismerna och de avgränsade fenomenen ger oss ändå bättre möjligheter att bedöma situationen vid brand i byggnad.

Brandförlopp i rum med begränsad ventilation

De flesta byggnader är förhållandevis täta, även om det kan finnas en del läckageytor till exempel runt dörrar och fönster. Något förenklat kan man även säga att läckageytornas totala storlek är proportionell mot rummets eller byggnadens storlek. En stor byggnad har på så vis större läckageytor. Dessutom finns ofta också komfortventilation som gör att det hela tiden tillförs luft till byggnaden. Men den luften som tillförs via läckageytor och komfortventilation är sällan tillräcklig för att branden ska kunna växa sig riktigt stor. Det är uteslutet att branden skulle växa till en fullt utvecklad rumsbrand om rummet är helt tillslutet. En sådan utveckling kräver att luft tillförs rummet till exempel genom att fönster eller dörrar är öppna eller går sönder.

Detta medför att de flesta bränder räddningstjänsten anländer till är ventilationskontrollerade i högre eller lägre grad (se tidigare diskussion om ventilationskontroll). Räddningsspersonalen behöver normalt öppna dörrar eller fönster för att komma åt branden, med följd att luft tillförs branden. Detta går dock många gånger att hantera, genom att tillföra

släckmedel antingen innan dörrar eller fönster öppnas eller i samband med öppnandet.

I ett rum eller en byggnad där lufttillförseln till branden är otillräcklig kommer förbränningen att minska och temperaturen att sjunka. Avsvalningen av bränsleytorna går dock långsamt, vilket innebär att stora mängder pyrolysgaser fortfarande bildas.

Vi får då en situation där det kan finnas höga koncentrationer av oförbrända brandgaser i rummet samtidigt som syrekoncentrationen kan vara låg eller mycket låg. En rad olika händelser kan inträffa när räddningstjänsten kommer till platsen. Den fortsatta utvecklingen kan ske på en mängd sätt, varav några typiska är att

- branden självslocknar
- pulsationer sker
- brandförloppet återupptas
- brandgaserna självantänds
- backdraft inträffar.



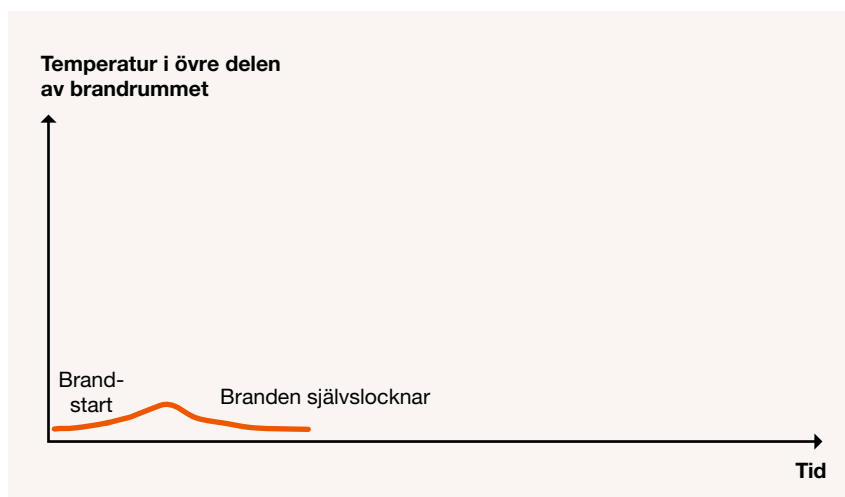
Brandförlopp i rum med begränsad ventilation. Foto: Åsa Brorsson.

Branden självslocknar

Om branden fortsätter under ventilationskontrollerade förhållanden kan den så småningom självslockna eller övergå i glödbrand. Det sker troligen innan temperaturen i brandrummet har ökat tillräckligt för att leda till kraftig pyrolys av andra bränsleytor i rummet. Branden är kanske begränsad till ett enstaka föremål eller kan av andra anledningar inte spridas.

När förbränningen minskar i rummet kommer även temperaturen att sjunka och trycket att minska i brandrummet. Det trycks då inte ut så mycket brandgaser, och det kan ta lång tid innan branden upptäcks. Denna situation är inte helt ovanlig vid lägenhetsbränder, till exempel om det börjar brinna på spisen.

Figur 76. Branden självslocknar



Då kan lägenheten få ganska omfattande rökskador, men att släcka branden är oftast inget större problem. Även i en sådan situation kan förhållandena i brandrummet eller lägenheten vara mycket farliga för människor. Brandgaserna innehåller en rad giftiga ämnen, till exempel kolmonoxid, som gör att sovande inte vaknar när det brinner. Brandvarnare är i det läget livsviktiga. Dom räddar verkligen liv.

När dörren öppnas till utrymmet kan brandgaserna strömma ut, men gaserna antänds inte eftersom dom är relativt kalla. Branden är lätt att släcka.

Pulsationer

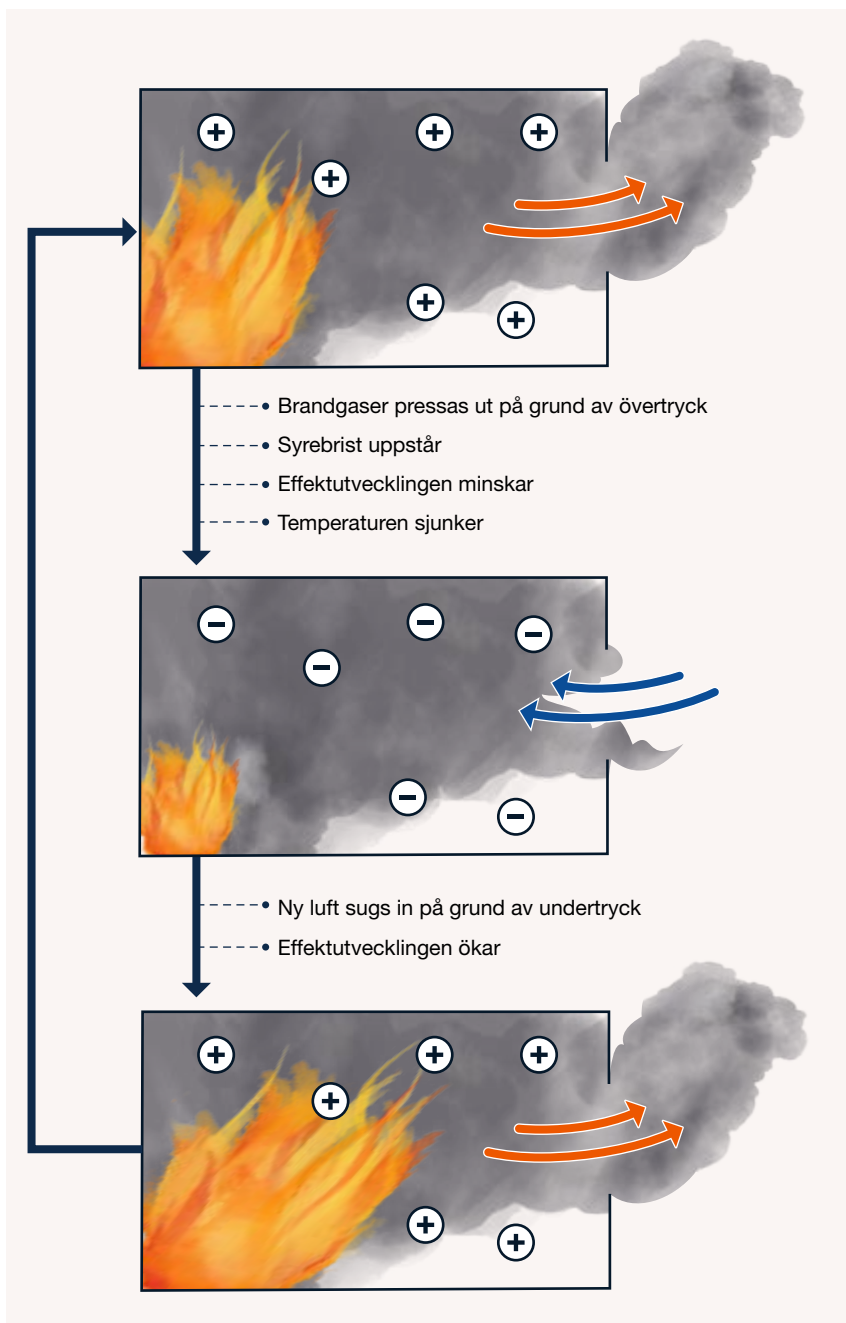
Vid en ventilationskontrollerad brand begränsas brandens effektutveckling av den mängd syre som kommer in i rummet. Detta leder ibland till att branden ”andas”. Med det menas att luft sugas in och ger upphov till en tillfällig ökning i förbränningen och att förbränningen därefter avtar igen. Det uppstår en sorts fram- och tillbakarörelse som vi kallar pulsationer. En förutsättning är att det finns en eller flera små öppningar till rummet – dörrspringor eller liknande. Pulsationerna inleds med att effektutvecklingen minskar till följd av den begränsade mängden syre i rummet. Som en konsekvens av detta sjunker temperaturen, vilket medför att gasvolymen i brandrummet minskar (brandgaserna drar ihop sig). Det bildas ett visst undertryck. Luft kan på nytt sugas in i brandrummet, och när syret reagerar med de brännbara gaserna uppstår en förbränning.

Förbränningen ökar igen, temperaturen stiger, brandgasernas volym ökar, vilket resulterar i ett övertryck. Brandgaser pressas då ut genom de befintliga öppningarna. Detta leder på nytt till syrebrist, vilket begränsar effektutvecklingen. Nästa pulsation tar fart. Pulsationernas storlek och längd beror bland annat på öppningarnas storlek i förhållande till den effekt som utvecklas. Det är svårt att avgöra i vilka situationer branden kan börja pulsera.

Pulsation

Omväxlande under- och övertryck, som ibland uppstår när branden är ventilationskontrollerad. Om det finns någon öppning i utrymmet så kan branden få tillgång till luft så att förbränning ska kunna ske. Detta leder i sin tur till att det bildas ett övertryck i rummet och att temperaturen stiger. Branden minskar på grund av syrebrist och temperaturen sjunker så småningom. Då kommer ny luft att kunna sugas in i rummet.

Fenomenet är instabilt. Ofta leder variationerna i flödet till att till exempel en glasruta går sönder och brandförloppet återupptas.

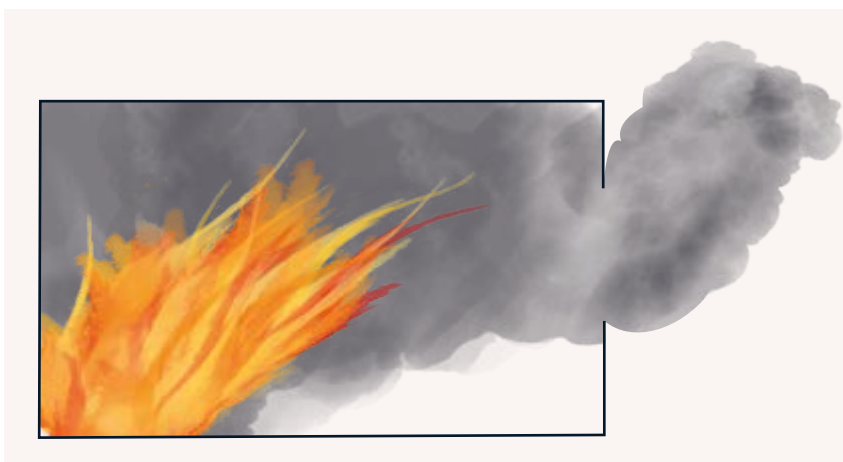
Figur 77. Pulsationer

Brandförloppet återupptas

I ett rum med begränsad ventilation kan brandförloppet återupptas när luft tillförs, till exempel om en dörr öppnas eller om ett fönster går sönder. Det kan till exempel vara fallet om branden har hunnit sprida sig till en rad andra föremål innan syrebrist uppstår. Det har skett en stor värme- påverkan i brandrummet. Rummet har fyllts med brandgaser, som innehåller en hel del oförbrända gaser. Men brandgaserna är inte tillräckligt varma eller i tillräckligt stor mängd för att till exempel en backdraft ska uppstå. Detta innebär i stället att branden får möjlighet att växa till en fullt utvecklad brand om det tillförs luft igen. Scenariot är en fortsättning på att brandförloppet avbrutits till följd av den begränsade ventilationen. Tillväxten är snarlik den som inträffar när en brand utvecklas och leder till övertändning i ett rum som har en öppning redan vid brandstarten. Men i det stängda rummet har förloppet fördröjts.

Om en dörr till rummet öppnas kommer brandgaser att strömma ut genom öppningens övre del, som en följd av den termiska stigkraften och den termiska expansionen. Samtidigt strömmar luft in genom öppningens nedre del, som en följd av principen om massans bevarande. Luftströmmen gör att initialbranden flammar upp på nytt och att branden växer. Flammorna når upp i brandgaslagret, och en flamfront rör sig ut genom rummet.

Figur 78. Brandförloppet återupptas



Förloppet är ofta lugnt, eftersom de flammor som uppstår är diffusionsflammor. Det kan ändå bli något snabbare än om branden får utvecklas helt fritt. Det beror på att ytorna i rummet redan är uppvärmda. Det avbrutna brandförloppet återupptas, utvecklas till övertändning och en fullt utvecklad rumsbrand, förutsatt att det finns tillräckligt med syre och bränsle (det vill säga om öppningen är tillräckligt stor).

Förloppet förutsätter dock att graden av ventilationskontroll är relativt låg, att temperaturen i utrymmet är förhållandevis låg och att det ännu inte har hunnit produceras alltför stora mängder varma pyrolysgaser. Detta är dock svårt att avgöra i förväg.

Självantändning av brandgaserna

På grund av begränsad ventilation och ventilationskontroll kan det ha bildats en stor mängd pyrolysgaser med hög temperatur. Om det då plötsligt öppnas en dörr eller ett fönster går sönder kan brandgaserna självantända. För att det ska ske behöver dock temperaturen hos brandgaserna oftast ligga på uppemot 500–600 °C, det vill säga över brandgasernas termiska tändpunkt.

När brandgaserna strömmar ut genom till exempel en dörr som räddningstjänsten öppnat, blandas brandgaserna med luft. Brandgaserna självantänder och brinner utanför utrymmet.

Eftersom branden är ventilationskontrollerad och håller hög temperatur, så är det enda som behövs luftens syre. Detta fall är egentligen en fortsättning på det tidiga brandförloppet, som avbröts på grund av syrebristen och blev ventilationskontrollerat. Branden går således mer eller mindre direkt från det tidiga brandförloppet till en fullt utvecklad brand. Man kan här egentligen inte tala om att det sker någon övertändning på motsvarande sätt som när brandförloppet växer på det vis som tidigare beskrivits. Förloppet är likartat men kan gå snabbare, eftersom tak- och väggytor nu är mer uppvärmda än i de fall branden tillåts växa obehindrat.

Figur 79. Brandgaserna självantänder vid kontakten med luft



Denna situation kan uppstå 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 kan vara en lägenhetsbrand, där brandgaser strömmar ut genom ett fönster som är sprucket eller står på glänt. När sedan dörren till trapphuset öppnas kan gaserna vara mycket varma och självantända.

Självantändning av brandgaser kan även ske när man försöker ventilera en vindsbrand. Brandgaserna tändes då direkt vid kontakt med luften, förutsatt att branden är ventilationskontrollerad. Det är ofta fallet med vindsbränder eftersom vindar är förhållandevis täta och eftersom det kan finnas stora mängder bränsle.

Det kan dock vara svårt att uppfatta från utsidan om brandgaserna självantänder i öppningen eller om flammorna härstammar från rummets inre delar.

Självantändning av brandgaser kan ske även vid utflöde från små läckage-tytor, utan att brandförloppet i rummet direkt påverkas. Sådana mindre flammor till exempel från dörrspringor kan vara en indikation på mycket hög temperatur och ventilationskontroll i rummet bakom dörren.

Backdraft

Ett ovanligt fenomen som kan innebära en stor risk för räddningstjänstens personal, är så kallad backdraft. Överraskningsmomentet kan vara stort, med en så snabb och kraftfull antändning av brandgaser att man inte hinner reagera. Det är därför mycket viktigt att kunna identifiera de situationer som kan leda till backdraft och hur det kan se ut när det finns risk för backdraft.

En backdraft kan beskrivas på följande sätt: En brand i ett rum har pågått under en längre tid och blivit kraftigt ventilationskontrollerad. Det har samlats mycket oförbrända gaser i brandrummet. När en dörr öppnas strömmar det in luft. När den inströmmande luften möter de utströmmande brandgaserna skapas en förblandad gasmassa – en förblandad zon. När denna gasblandning når en tändkälla, ofta i form av initialbranden, antänds gasblandningen. I den förblandade zonen, mellan det bränslerika brandgaslagret och den inkommande luften, breder en förblandad flamma ut sig mycket snabbt. Framför denna flamma pressas de varma pyrolysisprodukterna nedåt och blandas med det luftrika skiktet. Detta orsakar en diffusionsflamma. Det sker då en snabb förbränning och en expansion av brandgaserna i brandrummet. De brandgaser som inte antänds inne i brandrummet pressas ut och antänds utanför rummet. Eftersom en begynnande backdraft gör att brandgaserna expanderar snabbt och kraftigt blir resultatet ett svampformat eldklot utanför öppningen.



En backdraft resulterar ofta i ett svampformat eldklot utanför öppningen. Foto: Hans Loo.

Tändkällans placering spelar här en avgörande roll. Placeringen i förhållande till öppningen (dörren) avgör hur mycket brandgaser som blir förblandade innan antändning sker. Vid en backdraft uppstår det både diffusionsflammar och förblandade flammar. En backdraft leder normalt till en fullt utvecklad rumsbrand. Men den kan även leda till att utrymmet töms på brandgaser, och kvar i rummet blir då endast mindre brandhärddar eller glödbränder. Brandgasernas egenskaper är en viktig del för att det ska kunna uppstå en backdraft.

I en backdraft ingår följande moment:

- Oförbrända gaser ackumuleras som en följd av en ventilationskontrollerad brand.
- En öppning skapas och frisk luft strömmar in.
- Det uppstår en förblandad region av oförbrända gaser och luft när frisk luft strömmar in och brandgaser strömmar ut.
- En tändkälla antänder gaserna i den förblandade regionen.
- Temperatur och volym hos de gaser som antänds ökar upp till åtta gånger.
- Oförbrända brandgaser trycks ut ur rummet och antänds i form av ett eldklot.

Backdraft kan uppstå när branden pågått så länge att den hunnit bli kraftigt ventilationskontrollerad och det samtidigt finns tillräckligt med öppningar för att pyrolysen ska kunna fortgå och en förhållandevis hög temperatur i utrymmet. Det förutsätter också att det finns tillräckligt med bränsle i utrymmet. En backdraft kan föregås av pulsationer.

Backdraft

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

Backdraft kan orsaka stor skada i och utanför utrymmet eftersom tryckuppslagningen kan bli mycket hög. Högt tryck och stor skada uppstår i synnerhet om backraften sker långt in i en byggnad där flera rum är anslutna till varandra. I sådana fall kan stora mängder brandgaser ha hunnit bli förblandade innan dom antänds.

Tid 0:00



Tid 2:00



Tid 3:00



Tid 3:33



Tid 3:66



Tid 3:83



Tid 4:00



Tid 4:23



Tid 4:50



Tid 5:00



När en dörr öppnas strömmar luft in och blandas med brandgaserna. Blandningen antänds inne i rummet, och flammorna trycks ut genom öppningen. Tiden är angiven i sekunder och hundradels sekunder från då dörren öppnas. Foto: Stefan Svensson.

Det är svårt att specificera de exakta förhållanden som krävs för att skapa en backdraft, men det finns några faktorer som är väsentliga:

- Det krävs en tändkälla som är placerad i den brännbara regionen av brandgaserna.
- Det krävs en viss minsta mängd bränsle i utrymmet. Ju närmre bränslet är till branden eller till varma brandgaser, desto mer pyrolysisprodukter kommer att bildas.
- Ju lägre öppningen sitter desto mindre andel av pyrolysisprodukterna kan försvinna ut. Om öppningen är för liten är det sannolikt att branden självslocknar, och är den för stor kommer branden att växa till övertändning direkt.
- Ju bättre isolerat rummet är desto högre kan temperaturen bli och desto längre bibehålls värmen i utrymmet.
- Ju lägre pyrolystemperatur bränslet har desto mer brännbara produkter kan bildas.

Det finns också ett antal varningssignaler på att det kan uppstå en backdraft:

- bränder i slutna utrymmen där ventilationen är minimal, till exempel slutna rum eller undertaksutrymmen
- oljiga avlagringar på fönsterglas, vilket är ett tecken på att pyrolysisprodukter kondenserat på kalla ytor och ett tecken på ventilationskontrollerad brand
- varma dörrar och fönster, som indikerar att branden pågått under en längre tid
- pulserande brandgaser från små öppningar i rummet
- visslande ljud i öppningar, som kan relateras till brandens pulsationer
- neutrallagret är nära golvet.

Inflödet av frisk luft när till exempel en dörr öppnas kallas tyngdkrafts-styrd strömning. När luften rör sig in i rummet blandas den med brandgaserna. Det bildas en förblandad gasmassa i en viss zon, normalt i det skikt där luften och brandgaserna möts. Blandningen kommer att antändas om brandgaserna befinner sig inom brännbarhetsområdet när dom möter en antändningskälla, till exempel en låga, glödande partiklar eller en elektrisk gnista.

Antändningen av den förblandade zonen orsakar en snabb expansion av brandgaserna. Detta tvingar de resterande brandgaserna ut genom öppningen med mycket hög hastighet, och där utanför blandas de oförbrända gaserna med frisk luft. När flamman breder ut sig i det förblandade skiktet orsakar antändningen en omedelbar tryckökning. Detta resulterar i ett eldklot, som är mycket karakteristiskt för backdraft. Ju mer oförbrända brandgaser, desto större eldklot.

Koncentrationen av brännbara ämnen måste vara hög för att blandningen ska hamna inom brännbarhetsområdet när de bränslerika gaserna späds med luft. I en backdraft är flammorna delvis förblandade flammor, vilket medför att händelseförloppet blir snabbt.

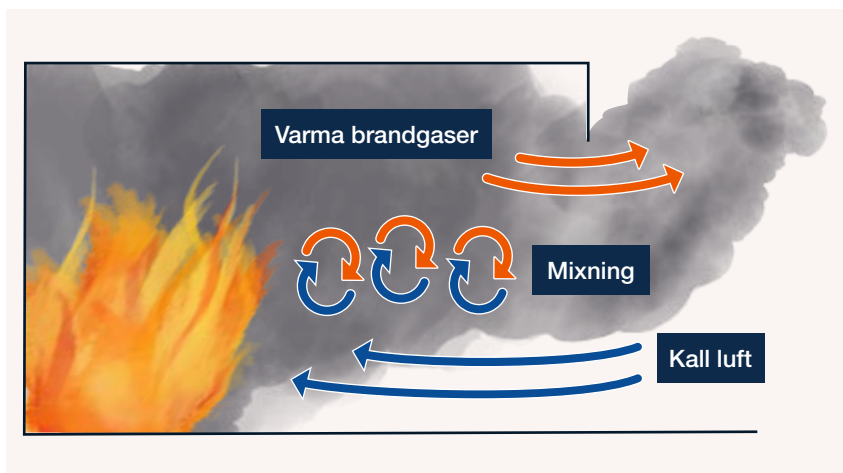
Hur mycket brandgaser som blandas med luft och hur fort omblandningen sker beror bland annat på

- temperaturen på de utströmmande brandgaserna
- hastigheten hos den inströmmande luften
- rummets storlek (yta och takhöjd)
- öppningarnas storlek och placering
- avståndet från öppningen till tändkällan.

Om den inströmmande luften ”studsar” mot bakväggen kommer det förblandade området att öka i storlek.

När och hur de förblandade gaserna antänds har också betydelse. Ju längre tid det tar från att det skapas en öppning till att den förblandade zonen träffar en antändningskälla, desto större kan den förblandade zonen bli, med ett hastigare eller mer våldsamt förlopp som följd.

Även egenskaperna hos de omslutande ytorna kommer att påverka risken för backdraft. Om tak- eller väggytor har hög värmeupptagningsförmåga, kommer mer värme att ledas bort genom väggar och tak. Det kan då ta längre tid innan de förhållanden som kan orsaka backdraft uppstår. Stål, till exempel, har hög värmeupptagningsförmåga. Men när tak och väggar av stål väl har blivit uppvärmda så kan dom bidra till produktionen av pyrolysgaser genom att mer värme överförs (genom värmestrålning) tillbaka till bränslet.

Figur 80. Tyngdkraftsstyrd strömning

När dörren öppnas strömmar varma brandgaser ut genom öppningens övre del. Frisk luft strömmar in genom öppningens nedre del. I gränzonen mellan de varma brandgaserna och den friska luften blandas dessa och gör blandningen brännbar.

Om brandrummet är långt in i en byggnad, så att det finns ytterligare rum mellan brandrummet och den dörr som öppnas, kommer det att ta längre tid för den luft som strömmar in att nå brandrummet. Eftersom sträckan är längre kommer dessutom mer brandgaser att blandas med den inströmmande luften (det vill säga den tyngdkraftsstyrda strömningen och inblandningen). Det finns då också risk för att en backdraft blir våldsammare och mer kraftfull. Detta beror på att den antända gasmassan måste transporteras en längre sträcka innan den kommer ut i det fria. Det sker mer omblandning, trycket hinner byggas upp mer och det finns ju då också mer brandgaser som kan antändas eftersom volymen är större.

Brandgasexplosion

I vissa situationer kan brandgaserna blandas väl med luften innan dom antänds. Detta sker normalt i utrymmen som gränsar till brandrummet, och där det inte finns någon annan öppning eller endast väldigt små öppningar. Eftersom utrymmet då inte kan tryckavlasta en eventuell antändning kan antändningen och tryckökningen som följer bli mycket kraftig, så kraftig att det kan förstöra hela byggnadskonstruktioner. Det är detta fenomen som kallas brandgasexplosion.

En brandgasexplosion är en deflagration, inte en detonation. Hastigheten på förbränningszonens utbredning är lägre än ljudets hastighet. En brandgasexplosion uppstår utan att någon öppning i rummet ändras, medan en backdraft förutsätter att ventilationsförhållandena i rummet ändras under brandförloppets gång. Detta är en stor skillnad mellan de båda fenomenen.

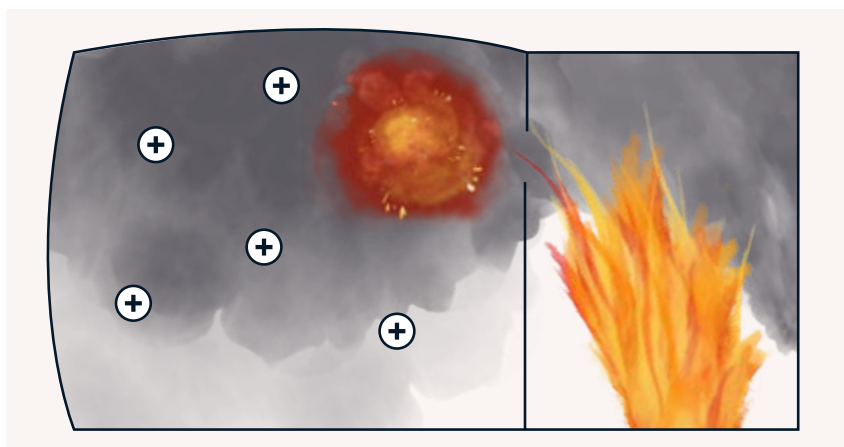
Brandgasexplosion

När brandgaserna läcker in i utrymmen som gränsar till brandrummet kan dom 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.

Risken för brandgasexplosion är störst i rum som gränsar till brandrummet. I sådana utrymmen kan blandningen vara förblandad om det läckt in brandgaser under en längre tid. Brandgaserna kan då ha kylts av och blandats med den friska luften i utrymmet, och så har blandningen hamnat inom brännbarhetsområdet. Det enda som saknas för antändning av gasblandningen är då en tändkälla. När gasblandningen antänds sker effektutvecklingen och flamspridningen i en förblandad gasmassa, vilket leder till att gaserna expanderar mycket kraftigare än vid övertändningar och backdraft. Det behövs endast en mycket liten tändkälla för att tända en förblandad gasmassa.

En brandgasexplosion kan eventuellt även uppstå i ett brandrum. Om det endast finns en liten öppning i brandrummet och den inte räcker för att orsaka en övertändning, kommer branden att fortgå under syrebrist. Detta leder till att en stor mängd oförbrända brandgaser ansamlas i brandrummet. Branden i rummet kan självslockna eller minska så att det endast återstår glödbrand. Om temperaturen fortfarande är hög i rummet kan mycket oförbrända gaser ansamlas i brandgaslagret. Är rummet välisolerat kan temperaturen vara hög under en lång tid.

Figur 81. Brandgasexplosion



Brandgaser som läcker in i angränsande utrymmen kan blandas väl med luft. Denna blandning kan då hamna inom brännbarhetsområdet. Antänds blandningen kan detta leda till en brandgasexplosion.

När branden slocknar och temperaturen därför börjar sjunka, sjunker trycket och luft sugas in. Luften blandas med brandgaserna, och blandningens koncentration kan hamna inom brännbarhetsområdet. Gaserna i rummet kan nu ha blandats mycket väl, men dom tänds inte eftersom det inte längre finns någon tändkälla. En tändkälla kan dock uppstå senare, till exempel genom att glöd fladdrar upp från initialbranden. Detta kan antända en mer eller mindre förblandad gasmassa. Brandgasexplosionen blir kraftig.

Hela rummet behöver inte vara uppfyllt av en förblandad gasmassa för att en brandgasexplosion ska uppstå. Det räcker att en mindre del av rummet har en förblandad gasmassa som antänds. Detta kan vara tillräckligt för att byggnadsdelar ska förstöras eller tryckas ut.

Expansionsfaktor

När en förblandad gasblandning antänds stiger temperaturen, vilket medför att även volymen ökar. Expansionsfaktorn är som störst vid stökiometri, upp till ca 8.

Faktorer som påverkar kraften i en brandgasexplosion är bland annat följande:

- **Förbränningshastigheten**

Ju högre förbränningshastighet desto snabbare expansion. Hastigheten beror på vilka ämnen som deltar i förbränningen. Den varierar också beroende på var antändningen av gasblandningen sker i förhållande till stökiometri.

- **Expansionsfaktorn**

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

- **Andelen förblandad volym**

Ju större del av rumsvolymen som är förblandad, desto mer ökar trycket. Det räcker med att ett fåtal volymprocent av brandgaserna är förblandade för att trycket ska bli mycket högt.

- **Byggnadsdelarnas trycktålighet**

Den klenaste byggnadsdelen ger vika först, därefter kommer trycket att minska. I de flesta byggnader finns till exempel fönster, vilket gör att tryckökningen oftast är måttlig.

- **Öppningarnas storlek**

Ju större öppningar det kan bli när byggnadsdelar ger vika, desto lättare tryckavlastas rummet. Om rummet är i det närmaste stängt under hela förloppet blir trycket mycket högt när gasblandningen antänds.

Tabell 15. Byggnadsdelars trycktålighet

Konstruktionsdetalj	Tryck [Pa]
Glasfönster	2 000–7 000
Innerdörrar	2 000–3 000
Innerväggar	2 000–5 000
Dubbla gipsskivor	3 000–5 000
Tegelvägg	20 000–35 000

När det gäller den tryckökning som uppstår finns ingen skarp gräns mellan en brandgasexplosion, backdraft eller när brandgaser självtänder (till exempel i en öppning). 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 övertändning eller en backdraft är det däremot diffusionsprocessen som styr, det vill säga hur brandgaserna blandas med luft i samband med antändning.

Kännetecknen på en nära förestående brandgasexplosion kan i många fall vara svåra att uppfatta. Dom har till stor del med byggnadstekniska åtgärder att göra, till exempel hur genomföringar är utförda, om brandcellsgränserna är intakta och om det finns dolda utrymmen. Detektorer eller sprinkler kan hjälpa till att förebygga brandgasexplosioner. Eftersom brandgaser i vissa fall kan vara helt genomsiktliga, går det inte heller alltid att avgöra risken för brandgasexplosion genom att identifiera brandgasfyllda utrymmen. Och även om det finns stora mängder brandgaser i ett utrymme, går det inte att avgöra dessa brandgasers brännbarhet.

Övertändning, backdraft eller brandgasexplosion?

I laboratoriemiljö eller andra kontrollerade förhållanden är det ofta relativt enkelt att skilja mellan övertändning, backdraft, brandgasexplosion och självantändning av brandgaser. I verkligheten kan det vara mycket svårt eller rent av omöjligt. Gränsen mellan dessa olika fenomen är flytande.

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 när det finns ett begränsat luftflöde in i byggnaden eller 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.

Situationen där brandgaserna självantänder uppstår när brandgaserna har en temperatur som är högre än den termiska tändpunkten. I vissa fall när detta sker skapas det turbulens som sprider sig in i rummet och rör om kraftigt, vilket kan leda till en backdraft av mindre format. Ibland ser det ut som om lågorna uppstår i öppningen, men dom kan mycket väl ha sitt ursprung längre in i rummet. Det kan därför vara svårt att avgöra om brandgaserna självantänder eller om brandförloppet återupptas.

Backdraft och brandgasexplosion har helt olika ursprung. Backdraft uppstår i ett rum där ventilationsförhållandena har ändrats. Det kan till exempel vara ett rum där rutorna spricker och släpper in luft, vilket gör att luft strömmar in och blandas för att därefter antändas. Brandgasexplosion uppstår oftast i ett utrymme som gränsar till brandrummet och där brandgaserna har blivit väl blandade med luft.

Generellt kan sägas att en backdraft leder till lägre tryckuppbyggnad än en brandgasexplosion. Backdraft förutsätter att ventilationsförhållandena förändras och att detta i sig fungerar som tryckavlastning.

Att skilja mellan övertändning och brandgasexplosion är enklast, eftersom övertändning involverar diffusionsflammar medan brandgasexplosion involverar förblandade flammar. Det är därför mycket osannolikt att dessa situationer förväxlas.

Exempel

I mitten av februari 2024 startade en brand under byggskedet av Oceana vid Liseberg i Göteborg. Branden startade utvändigt i anslutning till en vattenrutschkana, och det bildades stora mängder brandgaser som spred sig in i en anslutande byggnad via vattenrutschkanan.

Tyvärr avled en byggarbetare som inte hann utrymma, på grund av de stora mängder brandgaser som hastigt strömmade in i byggnaden. Relativt tidigt under förloppet inträffade en brandgas-explosion som tryckte ut stora delar av byggnadens väggar. Två brandmän och en byggarbetare undkom brandgasexplosionen med nöd och näppe.

Värmen från branden i vattenrutschkanan medförde att stora mängder oförbrända pyrolysgaser utvecklades och strömmade in i byggnaden via vattenrutschkanan, som ledde upp till den anslutande byggnadens topp. Gaserna ansamlades i byggnaden och antändes av lågorna från initialbranden.

Brandgasexplosionen blev mycket kraftig.

(Statens haverikommission, SHK 2025:05)

Vätskebrand i slutna utrymmen

En vätska brinner något annorlunda jämfört med fasta föremål. Under förutsättning att vätskan är brännbar behöver den inte pyrolyseras, det vill säga brytas ner kemiskt, för att det ska bildas brännbara gaser. Det räcker att vätskan förångas för att den ska kunna antändas. Det är då förångningen från vätskan och dess flampunkt som i stor utsträckning blir avgörande för hur branden utvecklas och sprids. Flampunkt är den temperatur vid vilken ångorna kan antändas.

En väsentlig skillnad mellan en ”vanlig” initialbrand och när en större mängd utspilld vätska antänds i ett rum, är att initialbranden kan bli stor redan vid antändning. Det är då kärlets eller pölens storlek som avgör initialbrandens storlek, eftersom massavbrinningen är relativt

konstant för brännbara vätskor. Om ett kärl eller en pöl är stor kan branden i utrymmet bli ventilationskontrollerad mycket fortare än en mer ”normal” växande brand i fibröst material eller plast. Om utrymmet är tillslutet eller endast har små eller få öppningar, kan tryckökningen i rummet bli mycket stor redan vid antändningen.

En vätskebrand är känsligare för bristande lufttillförsel. En vätska kan ju inte pyrolyseras, och det kan inte heller uppstå någon glödbland i en vätska. Därför kommer branden att slockna när syrgashalten i utrymmet sjunkit under cirka 10–12 procent. Branden kan då dessutom slockna relativt tvärt, till skillnad från i ett fast material där effektutvecklingen minskar successivt. Effektutvecklingen kan i viss utsträckning minska successivt även hos vätskebränder under begränsad lufttillförsel. Att en vätskebrand slocknar tvärt kan i sin tur medföra att brännbar vätska fortsätter att förångas även efter att branden slocknat. Hur mycket som avångas beror på den brännbara vätskans flampunkt och temperaturen i utrymmet, på golvet eller i kärlet där vätskan förvaras. Här finns en viss likhet med ansamlingen av brännbara gaser (pyrolysgaser) från ett fast bränsle.



Vätskebrand i rum. Foto: Stefan Svensson.

Ångan från vissa vätskor är tyngre än luft, vilket är en stor skillnad mot brandgaser från ett fast bränsle. I stället för att stiga uppåt och ansamlas under taket, kan ångorna från vissa brännbara vätskor samlas vid golvet. Det sker i synnerhet om vätskebranden självslocknar men vätskan fortsätter att ånga av. Ett enkelt och vanligt exempel på en sådan vätska är bensin. Flampunkten hos bensin är dessutom så låg som $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Observera dock att ångorna kan stiga uppåt om dom är varma och därmed har lägre densitet än omgivande luft.

Om ångorna från en brännbar vätska antänds i ett utrymme, kan brandförloppet ha stora likheter med en brandgasexplosion eller en explosion i andra gaser som naturgas eller gasol. Detta kan ge ett våldsamt förlopp om vätskan till stor del har förångats innan antändning sker.

Exempel

En natt hösten 2017 fick räddningstjänsten i Helsingborg larm till brand i byggnad på sjätte våningen i ett flerfamiljshus. Vid ankomst låg det byggnadsdelar på marken nedanför byggnaden och det brann med öppna lågor från båda sidor av byggnaden. Räcket till loftgången utanför lägenheten hade förflyttats utåt och ytterväggarna på båda sidor till lägenheten hade tryckts ut.

Utredningen efteråt visade att det troligtvis var bensinångor i lägenheten som hade antänts. Mängden utläckt bensin var oklar, men med stor sannolikhet var det endast något fåtal liter som hade ångat av. Kraften i det hastiga förlopp som uppstod var tillräckligt för att trycka ut väggarna.

(Olycksundersökning, brand och explosion i byggnad, 2027-09-19, Helsingborg. Räddningstjänsten Skåne Nordväst. 2018)

Kapitel 8

Brandförlopp i byggnader

Hittills har i huvudsak brand i enstaka rum behandlats. Men sett ur ett räddningstjänstperspektiv är en brand i ett enstaka rum sällan något stort problem. Om vi kan nå branden, så går den i de allra flesta fall även att släcka. Det handlar då främst om mängden släckmedel och hur fort man kan påföra detta, det vill säga flödet av släckmedel. Även om rummet finns i en lägenhet, så är lägenheten normalt brandtekniskt avskild från övriga lägenheter och utrymmen i byggnaden under viss tid. Även i en lägenhetsbrand är ofta själva branden begränsad till enstaka rum, men brandgaserna påverkar hela lägenheten och kan även påverka till exempel trapphuset. Och det finns även risk för brands spridning via fönster till fasaden eller till en vindsvåning.

Men det faktum att rum finns i byggnader gör räddningstjänstens arbete mer komplext. Vi känner sällan till planlösningen i den byggnad där det brinner. I byggnader kan bränder dessutom sprida sig vidare genom till exempel väggar, tak eller golv, rummen kan vara stora såväl med avseende på golvyta som takhöjd. Det finns även en risk att byggnaden helt eller delvis kollapsar.

De grundläggande mekanismerna för spridning och utveckling av brand är förstås giltiga även i byggnader som sådana. Men för att kunna hantera bränder som börjat sprida sig i en byggnad måste vi ha goda kunskaper om de förutsättningar byggnaden ger för brandens förlopp.

Byggnad

En byggnad definieras i plan- och bygglagen (2010:900) som ”en varaktig konstruktion som består av tak eller av tak och väggar och som är varaktigt placerad på mark eller helt eller delvis under mark eller är varaktigt placerad på en viss plats i vatten samt är avsedd att vara konstruerad så att människor kan uppehålla sig i den”.

Varken ett samlingstält, en byggbarack eller en husvagn är en konstruktion som är varaktigt placerad. Dom räknas därför normalt inte som byggnader i lagens mening. Men även i den typen av konstruktioner kommer en brand att bete sig utifrån de förutsättningar som konstruktionen och dess innehåll ger. Detta gäller även för vägtunnlar, vindkraftverk och andra mer eller mindre komplexa anläggningar.



Olika typer av byggnader. Foto: Stefan Svensson samt Johnér Bildbyrå.

Termen byggnadsverk inkluderar även anläggningar i form av fasta byggnadskonstruktioner (på land eller vatten) som inte är avsedda för människor att uppehålla sig i. Fokus i den här boken är dock byggnader, det vill säga byggnadsverk som människor normalt vistas i mer eller mindre varaktigt – bostäder, kontor, sjukhus och liknande.

Grunderna för brand i byggnad är givetvis även giltiga för andra typer av byggnadsverk, men bränder kan utvecklas väldigt annorlunda i dem. Vägtrafiktunnlar, vindkraftverk och större industrier är exempel på byggnadsverk där brand kan få stor betydelse för såväl människors säkerhet som för samhällets funktion. Bränder i den typen av byggnadsverk kommer inte att behandlas explicit i den här boken. För sådana byggnadsverk hänvisas till annan litteratur. Det finns en mängd forskning om bland annat bränders och brandgasers utveckling och spridning i till exempel tunnlar.

Kraven på byggnadstekniskt brandskydd har en lång historia, och det sker ständiga förändringar. Men de grundläggande principerna för utveckling och spridning av brand är desamma, oavsett hur byggnaden eller byggnadsverket är utformat eller när byggnaden uppfördes.

Byggnadstyp och byggnadskonstruktion

Det finns en mängd olika byggnadstyper, som kan inrymma en mängd olika typer av verksamheter. En enkel indelning av olika byggnadstyper kan vara industrier, kontor, samlingslokaler, bostäder, hotell och vårdbyggnader.

Dessa olika byggnadstyper påverkar brand i byggnad på olika sätt. För initialbranden och det tidiga brandförloppet är skillnaderna små mellan olika byggnadstyper. Byggnadstypen kan däremot ha stor betydelse för övertändning, den fullt utvecklade rumsbranden och den fortsatta brandspridningen till flera rum, i stora rum, bränder i konstruktioner och i höga hus.

Något förenklat kan man säga att ju större en byggnad är, desto svårare blir det att beskriva och förutsäga brandens utveckling. Försvårande omständigheter är bland annat ett stort antal rum, stora rum och hög höjd på byggnaden. Även verksamheten och byggnadens innehåll har betydelse. Det blir fort många parametrar som påverkar brandens förlopp och spridning. I räddningstjänstsammanhang talar vi ofta om komplexa byggnader. Något förenklat kan man hävda att bränder blir mer komplexa om dom befinner sig långt från markplan. Ju högre upp i en byggnad eller ju längre ner under marknivå, desto mer komplexa blir förhållandena ur ett räddningstjänstperspektiv.

Byggnadskonstruktion handlar om hur man dimensionerar och utformar en byggnad samt vilka typer av byggnadsmaterial som används. Ofta fokuserar man inom byggnadskonstruktion på hur man ska, kan eller bör utforma en byggnad utifrån de laster byggnaden förväntas utsättas för, inklusive brand. Det finns ganska omfattande regelverk för hur byggnader kan eller ska uppföras. Väsentliga tekniska egenskaper där det ställs krav på byggnadsverk, handlar bland annat om

- bärförmåga, stadga och beständighet
- säkerhet i händelse av brand
- skydd med hänsyn till hygien, hälsa och miljön
- säkerhet vid användning
- skydd mot buller
- energihushållning och värmeisolering.



Ett av flera väsentliga tekniska egenskapskrav på byggnadsverk är säkerhet i händelse av brand. Foto: Stefan Svensson.

Skydd mot brand (uppkomst och spridning) är ett egenskapskrav som funnits ganska länge, och det finns byggnader som är över hundra år gamla där det införts tydliga tekniska åtgärder för att skydda mot brand. Exempel är så kallade brandmurar och obrännbar taktäckning. Äldre byggnader har ofta ett förvånansvärt gott skydd mot spridning av brand inom och utanför fastigheten. Sådana åtgärder som byggs in i byggnader i förväg går in under samlingsnamnet byggnadstekniskt brandskydd.

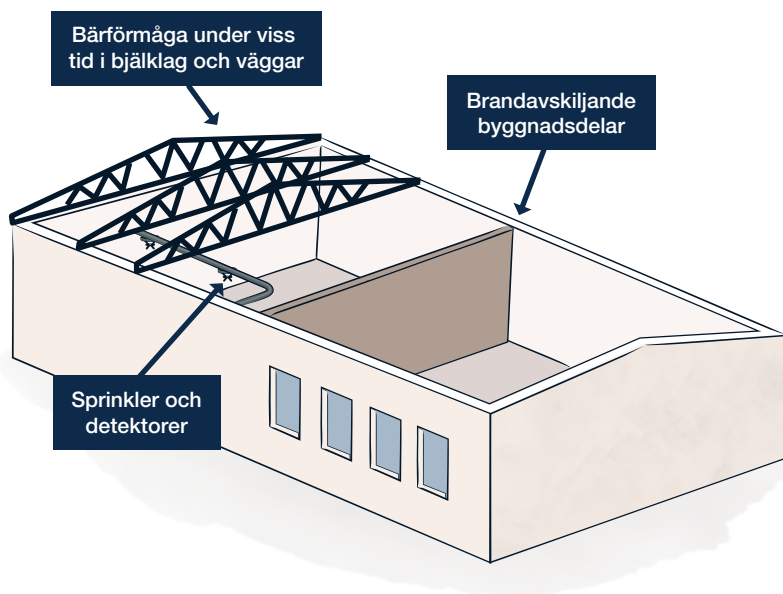
Byggnadstekniskt brandskydd

Med byggnadstekniskt brandskydd menas de tekniska lösningar som finns inbyggda i byggnader och som syftar till att förhindra att brand uppkommer och sprids inom och utanför byggnaden. Vid en räddningsinsats mot brand i byggnad är ett fungerande byggnadstekniskt brandskydd ofta avgörande för slutresultatet, oavsett hur kunnig och välorganiserad räddningstjänsten är. Men ofta krävs att räddningstjänsten aktivt gör något för att det byggnadstekniska brandskyddet ska kunna fungera som det är avsett.

Hur det byggnadstekniska brandskyddet är utformat i en byggnad har betydelse för hur en brand kan sprida sig, såväl i ett rum som till flera rum eller till andra byggnader. De krav som bygglagstiftningen ställer på till exempel materialval är ställda utifrån syftet att förhindra eller begränsa uppkomst och spridning av brand.

Samhället ställer en mängd krav på det byggnadstekniska brandskyddet i byggnader, men brandskyddet varierar mycket mellan olika byggnader. De åtgärder som byggs in och vilket skydd mot brand dessa ger beror bland annat på när byggnaden är uppförd, typ av byggnad och den verksamhet som finns i byggnaden. Boverket är den myndighet som utfärdar föreskrifter om byggnaders brandskydd.

Figur 82. Exempel på byggnadstekniska brandskyddsåtgärder



Med byggnadstekniskt brandskydd menas de tekniska lösningar som finns inbyggda i byggnader och som syftar till att förhindra uppkomst och spridning av brand inom och utanför byggnaden.

De krav som ställs beror på en mängd faktorer. För att få rätt nivå i brandskyddet är byggnader indelade i verksamhetsklasser, från 0–5 med underklasser. Totalt finns det 12 verksamhetsklasser. Indelningen beror på

- Om personer kan förväntas ha kännedom om byggnaden
- Om personer kan förväntas vara vakna
- Om personer kan förväntas utrymma på egen hand
- Om det finns stor risk för brand

Byggnader delas även in i byggnadsklasser utifrån skyddsbehovet, från byggnadsklass 0 till byggnadsklass 3. Vid den indelningen ska hänsyn tas till troliga brandförlopp, potentiella konsekvenser av en brand och byggnadens komplexitet.

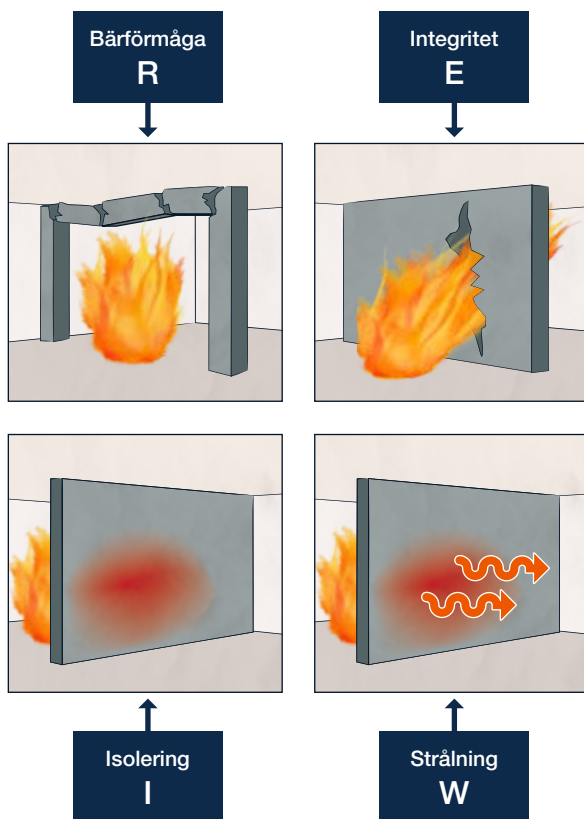
Utifrån byggnadens verksamhetsklass och byggnadsklass ställs en mängd olika krav på de byggnadsdelar som används i byggnaden. Dessa byggnadsdelar provas och klassificeras utifrån väldigt specifika provnings-

metoder med vissa kriterier för brandskyddets kravnivåer. Provning och klassificering sker utifrån följande huvudklasser för brandmotstånd:

- R – bärförmåga vid brand
- E – integritet, det vill säga täthet mot brand och brandgaser
- I – isolering, det vill säga begränsning av temperatur på icke brandutsatt sida
- W – skydd mot strålning, det vill säga begränsning av strålning på icke brandutsatt sida.

Det finns också en tilläggsklass för motstånd mot mekanisk påverkan efter brand, M.

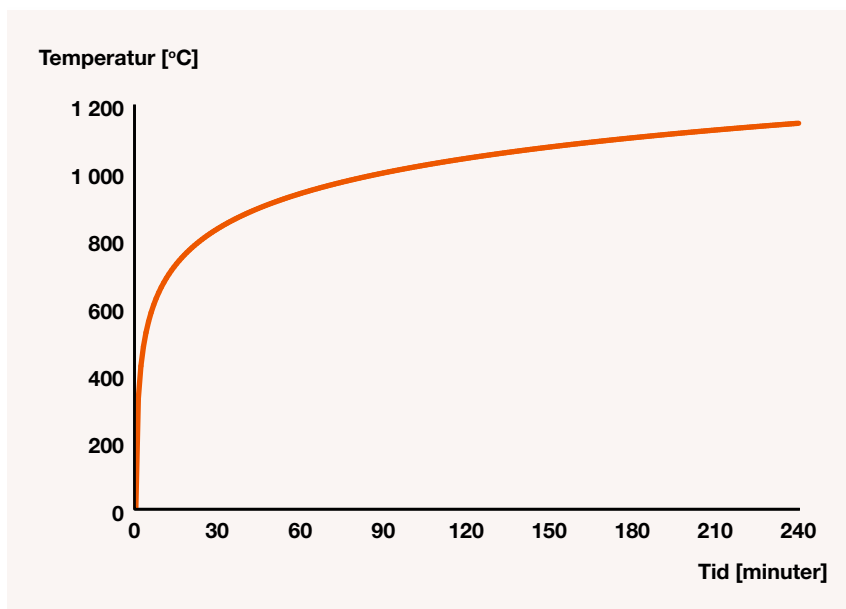
Figur 83. Brandskyddstekniska krav ställs på bärförmåga, integritet, isolering och skydd mot strålning



Vid klassificeringen anger man hur länge byggnadsdelarna ska kunna upprätthålla en viss funktion. De fyra funktionerna kan då kombineras. Egenskapen för brandmotstånd kombineras alltid med en specifik tid. En byggnadsdel som är klassificerad som RE60 ska ha en bärförmåga och en täthet och isoleringsförmåga som består under minst 60 minuter i samband med provning. Notera dock att den temperatur som byggnadsdelen utsätts för vid provningen inte nödvändigtvis är samma som den temperatur byggnadsdelen kan utsättas för vid en verklig brand.

Utöver detta används en mängd klassbeteckningar för material, beklädnader och ytskikt. Observera att det generellt inte ställs krav i motsvarande utsträckning på inredning eller andra föremål vi har i våra bostäder, såsom möbler, kläder och liknande. En brand börjar oftast i den typen av föremål.

Figur 84. Temperaturens utveckling över tid för det brandförlopp som en byggnadsdel utsätts för vid provning



Byggnadsdelar provas utifrån sin funktion, och kraven kan vara olika höga i olika byggnader. Det kan på så vis vara stora skillnader mellan byggnader i fråga om till exempel värmeupptagningsförmåga i de material som används, även om de ingående byggnadsdelarna klarar gällande krav. Som vi sett i tidigare kapitel kommer även byggnaders utformning och storlek att påverka hur bränder utvecklas och sprids.

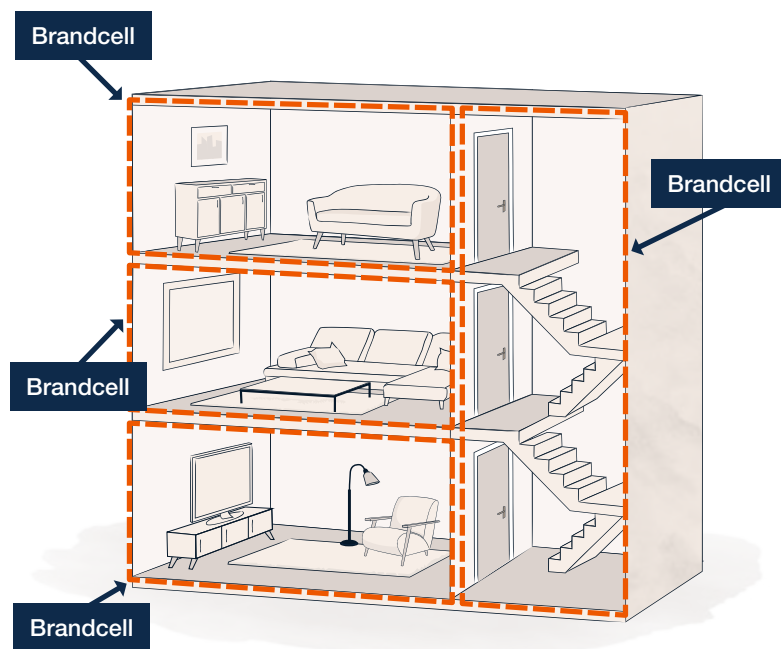
För det byggnadstekniska brandskyddet finns det en mängd krav som ska uppfyllas. Här kommer endast vissa av dem att beskrivas, utifrån att de är särskilt väsentliga för bränders förlopp och spridning. För mer utförliga beskrivningar av byggnadstekniskt brandskydd hänvisas till annan litteratur och inte minst till Boverket, som är den myndighet som utfärdar föreskrifter om bland annat byggnadstekniskt brandskydd.

Brandcell

Brandceller fyller en central funktion i det tekniska brandskyddet. En brandcell är ett avgränsat utrymme i en byggnad som ska stå emot brand under en viss tid. Generellt ska olika verksamheter i en byggnad vara i separata brandceller. I ett flerbostadshus är vanligtvis varje lägenhet en egen brandcell. Med nuvarande byggregler ska lägenhetens golv, väggar och tak kunna motstå ett fullständigt brandförlopp, vilket provas med en så kallad standardbrand under 60 minuter. Syftet är att branden ska avta eller hinna släckas under den tiden, och därmed inte sprida sig till nästa brandcell. Detta krav infördes 1960 men var praxis redan innan. Även många äldre byggnader är indelade i brandceller efter verksamhet.

I princip är ett enfamiljshus en brandcell på motsvarande vis, men då används i stället avstånd som skyddsåtgärd. Det ska normalt vara minst fyra meter från byggnaden till fastighetsgränsen, dvs totalt 8 meter mellan byggnader. Är avståndet kortare, krävs det ofta ytterligare åtgärder för att brand inte ska kunna sprida sig från en byggnad till en annan inom en viss tid. Det kan till exempel vara att det inte finns några fönster i fasaden eller att ytterväggen har en viss brandklass.

Figur 85. En brandcell är ett avgränsat utrymme i en byggnad som ska stå emot brand under en viss tid



Generellt ska olika verksamheter i en byggnad vara i separata brandceller.

Brandceller är mycket användbara och värdefulla vid räddningsinsatser, till exempel för att effektivt kunna begränsa brandens spridning. Spridning mellan brandceller sker oftast där det finns någon typ av brist. Det kan till exempel ske genom fönster via fasaden vidare till en annan brandcell eller vid genomföringar av ventilationskanaler, kablar eller avloppsrör genom brandcellsgränsen. Även sådana genomföringar ska givetvis klara motsvarande krav som brandcellen i övrigt, men av praktiska skäl kan det vara svårt att få detta att fungera helt tillfredsställande. Spridning till andra brandceller kan även ske om branden får fortgå opåverkad under lång tid.

Brandvägg

En brandvägg ska kunna begränsa en brand utan insats från räddningspersonal och ska tåla brandens mekaniska påverkan under en viss tid. Den ska dessutom lätt kunna identifieras av räddningstjänstens personal. Generellt brukar brandväggar finnas mellan fastigheter eller mellan byggnader/utrymmen där det kan finnas särskilt brandfarliga verksamheter eller gods. Det som brukar känneteckna brandväggar är att dom går upp en bit över yttertaket. Detta gör dom enkla att identifiera från utsidan av byggnaden.

I äldre bebyggelse är brandväggar (då kallade brandmurar) ofta lätta att identifiera genom att det är en relativt tjock tegelmur som går upp cirka 10–20 cm över taken. När man skapar begränsningslinjer vid bränder i byggnader är det ofta lämpligt att göra begränsningslinjen i anslutning till en brandvägg. Går inte det, kan brandcellsindelningar vara användbara, men dessa är svårare att identifiera och har inte samma motståndskraft som brandväggar.



Exempel på en brandvägg som sticker upp över taket i fastighetsgränsen.
Foto: Stefan Svensson.

Brandsektion

Med brandsektion avses en avskild del av en byggnad inom vilken en brand kan utvecklas utan att sprida sig till andra delar av byggnaden eller andra byggnader. Brandsektionen ska vara avskild från byggnaden i övrigt med brandväggar och bjälklag eller motsvarande så att brandspridningen inom och mellan byggnader begränsas.

Skillnaden mellan en brandsektion och en brandcell är att en brandsektion ska vara avskild från byggnaden med brandväggar och bjälklag för att begränsa brandspridningen inom eller mellan byggnader. En brandcell behöver inte ha en brandvägg som avskiljande konstruktion, utan det räcker att den håller en viss brandteknisk klass, till exempel EI60. En brandsektion har således ett högre skydd mot spridning av brand än en brandcell.

Brandbelastning

Brandbelastning är en term som ofta används för att beskriva ett rums eller en byggnads "brandfarlighet" – dess potentiella bidrag till en brand. Brandbelastningen ligger till grund för hur brandskyddet i byggnader dimensioneras, i synnerhet med avseende på bärande förmåga. Brandbelastningen talar om för oss hur mycket potentiell energi det finns i byggnaden.

Boverket definierar brandbelastning som brandenergi per golvarea inom ett visst utrymme, uttryckt i MJ/m². Brandbelastning är den totala mängd energi som kan förbrännas vid ett fullständigt brandförlopp i förhållande till golvarean för aktuellt utrymme. Utrymmet motsvaras normalt av en brandcell.

Man skiljer mellan permanent och variabel brandbelastning. Den dimensionerande brandbelastningen är den sammanlagda mängden permanent och variabel brandbelastning i brandcellen. Permanent brandbelastning är brännbara byggnadsdelar vars mängd och förbränningsbeteende inte varierar över tid, eller endast varierar försumbart. Exempel på permanent brandbelastning är brännbart byggnadsmaterial inklusive den bärande konstruktionen, isolering, ytskikt, beklädnad och permanent installerad teknisk utrustning. Variabel brandbelastning är brännbart material som till mängd och förbränningsbeteende kan variera

över tid. Exempel på variabel brandbelastning är lagervaror, flyttbar utrustning, möbler och annan lös inredning.

Tabell 16. Exempel på variabel brandbelastning som används som grund för dimensionering av brandskyddet i några olika typer av byggnader eller verksamheter

Verksamhet	Variabel brandbelastning [MJ/m ²]
Betongvaruindustri	50
Biograf, restaurang och teater	600
Kontor	
Personbilsgarage	
Skolor	
Gallerior och shoppingcenter	1 200
Arkiv	1 600
Bibliotek	
Lager	

Brand i flera rum

Brand och brandspridning i flera rum är mer komplext än i ett enskilt rum, av flera skäl. De grundläggande mekanismerna fungerar samtidigt på precis samma sätt. Till exempel kommer egenskaperna hos omgivande ytor, inklusive väggar, tak, golv och föremål, att påverka den fortsatta spridningen på motsvarande sätt som i ett enskilt rum. En av dessa egenskaper är olika materials värmeupptagningsförmåga, oavsett om materialen är brännbara eller inte. Även öppningar kommer att påverka förloppet. En skillnad är att det nu inte bara finns öppningar mot det fria, där frisk luft kan strömma in och brandgaser kan strömma ut. Nu kommer även öppningar mellan anslutande rum att påverka hur branden och brandgaserna sprider sig. Varje sådan öppning begränsar hur mycket luft och brandgaser som kan strömma mellan de olika rummen.

Figur 86. Trots det byggnadstekniska brandskyddet kan en brand sprida sig mellan brandceller

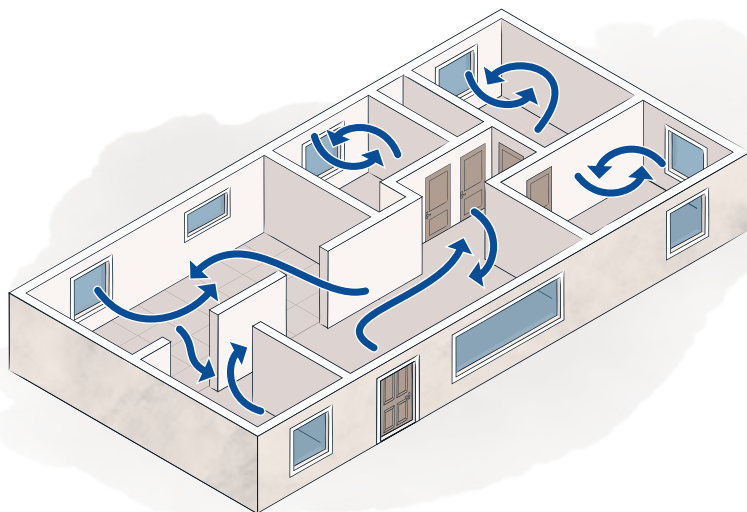


En brand som sprider sig till flera rum eller till flera olika verksamheter i en byggnad blir fort oerhört komplex, eftersom det då blir många fler parametrar som påverkar brandförloppet.

Antalet rum påverkar brandens förlopp genom att volymen totalt sett blir större med fler rum. Är det många eller stora rum som är anslutna till varandra, gör den stora luftvolymen att branden kan fortsätta att vara bränslekontrollerad under en längre tid eller att graden av ventilationskontroll ökar långsammare än i ett enskilt rum. Om det finns en öppning till det fria i ett anslutet rum som är långt ifrån det ursprungliga brandrummet, kommer den inströmmande luften och de utströmmande brandgaserna att få en längre väg att transporteras. Flödet kommer då att ta längre tid. Samtidigt kommer det att ansamlas brandgaser i de anslutna rummen, vilket kommer att värma upp samtliga ytor som brandgaserna möter, genom konvektion och värmestrålning.

Detta kan innebära att graden av ventilationskontroll blir olika i olika rum i en byggnad. En brand som omfattar flera rum kan vara bränslekontrollerad i ett rum som är öppet direkt till det fria och samtidigt kraftigt ventilationskontrollerad i ett rum som är beläget längre in i byggnaden. Men totalt sett, för hela byggnaden, bör branden då betraktas som ventilationskontrollerad.

Figur 87. Flera sammankopplade rum innehåller mer luft



Flera rum som är anslutna till varandra gör dels att det finns mer luft tillgängligt, dels att såväl luft som brandgaser har längre sträckor att strömma.

Ganska tidigt efter det att en brand i ett rum startar, det vill säga en initialbrand, så kommer den att börja påverka även de rum som är anslutna till det första brandrummet. De brandgaser som bildas kommer så småningom att strömma ut ur brandrummet och värma upp först och främst takytor i angränsande rum genom konvektion. I början är temperaturen på brandgaserna relativt låg och den mängd värme som överförs är liten. Men efterhand blir brandgaserna varmare och varmare, och en allt större mängd brandgaser strömmar ut till angränsande rum.

Ju mer brandgaser som produceras och sprids till anslutna utrymmen, desto mer värme kommer att överföras till takytorna genom konvektion och värmestrålning. Och ju varmare brandgaserna är och ju mer brandgaser som produceras, desto mer av överföringen kommer att ske via värmestrålning. Dels mot taket, dels mot de övre delarna av väggarna och även mot föremål och övriga ytor i angränsande rum.

Även om det fort blir varmt i det rum där branden uppstår, kan temperaturen i angränsande rum i vissa fall vara avsevärt lägre under relativt lång tid. Men strömmar det brandgaser ut ur rummet och in i angränsande rum, kommer dessa att värma upp ytorna i de angränsande rummen.

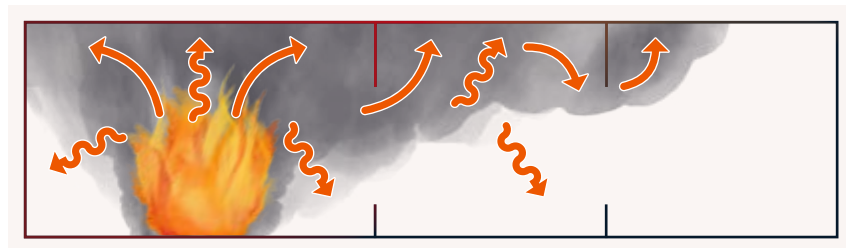


Brandgaser och flammor från det första brandrummet kommer att värma upp ytor och föremål i anslutande rum. Foto: Stefan Svensson.

När branden i det ursprungliga brandrummet så småningom når över-tändning, är angränsande rum redan uppvärmda. Detta gör att brand-spridningen till och i dessa rum då kommer att gå fortare, förutsatt att det finns tillräckligt med syre i rummen. Annars blir branden alltmer ventilationskontrollerad och effektutveckling minskar, på motsvarande sätt som för ett enskilt rum.

Om de angränsande rummen blir tillräckligt uppvärmda, kommer även dessa att börja bidra till produktionen av brandgaser. Ju fler eller större rum som angränsar till varandra, desto mer ytor och fler föremål finns det som kan bidra till brandens utveckling och spridning. Det sker i första hand genom att det kan produceras mer pyrolysgaser. Ju större branden växer sig i det ursprungliga rummet och ju mer uppvärmda de angränsande rummen blir, desto mer syre kommer att förbrukas i rummen. Om det då inte finns några ytterligare öppningar utifrån till dessa angränsande rum, kan graden av ventilationskontroll bli högre än om det endast hade brunnit i ett rum utan några rum som angränsar.

Figur 88. Flera sammankopplade rum ger branden andra förutsättningar



En fullt utvecklad brand kan sprida sig fortare till övriga rum, eftersom dessa redan är uppvärmda av de brandgaser som sprider sig från det ursprungliga brandrummet.

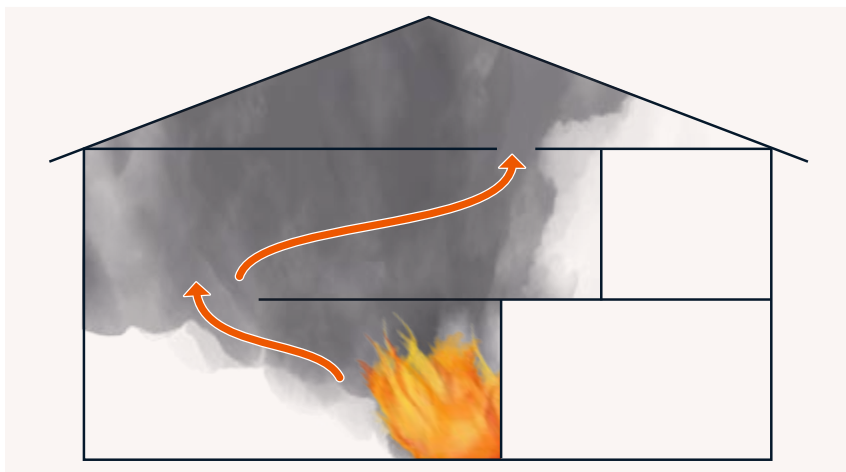
Ju fler rum som blir involverade i branden, desto större kan den totala brandeffekten bli eftersom det normalt då finns mer bränsle tillgängligt. Samtidigt kommer effektutvecklingen, precis som i fallet med ett enskilt rum, att begränsas av tillgänglig mängd luft, det vill säga antalet och storleken på öppningarna. Hur mycket luft som kan strömma in till branden är avgörande för brandens storlek och tillväxthastighet, oavsett hur många rum det finns i byggnaden.

Om flera rum omfattas av branden kan branden bli mer långvarig, eftersom det då kan finnas mer bränsle tillgängligt. Som en konsekvens av detta ökar risken för att spridning sker genom omslutande ytor, det vill säga att branden sprider sig till byggnadens konstruktion, till andra brandceller eller till andra byggnader. Fler rum som angränsar till varandra medför normalt också att det finns fler öppningar (dörrar och fönster). Även detta innebär en ökad risk för spridning, till ännu fler rum eller till fasaden. Följaktligen ökar då även risken att branden sprider sig till flera våningsplan.

Många enfamiljshus har två våningsplan som står i öppen förbindelse till varandra och ibland även till ett källarplan. Där kommer brandgaser att sprida sig även uppåt i byggnaden på grund av den termiska stigkraften. Om vi antar att branden startar på bottenvåningen eller i källaren, kommer brandgaserna på grund av den termiska stigkraften att stiga uppåt. Övre plan kan då komma att värmas upp mer och fortare än delar av den våning där branden startade (men inte fortare än brandrummet och de ytor brandgaserna möter på sin väg uppåt i byggnaden). De brandgaser som strömmar uppåt i byggnaden värmer upp de ytor och föremål som passeras, genom konvektion och strålning. Samtidigt kommer mer luft att blandas in i brandgaserna på dess väg uppåt i byggnaden, vilket innebär att temperaturen på de brandgaser som når övre plan blir något lägre. Mängden brandgaser blir dock större eftersom mer luft kan blandas med förbränningsprodukterna när dom strömmar en längre sträcka. Ett brandförlopp blir normalt värre om flera våningsplan är involverade. Detta är en anledning till att brandceller normalt endast får omfatta två våningsplan i höjd.

Som en konsekvens kan ytor och föremål på övre plan börja pyrolysera. Branden kan då fort spridas uppåt i byggnaden, om temperaturen på såväl brandgaser som ytor och föremål blir tillräckligt hög.

Figur 89. Flera sammankopplade våningsplan ger branden andra förutsättningar



Vid en brand på bottenplan i en 2-plans villa sprider sig brandgaserna uppåt i byggnaden och värmer upp även det övre planet, liksom de ytor som brandgaserna strömmar förbi.

Om branden startar på övre plan, kommer till en början endast övre plan att värmas upp. Brandgaserna kommer inte att strömma ner till nedre plan förrän övre plan har fyllts upp helt med brandgaser (förutsatt att det inte finns andra faktorer som påverkar, till exempel externa vindförhållanden). Brandgaser kan bara sjunka nedåt om densiteten är högre än den omgivande luften. Det kan på så vis bli en fullt utvecklad rumsbrand i ett eller flera rum på övre plan, samtidigt som bottenplan är relativt opåverkat av såväl värme som brandgaser.



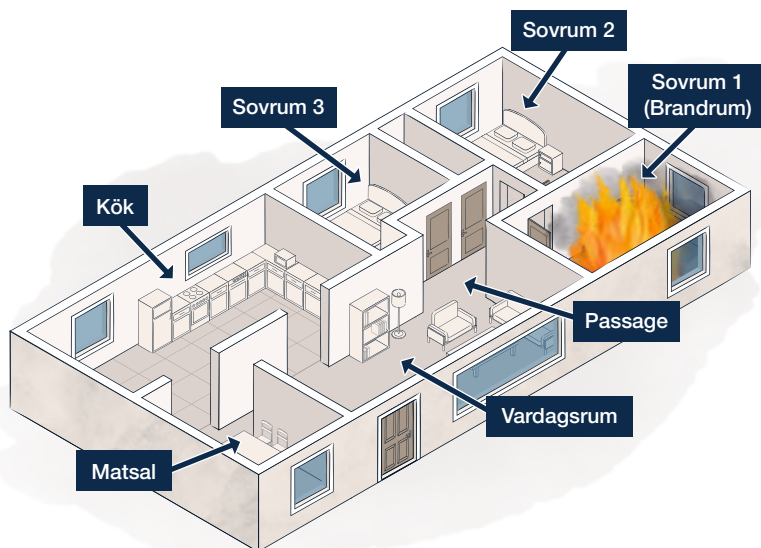
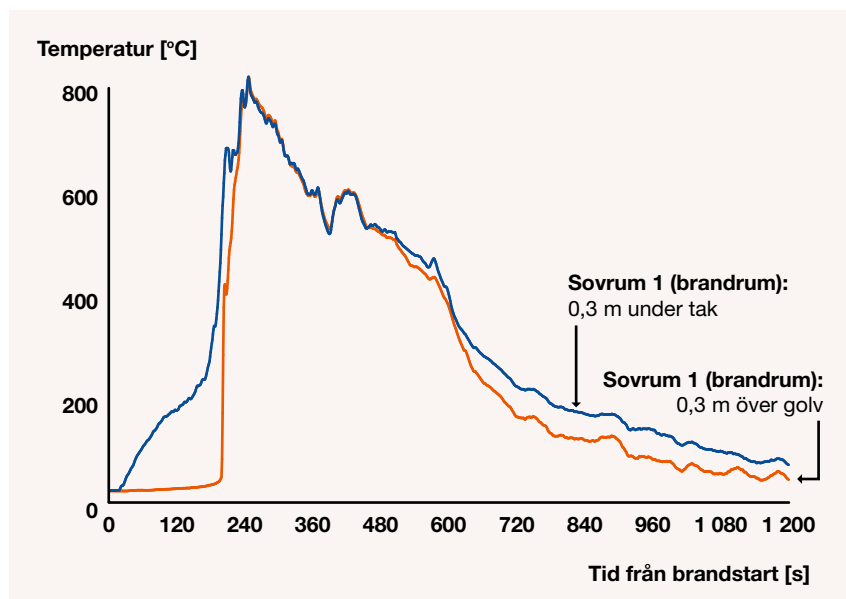
En brand på ett övre våningsplan sprider sig inte nödvändigtvis särskilt fort till de nedre våningsplanen. Foto: Lars Axelsson.

En brand som omfattar flera sammanhängande rum ger normalt en högre brandeffekt. Men även i detta fall är det i stor utsträckning antalet och storleken på öppningarna som påverkar brandens storlek. Att det finns flera öppningar fördelat på flera rum kan till exempel innebära att det är fullt utvecklad brand i flera rum samtidigt och att lågor slår ut genom flera öppningar. Eftersom byggnader ofta har öppningar åt flera håll, kan vinden komma att påverka lufttillförseln till branden. Om vinden blåser in genom en öppning, kommer branden givetvis att få tillgång till mer luft.

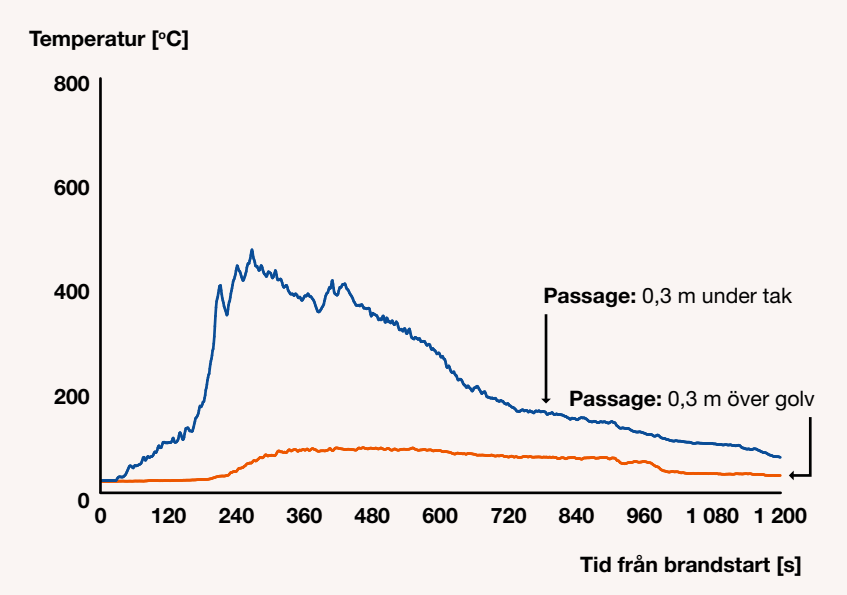


En fullt utvecklad brand i flera rum kan göra att det slår ut lågor genom flera öppningar samtidigt. Foto: Peter Lundgren.

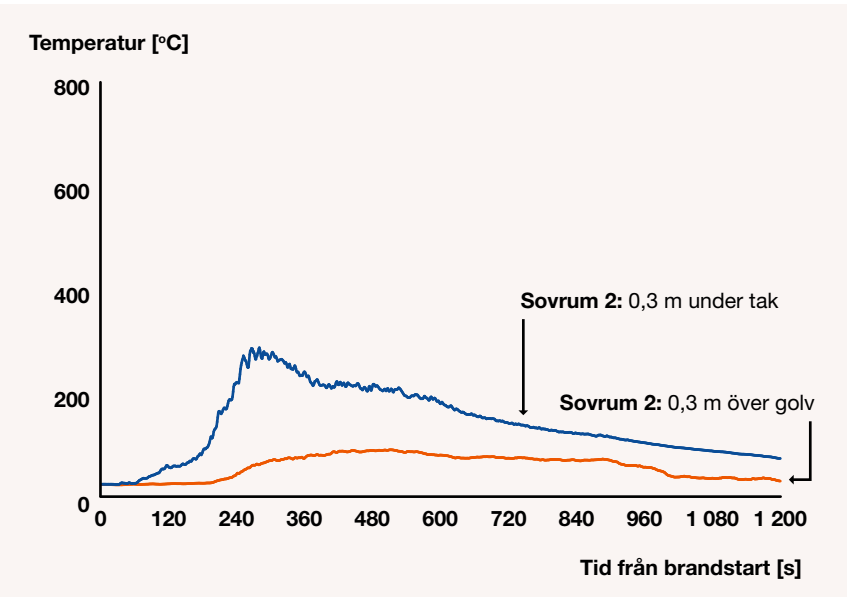
Låt oss titta på ett exempel, hämtat från fullskaleförsök gjorda i USA (Madrzykowski & Weinschenk, 2019). Byggnaden som användes för försöket var ett möblerat enplans enfamiljshus. I byggnaden fanns det utrustning monterad för att mäta bland annat temperatur, och försöket filmades med kameror monterade inne i de olika rummen. Samtliga dörrar och fönster till omgivningen var stängda och ingen släckning gjordes.

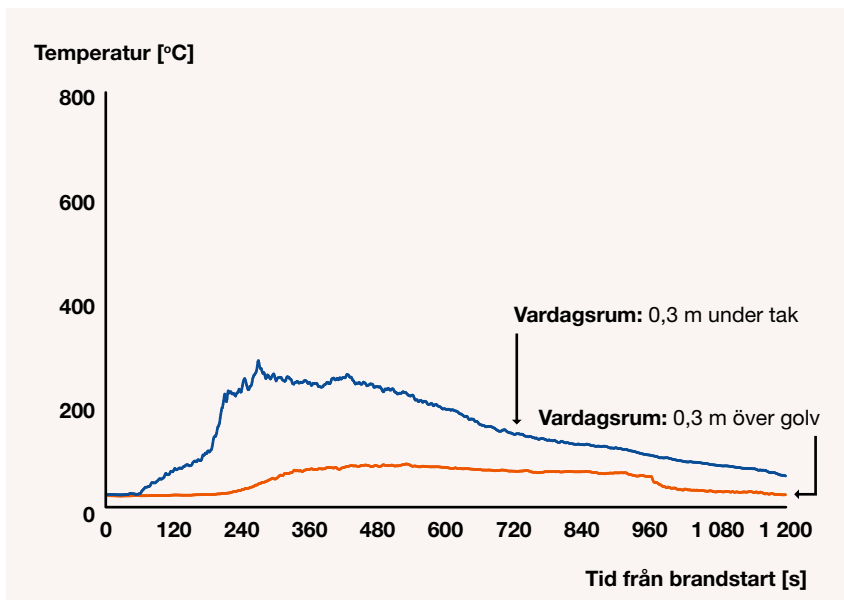
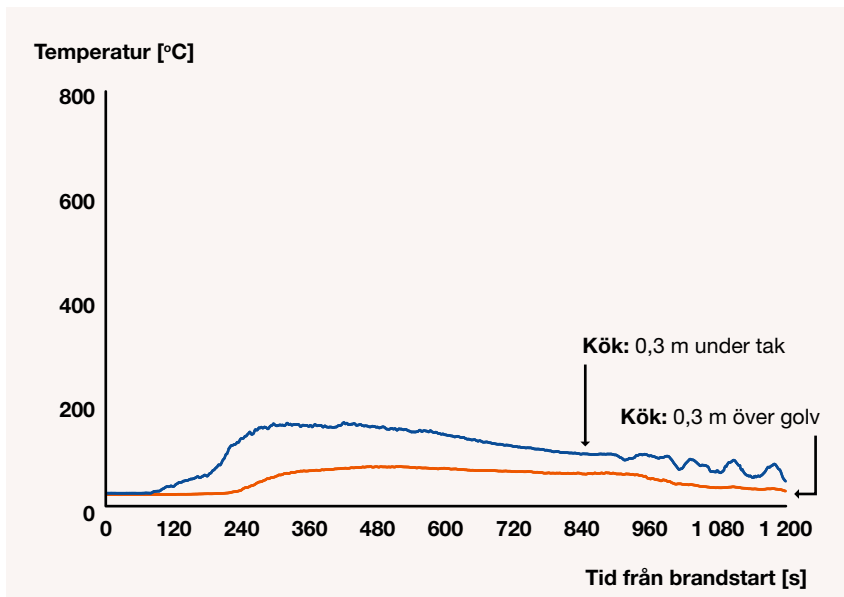
Figur 90. Översikt över försöksbyggnad, alla öppningar stängda**Figur 91.** Temperatur i sovrums 1 (brandrum)

Figur 92. Temperatur i passage (utanför brandrum)

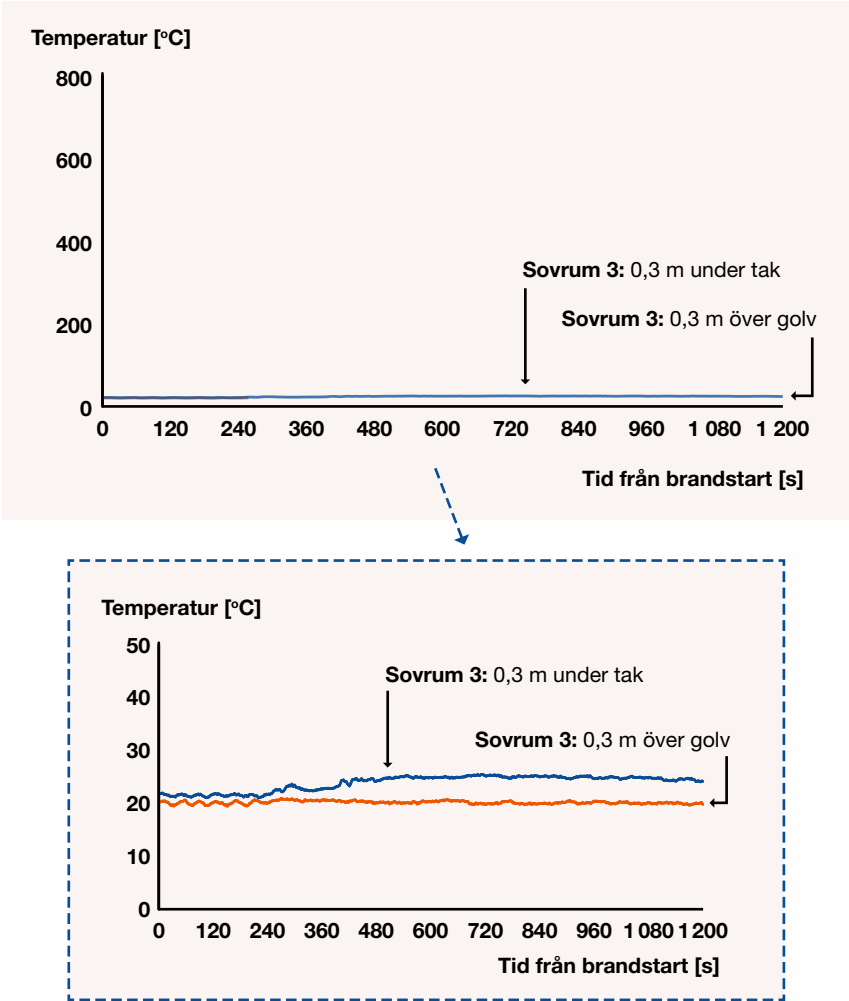


Figur 93. Temperatur i sovrums 2



Figur 94. Temperatur i vardagsrum**Figur 95.** Temperatur i kök

Figur 96. Temperatur i sovrums 3



Inzoomad version. Notera att diagrammet har annat intervall på temperaturen.

Man ser tydligt hur de varma brandgaserna sprider sig från brandrummet till övriga rum. Man ser även hur brandgaserna kyles av, eftersom temperaturen på brandgaserna är lägre längre från brandrummet. Skillnaden är störst närmast taket. Man kan även se en tidsförskjutning för temperaturhöjningen mellan de olika rummen. Det tar helt enkelt längre tid för brandgaserna att flöda till och värma upp de rum som ligger längst från brandrummet.

Temperaturen varierar i höjddled och det är varmare närmre taket. Orsaken är den termiska stigkraften: varma brandgaser har låg densitet och stiger uppåt. Dessa vertikala temperaturskillnader blir större ju högre takhöjden är i rummet. Generellt kommer takytor och de övre delarna av väggar att värmas upp först och mest.

Det finns även horisontella temperaturskillnader. Ju större avståndet från branden är, desto lägre är temperaturen. Även i ett och samma rum finns det horisontella temperaturskillnader. Dessa temperaturskillnader är större ju större area rummet har.

Temperaturen i sovrum 3 påverkas nästan inte alls, eftersom dörren till sovrummet var stängd. Mätningar av syrgashalt visade att miljön i rummet var nästan opåverkad. Detta visar att även en enkel innerdörr kan stoppa spridningen av brand och brandgaser under relativt lång tid. Möjligheten att överleva bakom en sådan dörr är således god.

Övertändning av brandrummet sker i exemplet efter knappt fyra minuter. Observera att det inte sker någon övertändning i något av de andra rummen. Detta beror bland annat på att branden snabbt blir ventilationskontrollerad eftersom samtliga fönster och dörrar till omgivningen är stängda. Vid detta försök gjordes ingen släckning, branden fick brinna ut och självslockna.

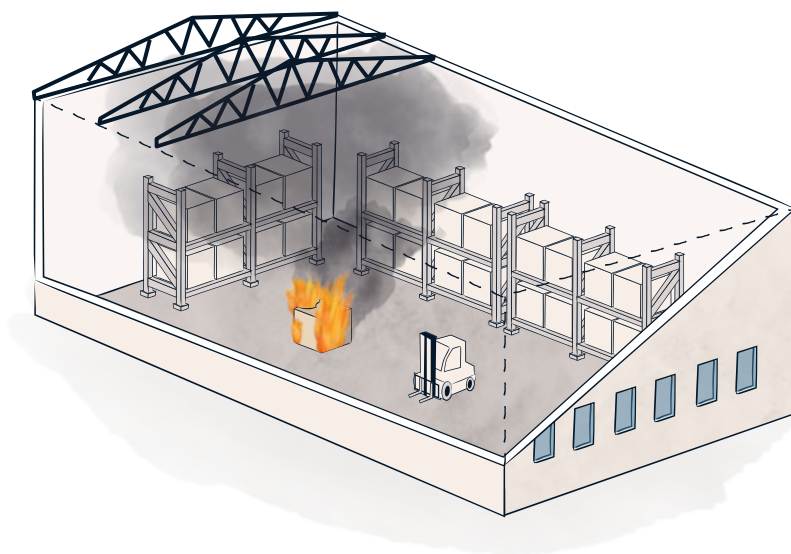
Om ytterdörren eller något fönster hade öppnats eller stått öppet under förloppet, hade branden fått ett snabbare förlopp. Den hade troligtvis också spridit sig i riktning mot öppningen och fler rum hade blivit involverade i själva branden. Eventuellt hade temperaturen också blivit högre, på grund av den ökade lufttillförseln. Dessutom hade omgivande vindförhållanden kunnat påverka brandens förlopp.

Om en rumsbrand fortgår under lång tid, om temperaturen är hög eller om rummets vägg- eller takmaterial är bristfälliga, kan en konstruktionsbrand uppstå. En konstruktionsbrand är en brand som sprider sig till byggnadens konstruktionslement och till de hålrum som normalt finns i till exempel väggar och bjälklag.

Brand i stora rum

I stora rum, till exempel i publika lokaler eller industribyggnader, sker utbytet mellan branden, brandgaserna, omslutande ytor och föremål i rummet på ett något annorlunda sätt, jämfört med i mindre och normalstora rum, till exempel ett kök eller ett sovrum. Värmetransporten i rummet och värmeåterföringen till branden blir annorlunda.

Figur 97. Stora rum ger branden andra förutsättningar

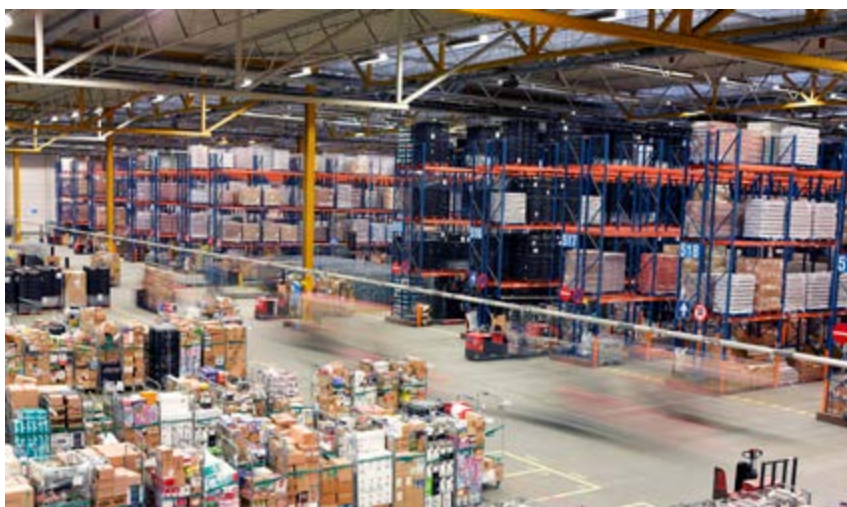


I stora rum är det mindre troligt att det sker en övertändning på motsvarande sätt som i normalstora rum (såsom ett kök eller ett sovrum i en enplansvilla).

Rum kan vara stora genom att golvytan är stor. Branden brukar bete sig annorlunda när golvytan är större än ungefär 150 m². Brandens förlopp och spridning skiljer sig då något från det förlopp vid rumsbrand som tidigare beskrivits. Utrymmen kan också vara stora genom att dom har hög takhöjd. I princip kan allt som är högre än vanliga bostadsrum betraktas som hög takhöjd, det vill säga högre än cirka 3 m. Ju större golvyta eller ju högre takhöjd, desto större blir skillnaderna jämfört med normala bostadsrum.

En större golvyta påverkar bland annat genom att det blir större avstånd, dels mellan väggar, dels mellan föremål (bränslen) i rummet. Det kommer även att ta längre tid för brandgaserna att samlas, eftersom det är en större volym som ska fyllas upp. Detta påverkar värmeöverföringen, dels tillbaka till branden, dels mot tak- och väggytor i utrymmet. Värmestrålning är kraftigt avståndsberoende. I ett större utrymme kommer därför strålningen från flammor eller från brandgaser att påverka såväl föremål som golv, väggar och tak mindre. Ytorna kommer att värmas upp långsammare. Det kan då ta längre tid för dem att börja pyrolysera och bidra till produktionen och spridningen av brandgaser samt till brandens förlopp.

Takhöjden påverkar genom att det kommer att ta längre tid att fylla upp rummet med brandgaser. På brandgasernas väg uppåt kommer också mer luft att blandas in, vilket gör att gasernas temperatur sjunker. De brandgaser som bildas ska helt enkelt fördelas i en större volym. Det kan dels medföra att temperaturen på brandgaserna blir lägre (eller ökar långsammare), dels att värmeöverföringen från brandgaserna till omslutande ytor (tak och väggar) blir mindre eller går långsammare (genom konvektion). Hastigheten på brandgasernas rörelser i rummet kan också bli lägre, vilket också bidrar till lägre värmeöverföring. Och är temperaturen lägre blir även värmestrålningen från brandgaserna mindre.



Stora rum kan ha större takhöjd eller större avstånd mellan ytor än normalstora rum.
Foto: Johnér Bildbyrå.

I stora rum finns det även mer luft tillgängligt. Det kan därför ta längre tid innan branden blir ventilationskontrollerad, eller så ökar graden av ventilationskontroll långsammare. I mycket stora lokaler kan branden fortsätta att vara bränslekontrollerad under lång tid, även om den växer sig mycket stor.

I stora rum kan fenomenet övertändning inte alltid användas för att beskriva brandens utveckling över tid. Som en följd av de större avstånden mellan rummets ytor, nås inte alltid det stadium där värmestrålningen från branden, de varma gaserna och de varma omslutningsytorna orsakar att alla brännbara ytor i brandrummet pyrolyseras och antänds. Branden kan bli stor, men sprider sig inte till hela utrymmet, åtminstone inte lika snabbt som i ett mindre eller normalstort rum. Brandspridningen sker helt enkelt på andra sätt i stora rum. I vissa fall kan man tala om en lokal övertändning av rummet. Då kan en viss del av rummet betraktas som övertänd, på ett motsvarande sätt som en övertändning i ett rum av mer normal storlek. I den delen av rummet omfattas då allt brännbart av branden, men inte resten av utrymmet.

Även i stora rum kan brandförloppet leda till övertändning och en fullt utvecklad rumsbrand. Men det kan ta längre tid än för rum av mer normal storlek, eftersom det är mer ytor som behöver värmas upp. När övertändningen i ett stort rum väl sker, kan övertändningsförloppet vara mycket snabbt.

Notera att det är skillnad mellan uttrycken övertändning och övertänd brand. Övertändning är ett skede under rumsbrandens utveckling – mellan initialbranden och den fullt utvecklade rumsbranden. En övertänd brand har vi efter att övertändningen har skett och allt brännbart material omfattas av branden. Den fullt utvecklade branden kan på så vis sägas vara en övertänd brand. Ibland används uttrycket ”övertänd” även för bränder i det fria. Till exempel så betyder en övertänd bil att hela bilen brinner. Men detta har inget med övertändning av ett rum att göra.

I stora rum blir det även tydligare skillnader i temperatur mellan olika delar av rummet. Vertikalt kommer det att vara större skillnader i temperatur mellan golvnivå och taknivå, än för motsvarande brand i ett mindre rum. Detta beror främst på den termiska stigkraften, men även på värmestrålningen från varma brandgaser mot ytorna i utrymmet.

Horisontellt kommer det på motsvarande sätt att bli större skillnader i temperatur ju större avståndet är till branden. Detta beror till viss del på att värmestrålningen är kraftigt avståndsberoende. Ju närmare branden man befinner sig, desto mer kommer värmestrålningen från branden att påverka. Men det beror även på att temperaturen i brandgaserna är lägre ju längre från branden man befinner sig. När brandgaserna strömmar förbi tak- och väggytor sker värmetransport genom konvektion, och temperaturen sjunker då på brandgaserna. Det blandas även in mer omgivande luft när brandgaserna har en längre sträcka att strömma. Även detta gör att temperaturen på brandgaserna sjunker. Och ju lägre temperatur brandgaserna har, desto mindre värmestrålning ger dom upphov till.

Exempel

Sent på kvällen den 30 november 1991 fick räddningstjänsten i Västerås ett automatiskt brandlarm från ABB Relay AB. Byggnaden var uppförd i en obrännbar konstruktion med yttermått 109×168 m och en rumshöjd som varierade mellan 6 och 7 meter. Den största lokalen, där branden uppstod, var på cirka 6 500 m². Branden uppstod troligtvis i en maskin för tvättning av nylödda kretskort, på grund av överhettning i en felaktig strömbrytare.

Branden spred sig till byggnadens tak, där asfalten i taktäckningen smälte och rann ner genom de invändiga avloppsrören, som då också smälte. Branden blev mycket intensiv, som en följd av maskinernas plasthöljen, asfalten, avloppsrören och en stor mängd kablar.

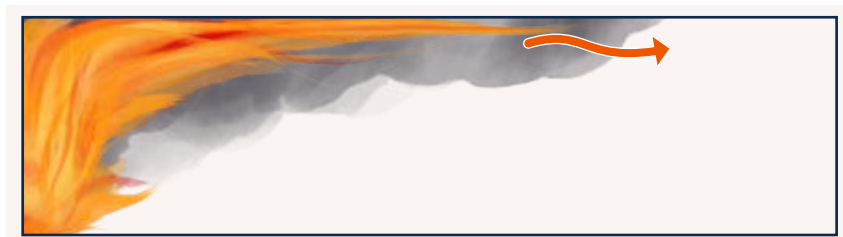
Skadorna på byggnaden blev omfattande, på grund av de stora mängder brandgaser som bildades. Själva brandskadorna blev tämligen begränsade till området närmast initialbranden, dels på grund av lokalens storlek, dels på grund av att räddningstjänsten lyckades begränsa branden till detta område. Troligtvis gjorde den stora takhöjden och avståndet mellan maskiner och annan inredning att branden inte kunde sprida sig snabbare än att räddningstjänsten hann begränsa brandskadorna.

(Statens haverikommission. Brand den 30 november 1991 i ABB Relay AB:s lokaler i Västerås, U län. Rapport O 1991:1)

Löpbrand inomhus ("travelling fires")

Beskrivningen av ett övertändningsförlopp fungerar för normalstora rum i bostäder och motsvarande utrymmen, det vill säga rum som är mindre än cirka 150 m². Observera att detta inte är någon exakt gräns utan fungerar mer som ett riktvärde. I större utrymmen än så eller om rummet är långt ifrån kvadratisk, till exempel i en korridor, sker inte övertändning på motsvarande sätt. I sådana utrymmen uppstår i stället någonting som kan benämnas löpbrand inomhus (engelska: "travelling fires"). Vid löpbränder inomhus sker flamspridningen över ytor mycket långsammare än vid övertändning, trots att det sker inomhus. Löpbranden förutsätter dock att det dels finns tillräckligt med brännbart material i utrymmet, dels att dessa brännbara material är någotsånär sammanhängande, så att det kan ske en flamspridning över ytorna. Men även i fallet med löpbränder kommer brandgaserna att ha stor betydelse. Brandgaserna värmer ytorna framför branden (genom konvektion och värmestrålning), vilket gör att brännbara ytor börjar pyrolysera framför branden.

Om golvytan i rummet är stor inträffar oftast inte det vi kallar övertändning, det vill säga det mer eller mindre plötsliga övergångsskedet från brand i ett eller fåtal föremål till brand som omfattar hela rummet. Rummet är helt enkelt för stort för att initialbranden och de brandgaser som bildas ska kunna påverka övriga ytor eller föremål i rummet så mycket som krävs för en övertändning. Omständigheterna är inte sådana att ett så pass varmt brandgaslager kan byggas upp så att övertändning kan ske. Brandgaserna kyls mot taket, mer kall luft blandas in, mm. Om det finns stora mängder brännbart material i rummet, kan i och för sig en övertändning inträffa som leder till en fullt utvecklad rumsbrand. Men ju större utrymmet är desto mindre blir sannolikheten att det sker en övertändning på motsvarande sätt som i ett mer normalt rum. Istället kan övertändningen ske genom flamspridning över ytor (golv och tak). Brandgaserna har då en mindre inverkan, men det krävs givetvis att ytor i rummet pyrolyserar för att flamspridning ska kunna ske. Vid löpbrand inomhus sker uppvärmningen i större utsträckning genom strålning från flammor, än genom konvektion och strålning från brandgaser.

Figur 98. Löpbrand inomhus

Vid en löpbrand inomhus sker flamspridning över ytor mycket långsammare än vid övertändning.

Observera att termen löpbrand är etablerad vid bränder i skog och mark, där den används för att beskriva hur och i vilken typ av bränsle vegetationsbranden sprider sig. Gemensamt för löpbrand inomhus och utomhus är att branden sprider sig med en viss hastighet (eller ett hastighetsintervall) över en yta. Vid löpbrand inomhus kommer övriga ytor och föremål i utrymmet givetvis också att bidra till brandspridningen. Den kan även ha sin primära spridning längs golvet, medan takytorna endast omfattas sekundärt.

Vid övertändning sprider sig branden i rummet med hastigheter i storleksordningen 2–6 m/s, men även högre hastigheter än så har rapporterats. Vid löpbränder ligger spridningshastigheten snarare på cirka 20–50 mm/s eller 15–25 m²/min eller ännu mindre. Förutom bränslets egenskaper kommer även placering och fördelning av bränslet i rummet att påverka spridningshastigheten. Brandspridningen sker således relativt långsamt. Det här är en viktig skillnad mellan övertändning och löpbränder inomhus: övertändning sker snabbt i ett rum så att allt brännbart i utrymmet omfattas inom en relativt kort tidsrymd, medan löpbränder är ett brandspridningsfenomen. Branden, eller snarare brandfronten, förflyttar sig genom utrymmet med en viss hastighet, en viss sträcka eller över en viss yta (Grimwood 2018).

Fenomenet uppstår i till exempel kontorslandskap med öppna planlösningar och allmänna byggnader med stora öppna ytor. Det krävs också att det finns tillräckligt med bränsle för att brand ska kunna sprida sig. Men bränslet finns normalt i nedre delen av rummet och inte i form av takmaterial. Det blir då inte så mycket bränsle som utsätts för direkt flampåverkan. Takhöjden har betydelse, den påverkar hur brandgaser fyller upp rummet och hur återstrålning sker från såväl brandgaser som

flammar mot främst takytor. Men eftersom golvytan är stor eller lång, kommer flammorna från initialbranden inte att påverka övriga föremål eller ytor i rummet på motsvarande sätt som i normalstora rum ($<150 \text{ m}^2$), helt enkelt eftersom det ofta är större avstånd mellan möbler och andra föremål i rum med större golvyta.

I rum med höga takhöjder sker inte brandspridning på samma sätt som i rum med mer normala takhöjder. Branden kommer då i många fall att hålla sig lokalt i utrymmet relativt länge. Detta beror dock i stor utsträckning på vilka bränslen som finns i utrymmet och hur dessa förhåller sig till varandra. I vissa fall kan det uppstå så kallade löpbränder i rum med högt i tak, det vill säga att branden inte når övertändning utan sprids successivt i utrymmet.

Vinddrivna bränder

Vinddrivna bränder kan uppstå på grund av luftflöden med höga hastigheter. Luftflödena orsakas framför allt av externa vindförhållanden, oftast i kombination med fönster som går sönder eller en felaktig användning av övertrycksventilation (fläktar). Om luft blåser in i ett brandrum med hög hastighet, kan detta orsaka komplexa brandförlopp med snabb tillväxt eller hastig spridning. Luftflödet kan förvandla den mest beskedliga brand till ett inferno. Det finns ett flertal exempel där räddningstjänstens personal har kommit till skada eller avlidit som en direkt följd av så kallade vinddrivna bränder, dock inte i Sverige. Framför allt har detta förekommit vid bränder i höghus, som blir mer utsatta för vind ju högre upp man kommer i byggnaden. Men vinddrivna bränder kan förekomma även i marknivå, eftersom det i huvudsak är omgivande vindförhållanden som påverkar, inte primärt byggnadens utformning eller rumsbranden som sådan. Däremot kan byggnadstekniska krav på till exempel fönster i höga byggnader, göra att risken för vinddrivna bränder minskar.

Vinddriven brand

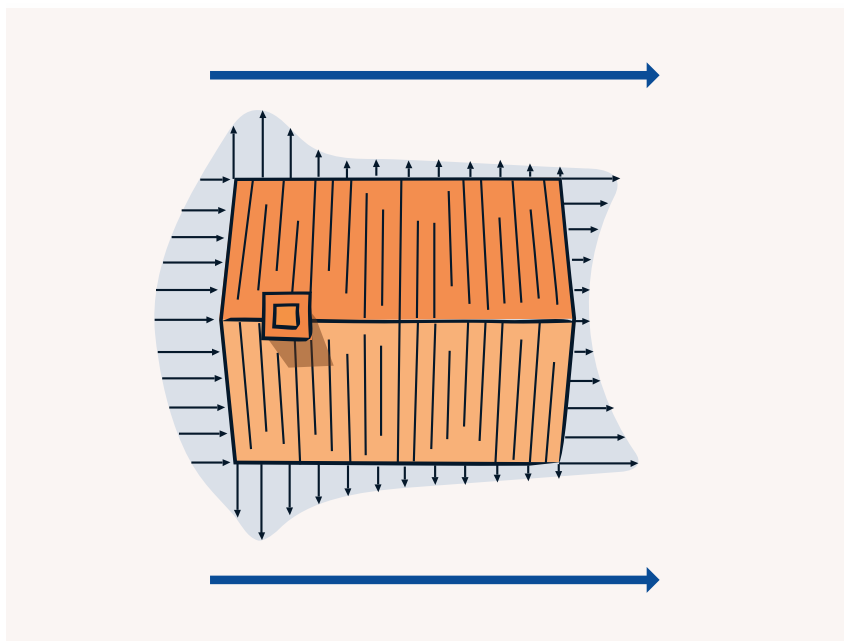
En brand i byggnad där omgivande vindförhållanden orsakar onormal brandtillväxt, snabba spridningshastigheter eller höga temperaturer, på grund av öppningar på såväl vindsidan som läsidan av byggnaden.

Uttrycket "vinddriven brand" har kommit att bli en allmänt använd term för bränder i byggnader som påverkas starkt av omgivande vind. För att underlätta den fortsatta framställningen och förståelsen kan vinddriven brand definieras som en brand i byggnad där omgivande vindförhållanden orsakar onormal brandtillväxt, höga spridningshastigheter eller höga temperaturer, på grund av öppningar på såväl vindsidan som läsidan av byggnaden.

Vind orsakas av tryck- och temperaturskillnader vid jordytan och i atmosfären och kan beskrivas som flödet av gaser i stor skala. Vind mäts på ett flertal olika sätt, men till vardags används meter per sekund (m/s).

När vinden träffar ett föremål, till exempel en vägg, uppstår ett tryck mot väggen (ett övertryck, det vill säga ett positivt tryck). Men vinden skapar samtidigt ett undertryck (ett negativt tryck) på den motsatta sidan av föremålet. Vind skapar även undertryck på platta tak samt på väggytor vinkelrätt mot vindriktningen. På sadeltak varierar trycket över ytorna, på såväl vindsidan som på läsidan, beroende på takets vinkel.

Figur 99. Vindtryck runt en byggnad



Vind ger upphov till ett övertryck på vindsidan och ett undertryck på läsidan av en byggnad. På sidor vinkelrätt mot vinden skapas det undertryck.

Som en konsekvens av detta kommer en vind som blåser mot en vägg där det finns ett öppet fönster att skapa ett övertryck även inne i rummet. Om rummet inte har några andra öppningar kommer trycket att stiga i direkt proportion till vindhastigheten. Men om det finns ett fönster även på den andra sidan av byggnaden, det vill säga på läsidan, kommer luften som pressas in på vindsidan att strömma genom byggnaden och ut på den andra sidan. Jämför med det som vi till vardags kallar för tvärdrag, det vill säga när vi öppnar flera dörrar eller fönster på olika sidor av en byggnad under en blåsigt dag.

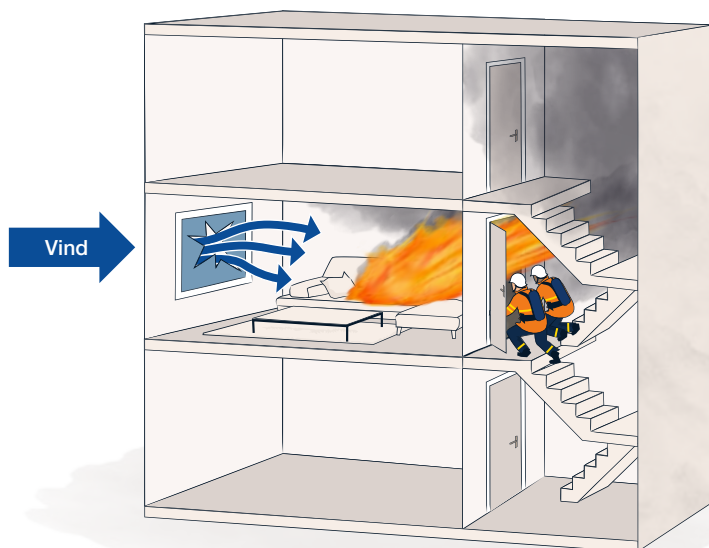
Luft som strömmar genom en öppning av en viss storlek kommer att ha en viss hastighet och ett visst flöde. Om det inte blåser överhuvudtaget mot öppningen, kan endast en begränsad mängd luft strömma in genom öppningen. Flödet genom öppningen beror då i huvudsak på temperaturskillnaden (densitetsskillnaden) mellan luften innanför öppningen och luften utanför. Om det brinner i ett rum innanför öppningen, kommer hastigheten att öka eftersom temperaturen ökar i rummet.

Vi tänker oss nu ett rum där det uppstått en brand. I rummet finns det stora mängder brännbart material, så att branden kan komma att fortgå under lång tid. Till rummet finns det endast en öppning, i form av ett fönster. Efterhand som branden växer ökar inflödet av luft och utflödet av brandgaser. Efter ett tag har branden vuxit sig så stor att den börjar bli ventilationskontrollerad. Öppningens storlek är då inte längre tillräcklig för att luft ska kunna strömma in i tillräcklig mängd till branden i rummet.

Nu tänker vi oss att det blåser rakt mot fönstret. Eftersom det endast finns en öppning till rummet, kommer trycket att öka, dels mot byggnaden, dels inne i rummet. Att trycket inne i rummet ökar beror då i stor utsträckning på att trycket mot fönstret förhindrar brandgaserna att strömma ut ur rummet. Samtidigt gör vindtrycket att det pressas in luft i byggnaden, och i extrema situationer kan det uppstå kraftiga pulsationer i öppningen. Förbränningen inne i rummet fortgår. När trycket från förbränningen blir större än vindtrycket, kommer flammor och brandgaser att tryckas ut genom fönstret. Trycket i rummet avtar och vinden trycker tillbaka förbränningen in i rummet. Detta upprepas så att pulsationer uppstår.

Om det nu öppnas en dörr på läsidan kommer den vind som trycker mot byggnaden att pressa ut brandgaser genom den nya öppningen, samtidigt som luft strömmar in genom fönstret på vindsidan. Öppningen på vindsidan måste inte vara till brandrummet, utan kan finnas i ett annat utrymme som står i förbindelse med brandrummet.

Figur 100. Vinddriven brand



Öppningar på vindsidan av en byggnad kan medföra att branden växer hastigt och trycks in i byggnaden mot räddningstjänstpersonalen.

Om mycket luft strömmar in till branden, kan brandförloppet öka hastigt och kraftigt. Konsekvensen kan bli att branden sprider sig invändigt i byggnaden med stor hastighet och med en hastigt ökad (och ökande) effektutveckling. Branden har då blivit vinddriven, det vill säga dess förlopp och utveckling styrs och påverkas i huvudsak av den omgivande vinden.

Det blir ungefär som när man blåser på glöd eller små beskedliga flammor för att få i gång en kamin: den ökade lufttillförseln ökar förbränningshastigheten. Om den ursprungliga branden skapar stora mängder pyrolysgaser, det vill säga brännbara förbränningsprodukter, kan dessa antändas på läsidan om branden. Förloppet kan bli mycket våldsamt.

Om brandrummet endast har ett fönster på vindsidan kan man få viktig information genom att observera flammornas beteende vid fönstret. Om flammorna ”pulserar” ut genom fönstret är det ett tecken på att branden är kraftigt påverkad av vinden. Om då en dörr till brandrummet öppnas, så att det uppstår ett flöde från fönstret på vindsidan, genom brandrummet och ut genom den öppna dörren på läsidan, kan brandgaser och brand spridas med stor hastighet. Då har en vinddriven brand uppstått.

Den vinddrivna branden innebär att varma brandgaser eller flammor strömmar horisontellt ut från brandrummet, från byggnadens vindsida mot byggnadens läsida. För att vinddrivna bränder ska kunna uppstå måste branden finnas i en flödesväg. Branden måste med andra ord finnas mellan tilluftsöppningen, där vinden blåser in, och frånluftöppningen, där brandgaser kan strömma ut. Utan en sådan flödesväg kan en vinddriven brand i byggnaden inte uppstå.

Exempel

Tidigt på morgonen den 18 december 1998 larmades flera enheter i New York till en brand på tionde våningen i ett äldreboende. Samtidigt som styrkorna sökte av de övriga våningsplanen och drog slang i trapphus och korridorer, begav sig tre av brandmännen mot brandlägenheten. Där stod dörren på glänt så att stora mängder brandgaser kunde tränga ut till den anslutande korridoren. Troligtvis tog dom sig fram till brandlägenheten och öppnade dörren för att påbörja släckningsarbete. Branden var vid detta tillfälle fullt utvecklad, och det blåste en kraftig vind mot byggnaden och in genom ett öppet fönster i brandlägenheten.

När brandmännen öppnade dörren uppstod ett flöde på grund av vinden mot det öppna fönstret, som gjorde att brandgaser och flammor trycktes rakt mot gruppen. Värmen var extrem. Alla tre avled i korridoren utanför brandlägenheten, utan någon möjlighet att hinna ta sig därifrån eller att ens få vatten på branden. Branden spred sig mycket snabbt på grund av vinden mot fönstret.

(Norman, J., Extreme Wind Driven Fireproof Multiple Dwelling Fires. With New York Firefighters (WNYF), New York, NY, 1st/2007)

Soteld

En brand som uppstår i en skorsten kallas för soteld. En sådan soteld uppstår när tjära och sot som samlats i en skorsten antänds. Detta kan på grund av just skorstenseffekten leda till extremt höga temperaturer och skador på skorstenen eller spridning av brandgaser eller brand till resten av byggnaden. Förutom att värmeledning genom skorstenen kan antända intilliggande byggnadsdelar, kan sprickor göra att brandgaser och flammor sprids i byggnaden.

I en murad skorsten är fogarna mellan tegelstenar den svaga punkten och det är inte säkert att de tål den höga temperaturen. Sprickor kan också uppstå på grund av utvidgning när skorstenen värms upp. Det kan röra sig om flera centimeter vid toppen och ju högre skorstenen är, desto längre blir utvidgningen. Bjälklag och annat som är infäst i skorstenen följer inte med i utvidgningen och denna rörelse kan göra att sprickor uppstår.



En soteld, dvs en brand i en skorsten, kan ge lågor som står upp högt över skorstenstoppen. Risken för spridning till byggnadens konstruktion är mycket stor. Foto: Johnér Bildbyrå.

Orsaken till soteld kan vara flera. Bland annat så kan användning av fuktig eller inte tillräckligt torr ved leda till ofullständig förbränning. Rökgaserna blir då kallare och tjärämnen kondenserar och fastnar på insidan av rökkanalen. Det kan också bero på dålig lufttillförsel, vilket medför att förbränningseffektiviteten blir låg och större mängder tjära

bildas vilket kondenserar på insidan av rökkanalen. När mängden tjära eller sot blivit tillräckligt stor kan detta antändas och en soteld uppstår. Att man eldar mycket och ”hårt” under lång tid så att skorstenen överhettas kan också leda till att branden på grund av värmeledning sprider sig utanför rökkanalen till närliggande byggnadsdelar.

Om inte rökkanalen är helt blockerad kan ett tecken på att soteld uppstått vara ett kraftigt, mullrande eller dånande ljud från skorstenen. Detta beror på den så kallade skorstenseffekten, dvs att hastigheten i rökkanalen är hög på grund av stora temperaturskillnaden. Ett annat tecken kan vara att det kommer gnistor, lågor eller tjock, svart rök från skorstenstoppen.

Det bästa sättet att dämpa en soteld är att hålla nere temperaturen genom att begränsa lufttillförseln nedtill, dvs att se till så att branden blir kraftigt ventilationskontrollerad och brinner med låg intensitet. Att påföra släckmedel kan spräcka skorstenen och förvärra situationen ytterligare.

Konstruktionsbrand

En situation som komplicerar bränder i byggnader är så kallade konstruktionsbränder. Detta är en term som används när branden sprider sig till byggnadens konstruktionselement. Bränslet är då inte längre endast byggnadens innehåll, utan i stor utsträckning brännbara konstruktionsdelar såsom träbalkar, kablar, isolering och liknande. En sådan konstruktionsbrand kan starta som en rumsbrand för att därefter sprida sig till konstruktionen. Men en konstruktionsbrand kan också starta inne i till exempel väggar eller bjälklag, där det ofta finns hålrum av olika slag. Sådana hålrum syns ofta inte och kan vara svåra att upptäcka. Det gör det svårt att hantera konstruktionsbränder. Ofta krävs hårt arbete eller viss uppfinningsrikedom vid släckning.

För den fortsatta framställningen om konstruktionsbränder används följande definition: En konstruktionsbrand är en brand i dolda utrymmen eller på ytor med begränsad tillgänglighet, ofta med exponerade brännbara ytor som till exempel byggnadsmaterial och installationer, och som normalt inte nyttjas för till exempel förvaring eller vistelse (Svensson, 2020). Det är således i huvudsak konstruktionen och dess delar som i sig själva är brandens bränsle. Såväl formen som storleken på sådana dolda utrymmen är många gånger väldigt annorlunda jämfört

med vanliga rum, vilket påverkar spridningen av såväl brandgaser som brand. Utöver att utrymmena kan ha liten volym kan de vara avlånga, ha låg takhöjd, innehålla sluttande ytor med mera. Dessutom är tillgängligheten till sådana utrymmen ofta dålig. Det kan vara svårt för räddningstjänsten att släcka konstruktionsbränder. Dels för att dom är dolda och därmed svåra att hitta, dels för att det kan vara svårt att komma åt sådana bränder även om man hittat dom.

Konstruktionsbrand

Brand i dolda utrymmen eller på ytor med begränsad tillgänglighet, ofta med exponerade brännbara ytor som till exempel byggnadsmaterial och installationer, och som normalt inte nyttjas för till exempel förvaring eller vistelse.

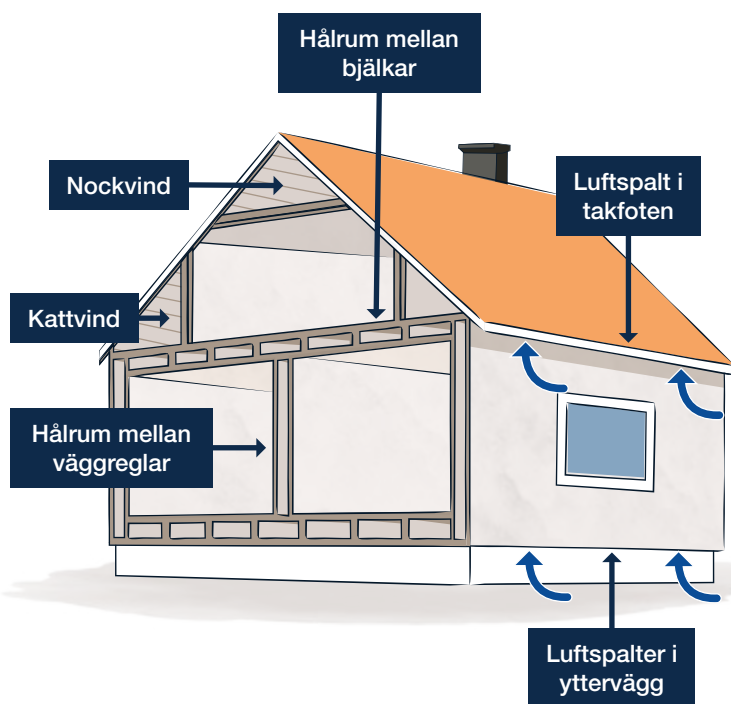
Exempel på dolda utrymmen där konstruktionsbrand kan uppstå eller spridas är bland annat

- mindre hålrum såsom
 - luftspalter i fasad, takfot eller isolerade tak
 - konstruktionstekniska hålrum i byggnadsdel, som förekommer till exempel vid trapetsplåt, ombyggnationer eller bjälklag
 - hålrum som uppstår till följd av brand, till exempel på grund av isolering som smälter
 - skadedjursorsakade hålrum
 - tomrum i oisolerade innerväggar
 - hålrum mellan byggnadselement
 - hålrum mellan byggnadsmoduler
- större hålrum såsom
 - kallvind
 - krypvind
 - krypgrund
- vertikala större hålrum såsom
 - schakt.

Sådana utrymmen kan innebära särskilda problem med avseende på såväl brandspridning som för räddningstjänstens insats.

Observera att det inte på något sätt är entydigt vad som är en konstruktionsbrand. Snarare använder vi den övergripande termen konstruktionsbrand för att beskriva olika räddningsproblem som främst kan hänföras till svårillgänglighet. Till exempel kan en brand i en installationskulvert på många sätt bete sig som en konstruktionsbrand på grund av sin svåråtkomlighet, även om den tekniskt definieras som en rumsbrand. Även en brand på en vind kan på motsvarande sätt utvecklas och definieras som en konstruktionsbrand, oavsett om den är lättåtkomlig eller inte. En vanlig vind med förrådsutrymmen till ett flerfamiljshus är ju inte svårillgänglig, men en brand där har ändå mycket gemensamt med konstruktionsbränder. Sådana vindar kan till exempel innefatta stora mängder brännbart material, inklusive såväl konstruktionen som det som förvaras i förråden, samtidigt som dom är stora och har en komplex utformning.

Figur 101. Byggnader innehåller normalt en mängd olika hålrum





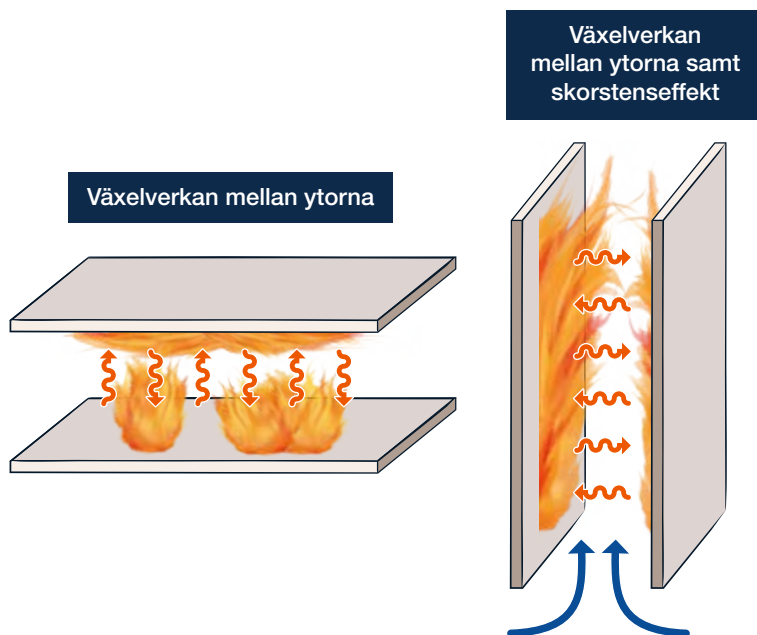
Vissa typer av byggnader och deras konstruktionssätt kan öka problemet med konstruktionsbränder. Foto: Stefan Svensson.

Brandförlopp vid konstruktionsbränder

De mekanismer som styr och påverkar bränder och deras spridning vid konstruktionsbränder är givetvis desamma som vid andra bränder i byggnader. Det gäller till exempel hur olika typer av material påverkar och påverkas. Skillnaderna jämfört med vanliga rum är dels storlek och geometrisk utformning, dels hur brännbara material är exponerade. Utmärkande för konstruktionsbränder är framför allt att det är just byggnadens konstruktionsdelar som är bränslet. Det sistnämnda innebär bland annat också att ju större andel brännbara material en byggnad är uppförd i, desto större blir risken för att brand sprider sig. Och om byggnadens konstruktion blir involverad i branden, ökar risken för ras eftersom bärförmågan kan minska.

De geometriska skillnaderna kan bland annat vara ett kort avstånd mellan motstående ytor, små volymer, höga eller breda volymer, komplexa former med mera. Och inte minst är konstruktionsbränder ofta svåra att upptäcka och komma åt för släckning. Problemet är komplext, och det är flera olika mekanismer som spelar in och påverkar samtidigt.

Figur 102. Brandförlopp vid konstruktionsbränder



Brandförlopp vid konstruktionsbränder påverkas bland annat av geometriska skillnader i förhållande till vanliga rum. Om avståndet mellan ytor är litet kommer ytorna att påverka varandra så att brandspridningen sker hastigt.

Ju mindre avståndet mellan motstående ytor är, desto större kan växelverkan mellan ytorna bli. Om vi antar att brandgaser har spridit sig till ett utrymme med litet avstånd mellan väggytorna, så kommer ytorna att värmas upp genom konvektion. Efterhand som väggytorna värms upp, kommer värmestrålningen mellan ytorna att öka. Och ju mindre avståndet är mellan de motstående väggytorna, desto fortare kommer uppvärmningen att ske på grund av strålningen mellan de motstående väggytorna. Efterhand som temperaturen ökar i utrymmet, kommer de varma brandgaserna att stiga allt snabbare. Gashastigheten i utrymmet blir högre, konvektionen ökar, ytorna blir varmare, värmestrålningen mellan ytorna ökar, pyrolysen ökar, hastigheten hos gaserna (och så småningom flammorna) ökar ännu mer och så vidare. Följaktligen kan brand i ett utrymme med litet avstånd mellan motstående ytor sprida

sig ytterst fort. Detta i kombination med att branden är dold, det vill säga sker inne i en konstruktion bakom väggskivor eller liknande, gör att branden blir mycket svår för räddningstjänsten att hantera. Observera dock att ju mindre avståndet är mellan två motstående ytor, desto större blir strömningsförlusterna, vilket saktar ner förloppet. Även värmeförlusterna ökar ju närmre två ytor är varandra. Det krävs ett visst minimiavstånd för att en flamma ska kunna passera, så kallad "quenching distance". Detta avstånd varierar beroende på egenskaperna hos bränslet och de omgivande ytorna.

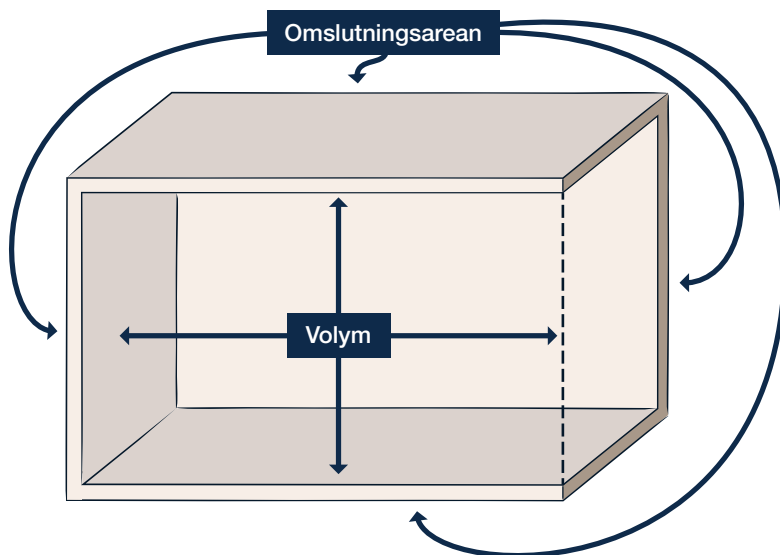
Figur 103. Avståndet mellan ytor påverkar brandens spridning



Ju mindre avståndet mellan motstående ytor är desto större blir växelverkan – värmeutbytet – mellan ytorna.

Ju mindre volymen är i ett utrymme, desto större blir omslutningsarean i förhållande till volymen. Det blir då förhållandevis mer ytor som värms upp. Om konstruktionen består av brännbart material, till exempel trä, kommer mer bränsle att exponeras för brand eller brandgaser, relativt sett. Och ju mindre volymen är, desto fortare kan branden bli ventilationskontrollerad.

Figur 104. Utrymmets volym påverkar brandens spridning



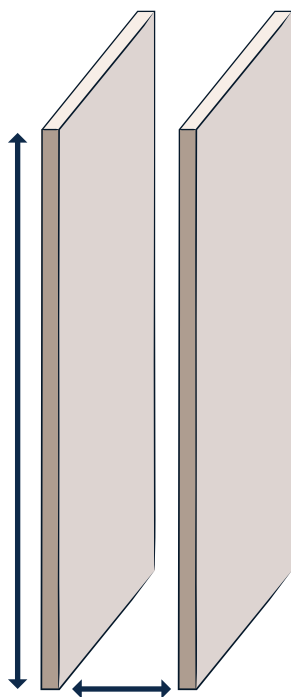
Ju mindre volymen på utrymme är, desto större blir omslutningsarean i förhållande till volymen.

En brand eller brandgaser som sprider sig in i höga smala utrymmen (ungefär som en skorsten), kommer att ge en större temperaturskillnad mellan utrymmets nedre och övre del ju högre utrymmet är. De varma brandgaserna från branden har lägre densitet och stiger uppåt i schakt. Om det finns öppningar såväl upptill som nedtill i utrymmet kommer brandgaser att strömma ut upptill och luft strömma in nedtill, som en direkt följd av principen för massans bevarande. Om utrymmet, till exempel en luftspalt i en fasad, är högt kan detta medföra att även flödet i luftspalten blir stort. Om då arean på luftspalten är liten kan hastigheten på de strömmande brandgaserna bli hög, med hastig brandspridning som följd. Vi kallar detta för skorstenseffekt, men det hänger även samman med det korta avståndet mellan motstående ytor.

Skorstenseffekten blir påtaglig eftersom luft inte kan blandas in från sidan i brandplymen, till skillnad från när det brinner i det fria. Plymen kyls inte ner utan den behåller sin temperatur och sin stigkraft.

Hastigheten på de uppåtströmmande brandgaserna kan bli hög. Det medför en högre konvektiv värmeöverföring till schaktets väggar. Och efterhand som schaktets väggar värms upp, kan väggarnas värme bidra till att hastigheten på gasströmmen i schaktet ökar ytterligare. Eftersom luft kan strömma in nedtill, ökar brandens effektutveckling snabbare än vad den annars hade gjort. Temperaturen, och följaktligen även densitetskillnaden, kan då bli mycket hög. Och ökar effektutvecklingen, ökar produktionen av brandgaser ytterligare, den konvektiva värmeöverföringen ökar ytterligare och så vidare.

Figur 105. Utrymmets höjd påverkar brandens spridning



Ju högre och långsmalare ett utrymme är, till en viss gräns, desto större kan gasernas hastighet uppåt i utrymmet bli. Avståndet mellan utrymmets sidor har stor betydelse för hastigheten.

Produktionen av brandgaser och spridningen av brand i byggnader beror i stor utsträckning på om en brand är bränslekontrollerad eller ventilationskontrollerad. Detta gäller även vid konstruktionsbränder, trots att volymer eller ytor där har annan form än ”normala” rum. Sammantaget får brandgaserna och därmed även branden helt andra förutsättningar för spridning om branden är ventilationskontrollerad. Om utrymmet där det brinner har liten volym kan branden bli ventilationskontrollerad mycket fortare än i ett normalt rum, i synnerhet om utrymmet har stora mängder brännbart material (konstruktionsmaterial eller installationer).

Konstruktionsbränder kan också vara svåra att hitta och identifiera för räddningstjänstens personal. Även om man har tillgång till värmekamera så tar det en viss tid för värmen att spridas genom konstruktionen. Hur snabbt värmen leds genom konstruktionen beror bland annat på hur den är utformad och vilka material som ingår. Detta innebär att det som syns i värmekameran på utsidan av till exempel en väggkonstruktion, redan är ”historia”. Branden kan ha hunnit sprida sig långt från den plats där värmekameran indikerar värme på utsidan av konstruktionen. Notera att värmekameran inte är en röntgenkamera: den visar bara hur mycket värmestrålning som skickas ut från ytan av det man tittar på, inte hur det ser ut bakom.

Det som syns i värmekameran kan också vara spår efter gaser som strömmat genom konstruktionen, antingen kall luft som strömmat in eller varma brandgaser som strömmat ut. Dessa gasströmmar kan ge ledtrådar till var brandens till- och frånluftsöppningar finns, men pekar inte nödvändigtvis ut var själva brandhärden finns.

När räddningstjänsten öppnar upp en konstruktion för att komma åt branden, finns risken att man tillför luft till en kraftigt ventilationskontrollerad brand. Detta kan göra att spridningshastigheten ökar och att branden sprider sig okontrollerat.



Värmekameran är ett värdefullt verktyg för att hitta dolda konstruktionsbränder, men den kan ge felaktig information på grund av att värmeledningen genom till exempel en vägg tar viss tid. Bilden visar ett modulbyggt flerfamiljshus med brandspridning mellan modulerna. Foto: Christer Björkman.

Olika typer av konstruktionsbränder

För att kunna hantera konstruktionsbränder effektivt, är det viktigt att förstå mekanismerna bakom. Det går även att urskilja ett antal typiska exempel på konstruktionsbränder, där mekanismerna påverkar på olika sätt. Några sådana exempel är

- fasadbrand
- brand i bjälklag, väggar och kryptrymmen
- vindsbrand
- brand i modulhus.

Fasadbrand

Fasader har visat sig innebära särskilda problem, eftersom det i fasader ofta finns luftspalter för att skydda mot fukt. Även om mängden brännbart material i sådana luftspalter kan vara minimalt, kan det vara tillräckligt för att få en snabb spridning av brand inuti en fasad. Kombinationen av de mekanismer som beskrevs ovan, gör att brand och brandgaser kan sprida sig särskilt fort i fasader. Det sker särskilt i höga byggnader, även om det i vissa fall ska finnas byggnadstekniska brandskyddsanordningar som ska minska risken för att brand sprider sig i fasader.



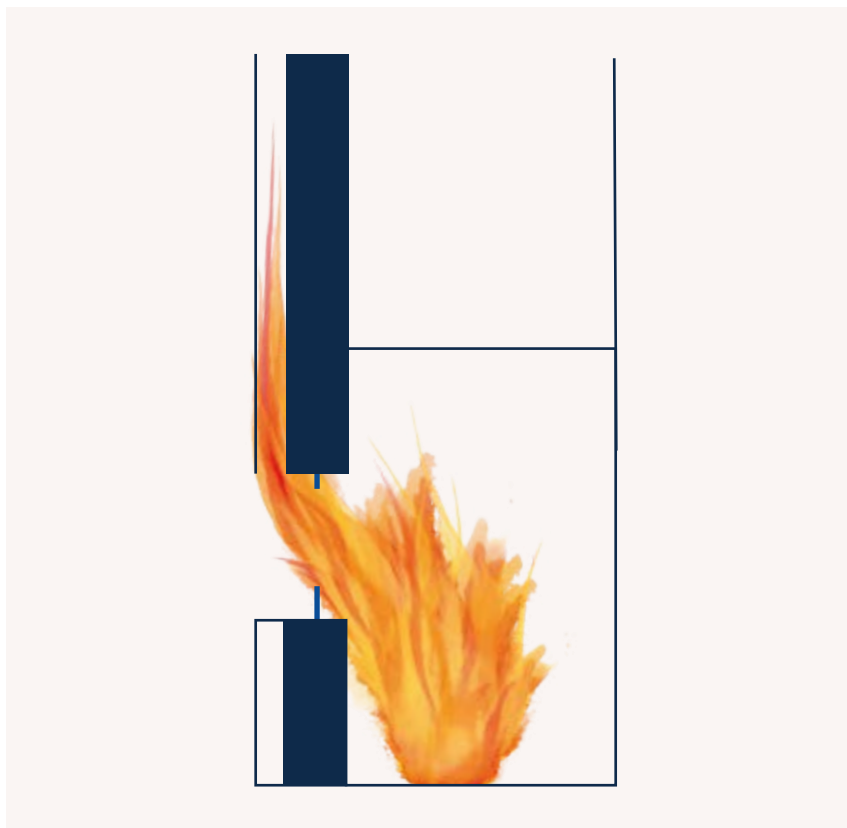
Fasadbränder kan innebära stora problem, på grund av snabb brandspridning.
Foto: Johnér Bildbyrå.

En fasadbrand är en typ av konstruktionsbrand som inte nödvändigtvis uppfyller definitionen i avsnittets inledning, men problematiken är likartad. En fasadbrand kan beskrivas som en brand i ett utrymme eller snarare på ytor med begränsad tillgänglighet, ofta med exponerade brännbara ytor såsom byggnadsmaterial och installationer. En fasad kan också innehålla dolda utrymmen, till exempel i form av luftspalter, men inte nödvändigtvis. Hålrum kan även bildas när det brinner, till exempel cellplast som krymper ihop när det utsätts för värme. Om brand

uppstår inne i eller utanpå en fasad, kan spridningen uppåt ske mycket snabbt. Om spridningen sker inuti hålrum i fasaden, kan spridningen ske snabbare än om spridningen endast sker på utsidan av fasaden. Detta på grund av den så kallade skorstenseffekten, som har stor inverkan på brandens spridningshastighet uppåt. Branden kan även sprida sig in i byggnaden från utsidan eller från hålrum i fasaden, eventuellt till flera våningsplan samtidigt.

Fasadbränder sprider sig snabbt uppåt. I vissa fall till och med mycket snabbt, så snabbt att fasaden till en byggnad med många våningar kan vara involverade i branden innan räddningstjänsten ens larmas till händelsen. Om konstruktionen innehåller till exempel cellplast kan brinnande droppar av smält plast dessutom rinna nedåt. Brandspridningen blir då snabb även nedåt, om inte brandavskiljande delar i konstruktionen hejdar förloppet.

Figur 106. Fasader innehåller ofta luftspalter där brand kan spridas



Utöver problematiken med de mekanismer som styr spridningen av konstruktionsbränder, blir tillgängligheten för räddningstjänsten ytterligare en försvårande aspekt. Fasadbränder kan till exempel vara svåra att nå på grund av fasadens höjd. Fasader kan också vara långa/breda, vilket också begränsar tillgängligheten. Något förenklat kan man säga att räddningstjänsten vid den här typen av bränder inte kan nå branden med släckmedel, även om branden inte är dold. Brandsläckning av bränder i höga fasader måste ske på andra sätt än från marken eller från höjdfordon. Såväl strålning från fasadbränder som nedfallande byggnadsdelar kan också begränsa tillgängligheten för räddningstjänstens personal.

Motsvarande problematik gäller även utvändiga takytor, takfotens utsida och liknande. Branden är inte nödvändigtvis dold, men kan vara svår att komma åt. Och risken för fortsatt och hastig brandspridning är stor.

Brand i bjälklag, väggar och kryputrymmen

Inuti bjälklag, väggar och kryputrymmen kan avståndet mellan motstående ytor vara mycket litet. Det kan till exempel gälla avståndet mellan "golvet" och "taket" inne i hålrum i ett bjälklag eller avståndet mellan de inre sidorna av en vägg. Detta medför dels att det kan uppstå skorstens-effekter inne i väggar, på motsvarande sätt som för fasadbränder. Om två motstående och uppvärmda ytor är nära varandra, kommer även strålningen mellan ytorna att bidra till ytterligare och snabbare uppvärmning. Inne i bjälklag och väggar kan dessutom de omgivande ytorna vara stora i förhållande till volymen. Ju mindre volymen är i ett utrymme desto större blir ju den omslutande arean, relativt sett. Det blir då mer yta som värms upp, i förhållande till utrymmets volym. Utrymmen med begränsad tillgänglighet kan även samla en hel del damm, stoft och andra partiklar, vilket kan bidra till såväl brandgasproduktion som brandspridning. Finfördelat bränsle är mer lättantändligt än massivt bränsle. Dessutom förekommer det brännbar isolering, vilket ytterligare ökar risken för brands uppkomst och spridning inne i bjälklag och väggar.



Bränder inne i väggar och bjälklag kan ibland synas genom att flammor eller brandgaser tränger ut med stor hastighet. Foto: Stefan Svensson.

Förutom luftspalter i väggar kan det finnas hålrum i en oisolerad innervägg eller i ett bjälklag. Hålrum kan även finnas om en sådan vägg eller bjälklag är isolerad. Det kan i vissa fall räcka med att hålrum har en area om bara några enstaka kvadratcentimeter, eller ännu mindre, för att det ska skapa problem i händelse av brand.



Brand i bjälklag. Foto: Christer Björkman.

Det förekommer även hålrum av installationstekniska skäl. Exempel på sådana installationer är kabeldragningar och rördragning för vatten, avlopp och ventilation. Sådana installationer ska vara brandtekniskt isolerade eller på andra sätt skyddade mot brandspridning genom en rad byggnadstekniska åtgärder. Trots det skapar dessa kabeldragningar och rördragningar i sig själva hålrum. Om installationerna är av plast finns risken att dom smälter. Det gör genomföringarna större, samtidigt som smält och brinnande plast kan sprida branden genom att rinna iväg långa sträckor. Sprider sig branden till sådana installationstekniska hålrum, som till exempel schakt, kan branden hastigt spridas långa vägar.

Hålrum kan dessutom bero på slarv vid uppförandet eller vid ombyggnation. Framför allt i äldre byggnader kan det även finnas gångar skapade av sorkar och möss. Dessa kan, i kombination med brännbar isolering i sådana äldre hus, göra att branden sprider sig mycket fort.

Installationstekniska hålrum kan vara vertikala eller horisontella. Om dom är vertikala, kan den termiska stigkraften orsaka skorstenseffekter, vilket då kan sprida brand och brandgaser snabbt och långt. Om de mindre hålrummen är horisontella sker spridningen troligtvis långsammare, men eftersom hålrummen är dolda kan spridning ske till oväntade platser. Om lufttillgången i sådana hålrum är dålig, kan spridningen ske i form av glödbränder. Dessa är ännu svårare att hitta med till exempel värmekamera, eftersom temperaturen är relativt låg. Sker håltagning i samband med släckning så tillförs luft, och glödbanden kan då övergå till flammande brand. I kombination med till exempel skorstenseffekter ökar detta spridningshastigheten. Konsekvensen av håltagning kan bli att brand sprider sig till hela byggnaden, med en totalskada som följd.

Konsekvenserna av konstruktionsbränder kan bli att brandgasproduktionen och brandspridningen accelererar mycket fortare än vid bränder i utrymmen av mer normala mått, det vill säga vanliga rum. Om utrymmets volym då också är förhållandevis liten, kan det ansamlas mycket brandgaser i förhållande till tillgängligt bränsle, vilket ökar värmeöverföringen ytterligare till bränsle som ännu inte har antänts.



Bränder inne i konstruktioner kan sprida sig långa sträckor och orsaka stora skador.
Foto: Stefan Svensson.

Utgångspunkten bör vara att en brand i hålrum inne i bjälklag och väggar är ventilationskontrollerad. En sådan brand kan medföra stora problem om håltagning sker utan att andra åtgärder vidtas samtidigt. När håltagning sker tillförs luft, vilket kan bidra till brandens spridning. Problemet med mindre hålrum är att dom kan vara svåra att identifiera, och det kan vara svårt avgöra hur långt sådana hålrum sträcker sig. Vi vet helt enkelt inte vart dom tar vägen.

Eftersom produktionen av brandgaser kan bli stor i förhållande till utrymmets storlek eller form, begränsas syrgaskoncentrationen fortare. Det gör att branden fortare kan bli ventilationskontrollerad. Och som tidigare beskrivits, är det i synnerhet vid kraftig ventilationskontroll som det kan uppstå en mängd problem när man tar hål i syfte att ventilerar ut brandgaserna eller komma åt att släcka branden. Är då utrymmet högt och smalt, kan ventilationsåtgärder i form av håltagning medföra att man får en skorstenseffekt, vilket snabbt kan sprida såväl brand som brandgaser långa vägar.

I schakt består problematiken främst i att det vid håltagning eller genombränning tidigt uppstår så kallade skorstenseffekter. Om detta sker inne i ett schakt (eller i en skorsten, därav namnet) med en tvärsnittsarea som är liten i förhållande till schaktets höjd, kan det bli höga hastigheter på den varma luften som strömmar uppåt. Följden blir att brandgaserna strömmar uppåt med hög hastighet, och att konvektionen blir större, det vill säga värmeflödet från den varma gasen och in i schaktets väggar. Detta får i sin tur konsekvensen att branden kan sprida sig snabbare uppåt i schaktet, eftersom ytorna värms upp fortare av de uppåtströmmande varma brandgaserna.

I schakt kan dessutom glödande material trilla ner och sprida branden till underliggande våningsplan. Ett okänt schakt kan därmed ge samtidig brandspridning till både källare och vind, vilket kan ge räddningstjänsten en obehaglig överraskning. Plast, till exempel i form av cellplastisolering, kan smälta, brinna och på så sätt sprida branden långa vägar inne i konstruktioner.

Vindsbrand

En vind kan många gånger liknas vid ett bostadsrum, men det finns vissa väsentliga skillnader. Skillnaderna ligger framför allt i att det är utrymmen där man normalt inte vistas och att utformningen är annorlunda i jämförelse med till exempel ett bostadsrum. Oisolerade vindar som används som förråd har ofta exponerade träytor, på insidan av taket. Vindsutrymmen kan dessutom innehålla stora mängder brännbart material som boende i fastigheten förvarar. Brandbelastningen är ofta hög och utrymmet kan vara mycket torrt.

Vindsbränder kan fort bli ventilationskontrollerade på grund av mängden exponerat brännbart material på vindar i förhållande till utrymmets volym. En ventilationskontrollerad brand saknar ju luft, så alla försök att öppna upp utrymmet kommer att tillföra luft till branden. Detta kan i sin tur medföra att branden sprider sig snabbt och okontrollerat, om inga andra åtgärder vidtas.

Vindar som inte används som förråd kan vara svårtillgängliga, och ofta är takhöjden låg. Vindar används ofta också för byggnadens komfortventilation, och förutom ventilationssystem kan det även finnas en mängd andra installationer. Genom byggnadens ventilationssystem är

utrymmet då också sammanbundet med byggnaden i övrigt, vilket ger en risk för spridning av brand och brandgaser från vinden till byggnadens övriga utrymmen. Det finns dock krav på att ventilationssystem generellt ska skydda mot spridning av brand och brandgaser, motsvarande de krav på avskiljande förmåga som gäller för till exempel en brandcellsgräns. Detaljer i dessa krav varierar dock, bland annat mellan olika typer av byggnader.



Vindsbränder kan ofta medföra stora problem att hantera. Foto: Stefan Svensson.

I detta sammanhang kan också takbrand nämnas. Många takkonstruktioner i större byggnader, som lager och industrier, innehåller ofta brännbar cellplastisolering och brännbart taktäckningsmaterial. Taken kan vara omlagda, vilket innebär att dom kan innehålla stora mängder brännbart material. Takyterna är många gånger såväl stora som svåråtkomliga från marken. Till detta kommer att både plasten i isoleringsmaterialet och bindemedlet bitumen från takpapp smälter vid låga temperaturer. Vid takbränder kan brinnande plast och bitumen droppa och rinna nedåt i byggnaden. Är taket konstruerat av så kallade trapetsplåt, kan det finnas en mängd hålrum där brinnande eller flytande bitumen eller isoleringsmaterial snabbt kan sprida branden över långa sträckor eller stora ytor.

Brand i modulhus

Under senare år har det kommit att bli allt vanligare med så kallade modulhus i flera plan. För småhus och enfamiljshus har dock modulhus förekommit under lång tid. Ett modulhus är helt enkelt en byggnad som uppförs med förtillverkade moduler som lyfts på plats, ungefär som byggklossar, på en i förväg gjord grundläggning. Eftersom ett enfamiljshus normalt är en egen brandcell, så innebär byggsättet inget stort spridningsmässigt problem i händelse av brand. Men om modulerna byggs samman, i synnerhet på höjden, i syfte att skapa till exempel flerfamiljshus, så ska varje lägenhet vara en egen brandcell. På grund av modulernas utformning kan det uppstå en rad problem relaterat till konstruktionsbrand som medför att brandcellernas skydd inte upprätthålls på det sätt som är tänkt.

När modulerna sätts samman och staplas på varandra uppstår på grund av konstruktionen naturliga hålrum, och ofta finns här exponerat brännbart material. Och om modulerna sätts samman i flera våningsplan, kan sådana hålrum sträcka sig i hela byggnadens höjd. Dessa hålrum ska tätas i skarvarna, både i höjdlid och i sidled. Men det finns exempel där tätningarna inte konstruerats eller gjorts på ett bra sätt vid uppförandet. Ju fler moduler som byggs samman, desto fler hålrum kan uppstå och desto fler möjligheter kan det då finnas för branden att sprida sig. Extra känsligt blir det om elinstallationer monteras i dessa utrymmen. Det beror dels på risken att brand kan starta i installationen, dels på att sådana installationer kräver genomföringar och ökar mängden brännbart material.

Spridning av brand och brandgaser i sådana hålrum påverkas av samtliga de mekanismer som beskrivits tidigare.



Modulhus kan medföra stora risker för konstruktionsbrand och spridning till stora delar av byggnaden. Foto: Sofie Bergström.

Exempel

Sent på julaftonseftermiddagen 2008 fick räddningstjänsten i Umeå larm om brand i ett flerbostadshus. En kastrull med olja hade fattat eld i köket i en lägenhet på översta våningen. Räddningstjänsten var snabbt på plats och släckte branden. Efter detta gjordes en omfattande kontroll av väggar och bjälklag, och köksskåpen monterades ner för ytterligare kontroller med hjälp av en värmekamera. Man undersökte även imkanalen och det fanns inget som tydde på att det fortfarande brann eller att det skulle finnas någon glöd kvar. En och en halv timme senare avslutades räddningsinsatsen och räddningstjänsten återvände till stationen.

Cirka åtta timmar senare fick räddningstjänsten ett nytt larm till samma adress. I efterhand visade det sig att det börjat glöda i vindsvåningens isolering, som bestod av träspån, på grund av värmeledning från imkanalen i kombination med brister i isoleringen av imkanalen. Glödbanden pågick under många timmar och hade till sist växt sig så pass stor och utvecklat tillräckligt med värme och förbränningsprodukter för att en brand skulle uppstå på vinden.

Trots en väl genomförd räddningsinsats och ett gediget undersökningsarbete från räddningstjänstens sida efter det första larmet kunde en glödband uppstå på vinden. Notera särskilt den mycket långa tid som gått från köksbranden till dess att vindsbranden uppstod, vilket tyder på att det inledningsvis endast var en mycket liten mängd träspån inblandat. Troligtvis så lite att det hade varit mycket svårt att upptäcka oavsett undersökningsmetod.

Brandspridning inne i konstruktioner och dolda utrymmen är ofta mycket svåra att upptäcka, inte minst eftersom förloppet kan vara mycket långsamt och inledningsvis ytterst begränsat.

(Lundqvist, M. Fördjupad olycksundersökning: Brand i byggnad Geografigränd 2 A-J i Umeå 2008-12-24 Brandförsvarets insatsrapport 2008/888-889.)

Kapitel 9

Modeller och utbildningsanordningar för brand

För att kunna hantera bränder i byggnader på ett säkert och effektivt sätt, är det viktigt med utbildning och övning. Även om bränder i byggnader endast är cirka 10 procent av de händelser eller uppdrag som räddningstjänsten hanterar, finns det en stor förväntan att sådana händelser ska kunna hanteras professionellt och med god precision. För att kunna göra det behöver vi skapa olika typer av modeller och utbildningsanordningar, så att vi får en högre förståelse för hur brand utvecklas och sprider sig i byggnader. Sådana modeller och utbildningsanordningar måste kunna återspegla verkliga förhållanden vid bränder i byggnader. Det gäller såväl enkla modeller för att demonstrera hur olika typer av material reagerar när dom utsätts för värme som mer komplexa utbildningsanordningar där övning av brandsläckning sker.



Modeller är förenklingar av verkligheten, där mycket av realismen går förlorat.
Foto: Åsa Brorsson.

Det är svårt att hantera verkligheten i all dess komplexitet. Istället behöver vi ofta skapa modeller av verkligheten. Syftet med dessa modeller är bland annat att minska denna komplexitet för att öka möjligheterna till förståelse. Modellerna är således förenklingar av verkligheten. I denna förenklingsprocess går något förlorat. Oavsett hur vi konstruerar dessa modeller kommer de att vara felaktiga. Men vi vet inte alltid på vilket sätt de är felaktiga.

Våra utbildningsanordningar är modeller, det vill säga förenklingar av verkligheten. När sådana utbildningsanordningar ska skapas finns en rad utmaningar. Dels måste säkerheten vara hög, så att inte onödiga skador uppstår varken på människor, egendom eller miljö. Dels måste dom ge en så realistisk bild som möjligt av hur brand utvecklas och sprids.

Oavsett vilka material man använder i sådana utbildningsanordningar så kommer dessa att påverkas av den energi som brand ger upphov till. Även material som är obrännbara kommer att påverkas av denna energi. Exempel på material som vi använder för olika typer av modeller och utbildningsanordningar är tegel, betong, stål, trä eller plast. När energi tillförs dessa material ökar molekyrlörelsen i materialen, bärformågan förändras, och materialen kan även deformeras.

Olika material har olika egenskaper som påverkar hur en brand utvecklas och sprider sig i en byggnad, inklusive utbildningsanordningar. Som beskrivits tidigare är ett materials värmeupptagningsförmåga en viktig egenskap i händelse av brand. Värmeupptagningsförmågan är produkten av ett materials

- värmeledningsförmåga – k eller λ (lambda)
- densitet – ρ (rå)
- specifik värmekapacitet – c .

Beteckningen för värmeupptagningsförmåga är $k\rho c$ (vilket utläses kå-rå-ce). Beroende på olika materials värmeupptagningsförmåga värms dom upp olika snabbt, vilket påverkar brandspridningen i ett föremål, i ett rum och i en byggnad. Detta kan ha stor betydelse för hur vi genomför utbildning och övningar i olika typer av övningsanordningar eller modeller.

Vi kan till exempel jämföra egenskaperna hos en utbildningsanordning uppförd i stål, som en stålcontainer, med egenskaperna hos en gipsskiva, som är ett vanligt väggbeklädnadsmaterial i våra bostäder och på våra arbetsplatser. Stålet har högre densitet, högre värmeledningsförmåga, lägre värmekapacitet och högre värmeupptagningsförmåga än gipsskivan.

En brand i en stålcontainer kommer således att påverkas av sin omgivning, stålet i väggarna, på ett annat sätt än en brand i ett vanligt bostadsrum med gipsskivor på väggarna. Till exempel så kommer en stålvägg att leda bort värmen effektivare än en gipsskiva. Även väggens tjocklek påverkar. Ett tunnare material värms upp fortare än ett tjockt, eftersom det är en mindre mängd massa som ska värmas upp. Väggarna i en stålcontainer är normalt ganska tunna, jämfört med en gipsskiva eller en vägg i ett bostadshus. Väggar i riktiga hus är dessutom normalt sammansatta av flera olika material och kan vara mycket tjocka. Detta medför att utbildning och övning i stålcontainer kan ge en felaktig bild av hur en brand utvecklas och sprids i byggnader.

Det ställs även krav på såväl arbetsmiljön som på miljön utanför utbildningsanordningen. Arbetsmiljön måste vara säker för såväl instruktörer som elever. Det innebär att det normalt inte går att välja bränslen som motsvarar de material vi har i våra bostäder eller på våra arbetsplatser. Av miljöskäl kan vi inte heller välja vilka bränslen som helst, eftersom vi behöver minimera miljöpåverkan från brandövningar. Egenskaperna hos de bränslen som används i utbildningsanordningar skiljer sig på så vis från de material som vi normalt har i våra bostäder.

I en normal bostad finns det en hel del plastmaterial i våra inredningsmaterial och i alla de saker vi omger oss med. Men i utbildningsanordningar använder vi många gånger träbaserade material, inte minst av miljöskäl. Skillnaderna mellan plastmaterial och trämaterial är stora. Till exempel så är förbränningsvärmets för plast (cirka 43 MJ/kg för polypropylen) mer än dubbelt så mycket som för trä (cirka 18 MJ/kg). Det innebär att det i en bostad kan utvecklas mer än dubbelt så mycket energi som i en utbildningsanordning, även om bränslets vikt är den samma.

Brandgaser består ofta i stor utsträckning av sot. Detta sot kommer förutom genomsiktligheten även att påverka återstrålningen mot ytor och föremål i ett rum, vilket i sin tur påverkar brandspridningen. Mängden och egenskaperna hos sot som bildas vid förbränning varierar mellan olika typer av bränslen. Till exempel så utvecklar förbränningen av polyuretan mer än tio gånger mer sot än trä. Mängden sot som bildas beror även på temperaturen och således även på öppningsfaktorn vid en fullt utvecklad rumsbrand. En mindre öppningsfaktor och därmed lägre temperatur ger generellt upphov till mer sot. Även andra komponenter i brandgaser varierar stort mellan olika bränslen och olika temperaturer. Vid utbildning och övning kommer samtliga dessa komponenter, med varierande egenskaper och mängd, att påverka såväl arbetsmiljön som den omgivande miljön och inte minst hur brand utvecklas och sprids i övningsanordningar.

Att i utbildningssyfte skapa komplexa miljöer för utbildning och övning är oerhört svårt. Några exempel på sådana miljöer är

- höga trapphus
 - trapphus fyllda med brandgaser
 - spridning av brandgaser till flera lägenheter anslutna till trapphuset
 - brandspridning i trapphus
- köpcentrum
 - långa inträngningsvägar fyllda med brännbara brandgaser
 - stora mängder bränsle och egenskaperna hos dessa bränslen
 - flera våningsplan
- undermarksanläggningar
 - parkeringsgarage i flera våningsplan under mark
 - fordonsbränder, såväl fossildrivna som eldrivna fordon

- industrier och lager
 - långa inträngningsvägar fyllda med brännbara brandgaser
 - högt i tak
 - lagring i höga pallställage
- äldre byggnader
 - brännbara konstruktioner
 - bristande byggnadstekniskt brandskydd
 - om- och tillbyggnader som skapat hålrum.

Samtliga sådana miljöer, och fler därtill, är av flera skäl svåra att återskapa. Men det är den här typen av miljöer räddningstjänstens personal möter i samband med räddningsinsatser. Samtidigt är kunskap om och förståelse för de mekanismer och fenomen som beskrivs i den här boken viktigt för att kunna hantera bränder i den här typen av miljöer.

Vi använder ofta olika typer av modeller för att demonstrera och visa olika fenomen eller förlopp relaterade till brand. Dessa modeller kan vara nerskalade versioner av en verklighet, det vill säga mindre i storlek. Observera att även utbildningsanordningar är en sorts modeller av verkligheten. Men de fenomen som vi försöker visa kan egentligen inte skalas ner geometriskt. Beroende på vilket eller vilka fenomen eller förlopp som man vill demonstrera och visa, måste man ta hänsyn till hur skalning kan ske.

Figur 107. Exempel på hur olika brandrelaterade fenomen kan skalas ned

Effektutveckling [kW]	$\dot{Q}_F = \dot{Q}_M \times \left(\frac{L_F}{L_M} \right)^{5/2}$
Hastighet [m/s]	$u_F = u_M \times \left(\frac{L_F}{L_M} \right)^{1/2}$
Tid [s]	$t_F = t_M \times \left(\frac{L_F}{L_M} \right)^{1/2}$
Energi [kJ]	$E_F = E_M \times \left(\frac{L_F}{L_M} \right)^3 \times \frac{\Delta H_{c,M}}{\Delta H_{c,F}}$
Massa [kg]	$m_F = m_M \times \left(\frac{L_F}{L_M} \right)^3$
Temperatur [K]	$T_F = T_M$

Index F = fullskala Index M = modellskala

Som exempel, om en modell av en byggnad har skalan 1:10, så innebär det att

- effektutvecklingen skalas ner med en faktor 316
- hastigheten på gaserna skalas ner med en faktor 3,16
- tiden skalas ner med en faktor 3,16
- energin skalas ner med en faktor 1 000 (under förutsättning att motsvarande typ av bränsle används)
- massan skalas ner med en faktor 1 000
- samtidigt som temperaturen inte skalas ner alls.

Detta innebär att det sällan går att skapa en modell som kan användas till flera olika typer av demonstrationer.

Det är helt enkelt svårt att utforma en modell eller en utbildningsanordning så att den på ett realistiskt sätt beter sig som en riktig byggnad. Det går till exempel normalt inte att uppföra en modell eller en utbildningsanordning som uppvisar samtliga de egenskaper som en riktig byggnad har. Det kan därför krävas olika utbildningsanordningar för att påvisa de olika fenomen och egenskaper som en verklig brand kan uppvisa. Det är även nödvändigt att välja bränsle med omsorg.

Det finns en rad pedagogiska utmaningar för att dom som utbildas inte ska få en felaktig bild av hur bränder utvecklas och sprids i byggnader. Dessutom kan människor och tekniska system som finns i byggnaden interagera med branden och skapa ytterligare dynamik. Detta ställer höga krav på instruktörer och lärare, såväl i sakfrågan som pedagogiskt.

Slutord

Slutord

Brand och i synnerhet bränder i byggnader är mer komplext än vad de flesta uppfattar eller förstår. Brandens utveckling och spridning beror på de föremål som brinner, vilket material föremålen består av, hur dom är utformade med mera. Men det är inte bara bränslet, det vill säga det föremål eller material som brinner, som påverkar hur en brand utvecklar sig. Branden påverkas även av det sammanhang som den befinner sig i, i det här fallet byggnaden inklusive de föremål och material som finns i byggnaden, vilka kan vara såväl brännbara som obrännbara. Och inte nog med det. Även omgivande förhållanden påverkar branden, det vill säga sådant som finns utanför byggnaden, inklusive väder och vind. Och om det finns andra föremål eller byggnader i närheten av den byggnad där branden startar, kan branden dessutom sprida sig dit.

Men oavsett om det är ett enstaka föremål som brinner eller om hela byggnaden är involverad i branden, så är det fortfarande grundläggande fysik och kemi som styr och påverkar hur branden kommer att spridas och utvecklas.

Räddningstjänstens personal måste på ett säkert sätt kunna hantera bränder i byggnader, oavsett vilken roll, funktion eller uppgift man har. Och då är det av avgörande betydelse att man har goda kunskaper och god förståelse för de faktorer som styr och påverkar utvecklingen och spridningen av brand.

Förhoppningen är att den här boken beskriver och förklarar den grundläggande kunskap som krävs. Det finns givetvis ännu mer att gräva i, och litteraturlistan sist i boken kan vara en bra grund för fortsatt kunskapande.

Kunskapsutvecklingen står inte heller stilla utan vi lär oss ständigt mer om brand och hur bränder i byggnader utvecklas, samt inte minst hur räddningstjänsten på olika sätt kan hantera de bränder som uppstår. Vi måste således ständigt lära oss nytt och ifrågasätta de kunskaper vi redan har. Vi får inte sluta lära oss nya saker.

Litteraturlista

Litteraturlista

I litteraturlistan finns material som används som direkta referenser i boken. Men det finns även material som kan rekommenderas för den som vill fördjupa sig ytterligare inom brandområdet.

Bengtsson, L-G. *Inomhusbrand*. Statens Räddningsverk. 2003.

Drysdale, D. *An introduction to fire dynamics*. Wiley. 1985.

Fleischmann, C., Madrzykowski, D. and Dow, N. Exploring Overpressure Events in Compartment Fires. *Fire Technology*, 60, 1867–1889. <https://doi.org/10.1007/s10694-024-01553-5>. 2024.

Fleischmann, C. Weinschenk, C., Madrzykowski, D. Schraiber, A., Gaudet, B. Quantifying the Fire Hazard from Li-Ion Battery Fires Caused by Thermal Runaway in Escooters. *Fire Technology*. <https://doi.org/10.1007/s10694-025-01707-z>. 2025.

Grimwood, P. *Euro Firefighter 2*. D&M Heritage Press. 2017.

Grimwood, P. *Structural fire engineering: realistic “travelling fires” in large office compartments*. International Fire Professional, August 2018, Issue No 25.

Harmathy, T. Z. A new look at compartment fires, parts I and II. *Fire Technology*, 8, 196–219; 8, 326–351. 1972.

Hertzberg, T., Blomqvist, P., Dalene, M., Skarping, G. *Particles and isocyanates from fires*. SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, SP Rapport 2003:05. 2003.

Hostikka, S. & Janardhan, R. K. *Pressure management in compartment fires*. Aalto University. 2016.

The Irish Health Repository. *Report of the Tribunal of Inquiry on the fire at the Stardust, Artane on the 14th February*. Stationary Office. 1981.

- Karlsson, B. Quintiere, J. *Enclosure fire dynamics*. CRC Press. 1999.
- Kerber, S. Analysis of Changing Residential Fire Dynamics and Its Implications on Firefighter Operational Timeframes. *Fire Technology*. Volume 48, pages 865–891, 2012, <https://doi.org/10.1007/s10694-011-0249-2>.
- Kommittén (Kn 1981:02) för undersökning av allvarliga olyckshändelser. *Brand i bygghuset i Täby den 9 oktober 1986*. Utredningsrapport Nr 3:1987.
- Lambert, K. *Backdraft: fire science and firefighting, a literature review*. www.cfbt-be.com.
- Lindgren, A. *Allmänna Eldsläcknings-reglor – Hjelpreda för Brandkårer, Sprutfabrikanter och Sprutmästare, Kommunal- och Polistjenstemän, Husegare m.fl.* Göteborgs brandkår. 1864.
- Lundqvist, M. *Fördjupad olycksundersökning: Brand i byggnad Geografi-gründ 2 A-J i Umeå 2008-12-24* Brandförsvarets insatsrapport 2008/888-889.
- Madrzykowski, D. & Kerber, S. *Fire Fighting Tactics Under Wind Driven Conditions: Laboratory Experiments*. National Institute of Standards and Technology (NIST), Technical Note 1618. Maryland. 2009.
- Madrzykowski, D. & Weinschenk, C. *Impact of fixed ventilation on fire damage patterns in full-scale structures*. National Criminal Justice Reference Service, 252831. 2019.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. *Räddningsinsats där litiumjonbatterier förekommer*. MSB2371. 2024.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). *Death in the line of duty, Report F99-01*. 1999.
- National Institute of Science and Technology. *Final Report on the Collapse of the World Trade Center Towers*. NIST NCSTAR 1. 2005.
- Norman, J., *Extreme Wind Driven Fireproof Multiple Dwelling Fires*. With New York Firefighters (WNYF), New York, NY, 1st/2007.

Ondrus, J. *Brandteori*. Statens Räddningsverk. 1995.

Pettersson, A-I. & van Hees, P. *Brandkemi*. LTH.

Plan- och bygglag (2010:900)

Rein, G., Abecassis Empis, C. & Carvel, R. (red.). *The Dalmarnock Fire Tests: Experiments and Modelling*. School of Engineering and Electronics, University of Edinburgh. 2007.

SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Springer. 2016.

Shaw, M. *A complete manual of the organization, machinery, discipline and general working of the fire brigade of London*. 1876.

Smolka, J., Kempná, K., Danihelka, P., Asimakopoulou, E., Hozjan, T., Kučera, P. & Grimwood, P. *Wind driven (forced draught) impact on enclosure fires*. Applications of Structural Fire Engineering, 9-11 June 2021, Ljubljana, Slovenia.

Statens haverikommission. *Brand den 30 november 1991 i ABB Relays AB:s lokaler i Västerås, U län*. Rapport O 1991:1.

Statens haverikommission. *Brand på Liseberg Oceana vattenvärld i Göteborg*. SHK 2025:05.

Statens strålskyddsinstitut. *Kärnkraftsolyckan i Tjernobyli, en sammanfattning femton år efter olyckan*. SSI Rapport 2001:07. 2001.

Strandberg, B & Lavén, F. *Bygga hus, illustrerad bygglära*. Studentlitteratur. 2025.

Särdqvist, S. *Initial fires*. Lund University. 1993.

Svensson, S. *Brandgasventilation*. MSB. 2020.

van Treek, L., Roth, N., Seidel, L. & Mauss, F. *Measurements of the laminar burning velocities of rich ethylene/air mixtures*.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117938>

Bilaga 1

Mått, storheter och enheter

För att vi ska kunna jämföra, beskriva och förklara olika egenskaper och fenomen, behöver vi ha ett gemensamt språk för dessa egenskaper eller fenomen.

Den egenskap eller företeelse hos ett föremål som kan mätas eller beräknas kan uttryckas i matematiska termer, det vill säga i siffror, och kallas då för storhet. Bland de grundläggande storheterna hittar vi till exempel längd, massa, tid och temperatur.

När vi mäter dessa egenskaper eller storheter anger vi mätvärdet med hjälp av enheter. Enhet är ett fastställt värde av en storhet. Dessa enheter och storheter har fastställts genom överenskommelser och används av alla länder som godtagit överenskommelserna.

Storheter och enheter har dessutom tilldelats vissa bestämda beteckningar (symboler). Ibland används bokstäver från det grekiska alfabetet, ibland latinska (våra vanliga) bokstäver. Beteckningar för enheter anges som SI-symboler (se tabellen nedan). SI är en förkortning av *Système International d'Unités*, som är det internationella måttenhetssystemet.

De sju grundenheterna i SI-systemet är

- längd – meter (m)
- massa – kilogram (kg)
- tid – sekund (s)
- elektrisk ström – ampere (A)
- temperatur – kelvin (K)
- ljusstyrka – candela (cd)
- substansmängd – mol.

Det är viktigt att ange såväl enheter som storheter med rätt beteckning, i annat fall kan det vålla stor förvirring.

Tabell 17. Storheter, beteckningar och enheter

Storhet	Beteckning	Enhet	Beteckning
Rum och tid			
längd	l	meter	m
tjocklek	Δ	meter	m
diameter	d	meter	m
area	A	kvadratmeter	m^2
volym	V	kubikmeter	m^3
tid	t	sekund	s
hastighet	v	meter per sekund	m/s
acceleration	A	meter per sekundkvadrat	m/s^2
Energi och effekt			
energi	E	joule	J
effekt	P	watt	W
Mekanik			
massa	M	kilogram	kg
densitet	ρ	kilogram per kubikmeter	kg/m^3
volymitet	$v=1/\rho$	kubikmeter per kilogram	m^3/kg
kraft	F	newton	N
arbete	W	joule	J

Storhet	Beteckning	Enhet	Beteckning
massflöde		kilogram per sekund	kg/s
massflöde per ytenhet		kilogram per kvadratmeter och sekund	kg/m ² s
volymflöde		kubikmeter per sekund	m ³ /s
tryck	p	pascal	Pa

Värme

absolut temperatur	T	kelvin	K
celsiustemperatur	θ	grad Celsius	°C
temperaturdifferens	ΔT, Δθ	kelvin	K
längdutvidgningskoefficient	α	per kelvin	K ⁻¹
volymutvidgningskoefficient	γ	per kelvin	K ⁻¹
värmemängd	Q	joule	J
specifik värmemängd	q	joule per kilogram	J/kg
värmeeffekt (effekt)	P	watt	W
värmekonduktivitet	λ	watt per meter kelvin	W/mK
värmeövergångstal	α	watt per kvadratmeter kelvin	W/m ² K
specifik värmekapacitet	c	joule per kilogram kelvin	J/kgK
ångbildningsvärme	l	joule per kilogram	J/kg
smältvärme	l	joule per kilogram	J/kg

Dimensionslösa storheter kallas sådana storheter som kan uttryckas genom endast måtetal (talvärde utan enhet). Dom har enheten 1 (ett). Enheten skrivs vanligen inte ut. Verkningsgrad kan till exempel uttryckas som 0,8, vilket uttrycker kvoten av två effektvärden, eller som 80 procent. Båda uttrycken innebär att utgående effekt är 80 hundra delar av den ingående effekten.

1 procent innebär 1 hundra del och kan skrivas som 0,01 utan enhet.

Man kan bygga upp så kallade härledda enheter genom att kombinera grundenheter och supplementenheter enligt fysikaliska eller geometriska samband mellan storheterna.

Tabell 18. Exempel på härledda enheter

Storhet	Enhet	Beteckning
area	kvadratmeter	m ²
volym	kubikmeter	m ³
densitet	kilogram per kubikmeter	kg/m ³
kraft	newton eller kilogrammeter per sekundkvadrat	N, kgm/s ²
tryck	pascal eller newton per kvadratmeter	Pa, N/m ²
energi	joule eller newtonmeter	J, Nm
hastighet	meter per sekund	m/s
acceleration	meter per sekundkvadrat	m/s ²
effekt	watt eller joule per sekund	W, J/s
Celsiustemperatur	grad Celsius	°C
kelvintemperatur, absolut temperatur	kelvin	K

Multipelenhet är en enhet som bildats genom att en enhet multiplicerats med en viss talfaktor (prefix), normalt en potens av 10 (det vill säga multiplicerat med en faktor 10, 100, 1 000 och så vidare). Prefixet anger att enheten multiplicerats med en viss tiopotens. Om enheten W (watt) multipliceras med tiopotensen 3, som är lika med 1000, får man prefixet k (kilo) och multipelenheten kW (kilowatt), det vill säga 1 000 W.

Man prioriterar prefixen 3, 6, 9 och så vidare, och undviker potenser som 2, 4, 5, 7 och så vidare.

Tabell 19. Exempel på prefix

Prefix	Beteckning	Tiopotens	Betydelse
giga	G	10^9	1 miljard
mega	M	10^6	1 miljon
kilo	k	10^3	1 tusen
milli	m	10^{-3}	1 tusendel
mikro	μ	10^{-6}	1 miljondel

Observera att vissa multipelenheter förkortas med stor bokstav, andra med liten. Dessa får inte förväxlas, eftersom dom är symboler för olika begrepp och betyder helt olika saker. Stort M betyder mega, litet m betyder milli (observera att "m" även kan betyda meter, men är då en enhet för storheten "längd"). Multiplikation av enheterna uttrycks genom att enheterna skrivs ihop, till exempel Nm (newtonmeter). Division av enheterna kan uttryckas som m/s eller ms⁻¹.

Det finns också en mängd äldre enheter som till viss del fortfarande används i andra delar av världen. Bland dessa kan nämnas

- längd: inch, fot, yard, mile
- temperatur: Fahrenheit
- energi: british thermal unit (BTU)
- vikt: pound, ounce.



**Myndigheten
för civilt försvar**