

BRANDTEORI



**RÄDDNINGSG
VERKET**

BRANDTEORI

Boken har utarbetats av Räddningsverket

Manus:

Julia Ondrus, Institutionen för brandteknik, Lunds Tekniska Högskola

Projektledare:

Bo Johansson, utbildningsavd, SRV

Bearbetning och produktion:

Utbildningsproduktion AB, Malmö

Grafisk form och illustrationer:

Lars Gylldorff

Tryck:

Skogs Grafiska, Malmö, 1996

©1996 Statens räddningsverk, Karlstad
Utbildningsavdelningen

Beställningsnr U14-414/95

FÖRORD



Brandteori har utarbetats av Statens Räddningsverk. Den är avsedd som läromedel i grundläggande kunskaper om brands uppkomst och förlopp. Boken kan med fördel användas som lärarhandledning. Den innehåller grundläggande kunskaper om förbränning, brandens tillväxt och förlopp, samt beskrivning av brandförlopp i rum fram till övertändning. Allt detta är kunskaper som är nödvändiga för brandmannens yrkesutövning.

Brandteori kan även vara intressant för andra som kommer i kontakt med problem kring brand.

Kunskaper om bl a brand- och rökspridning, tryckförhållanden vid brand, fullt utvecklade brand, byggnadstekniskt brandskydd och brandorsaker ingår inte i denna lärobok.

Det är vår förhoppning att boken kommer att tjäna sitt syfte genom användning som lärarhandledning och som ett värdefullt läromedel i grundläggande kunskaper om brand.

Bo Johansson

projektledare, utbildningsavd



INNEHÅLL

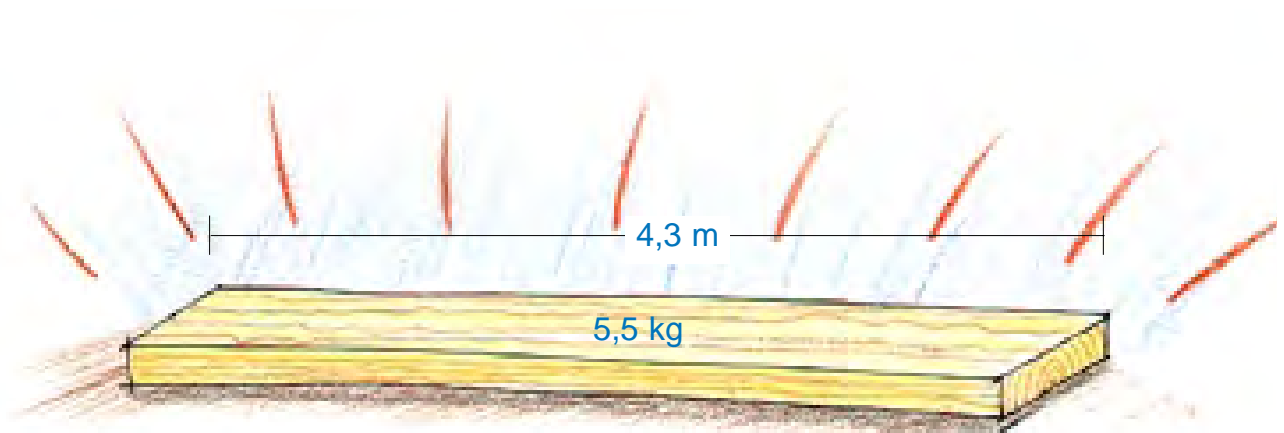
1 MÅTTENHETER.....5	4 FÖRBRÄNNING.....51
STORHETER.....5	VÄRMETILLFÖRSEL OCH
ENHETER.....8	VÄXELVERKAN.....51
BERÄKNINGAR.....9	FÖRBRÄNNINGSPROCESS.....54
OMRÄKNING.....11	OMVANDLING TILL BRÄNSLE-
	GAS.....65
2 MATERIENS UPPBYGGNAD	ANTÄNDNING.....74
OCH EGENSKAPER.....13	FLAM- OCH GLÖDFÖRBRÄN-
ATOMER OCH MOLEKYLER.....13	NING.....76
KEMISKA FÖRENINGAR OCH	EXPLOSIONSRISKER.....78
BLANDNINGAR.....16	
MASSA OCH TYNGD.....18	5 BRANDFÖRLOPP I RUM... 81
FYSIKALISKA TILLSTÅND.....20	BRANDTILLVÄXT.....81
ENERGI.....23	ÖVERTÄNDNING I RUM.....87
ENERGI OCH KEMISKA	
REAKTIONER.....25	
KEMISKA PROCESSER OCH	
JÄMVIKT.....26	
REAKTIONSHASTIGHET.....28	
3 VÄRME.....30	
VÄRME OCH TEMPERATUR.....30	
VÄRMETRANSPORT.....32	
TERMISKA EGENSKAPER.....38	
VÄRMEPÅVERKAN.....45	



MÅTTENHETER

Storheter

Den egenskap eller företeelse hos ett föremål som kan mätas eller beräknas kan följaktligen uttryckas i siffror och kallas då för storhet.



Bland de grundläggande storheterna hittar vi t ex längd, massa, tid och temperatur.

Brädan på bilden har bl a egenskaperna (storheterna) längd och massa. Vi kan mäta dessa egenskaper och det gör vi med enheter.

ENHET är ett fastställt värde av storheten. Storhetsvärden hos enheter har fastställts genom överenskommelse och används av alla länder som godtagit överenskommelsen. En bestämd längd fick efter överenskommelsen bli enheten meter i de flesta länder. Enheten mil däremot har olika längd i Storbritannien och Sverige.

För att mäta massan i vår bräda använder vi oss av enheten kilogram (kg). **MÄTETALET** 5,5 talar om hur många gånger som det fastställda värdet för kilo finns i brädan.

Storheter och enheter har tilldelats vissa bestämda beteckningar (symboler). Som beteckningar för storheter används ibland bokstäver från det grekiska alfabetet, ibland latinska (våra vanliga) bokstäver. Beteckningar för enheter anges som SI-symboler (se tabellen). SI är förkortning av *Système International d'Unités* som är det internationella måttenhetssystemet.

STORHET	BETECKNING	ENHET	BETECKNING
<i>Rum och tid</i>			
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
<i>Energi och effekt</i>			
energi	E	joule	J
effekt	P	watt	W
<i>Mekanik</i>			
massa	m	kilogram	kg
densitet	ρ	kilogram per kubikmeter	kg/m ³
volymitet	$v = \frac{1}{\rho}$	kubikmeter per kilogram	m ³ /kg
kraft	F	newton	N
arbete	W	joule	J
massflöde	\dot{m}	kilogram per sekund	kg/s
volymflöde	\dot{V}	kubikmeter per sekund	m ³ /s
tryck	ρ	pascal	Pa
dynamisk viskositet	η	pascalsekund	Pa·s
kinematisk viskositet	ν	kvadratmeter per sekund	m ² /s

STORHET	BETECKNING	ENHET	BETECKNING
<i>Värme</i>			
absolut temperatur	T	kelvin	K
Celsiustemperatur	θ	grad Celsius	$^{\circ}\text{C}$
temperaturdifferens	$\Delta T, \Delta\theta$	kelvin	K
längdutvidgningskoefficient	α	per kelvin	K^{-1}
volymutvidgningskoefficient	τ	per kelvin	K^{-1}
värmemängd	Q	joule	J
specifik värmemängd	q	joule per kilogram	J/kg
värmeeffekt	P	watt	W
värmeledning	λ	watt per meter kelvin	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
värmeövergångskoefficient	α	watt per kvadratmeter kelvin	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
värmegenomgångskoefficient	k	watt per kvadratmeter kelvin	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
värmediffusivitet	a	kvadratmeter per sekund	m^2/s
specifik värmekapacitet	c	joule per kilogram kelvin	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
isobar specifik värmekapacitet	c_p	joule per kilogram kelvin	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
isokor specifik värmekapacitet	c_v	joule per kilogram kelvin	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
entropi	S	joule per kelvin	J/K
specifik entropi	s	joule per kilogram kelvin	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
inre energi	U	joule	J
specifik inre energi	u	joule per kilogram	J/kg
entalpi	H	joule	J
specifik entalpi	h	joule per kilogram	J/kg
specifik ångbildningsentalpi	<i>h_{lg}</i>	joule per kilogram	J/kg
specifik smältentalpi	<i>h_{sl}</i>	joule per kilogram	J/kg

DIMENSIONSLÖSA STORHETER kallas sådana storheter som kan uttryckas genom endast mätetal (talvärde utan enhet). De har enheten 1 (ett). Enheten skrivs vanligen inte ut. Verkningsgrad kan t ex 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 % innebär 1 hundra del och kan skrivas som 0,01 utan enhet.

Enheter

Inom SI-systemet finns sju **GRUNDENHETER** som definieras fysikaliskt och två **SUPPLEMENTENHETER** som är härledda på geometrisk väg.

DE SJU GRUNDENHETERNA ÄR:

<i>storhet</i>	<i>enhet</i>	<i>SI-symbol</i>
längd	meter	m
massa	kilogram	kg
tid	sekund	s
elektrisk ström	ampere	A
temperatur	kelvin	K
ljusstyrka	candela	cd
substansmängd	mol	mol

SUPPLEMENTENHETERNA ÄR:

plan vinkel	radian	rad
rymdvinkel	steradian	sr

HÄRLEDDA ENHETER byggs upp genom att kombinera grundenheter och supplementenheter enligt fysikaliska eller geometriska samband mellan storheterna.

EXEMPEL PÅ HÄRLEDDA ENHETER ÄR

area	m^2	kvadratmeter
volym	m^3	kubikmeter
densitet	kg/m^3	kilogram per kubikmeter
kraft	$N, kgm/s^2$	newton eller kilogrammeter per sekundkvadrat
tryck	$Pa, N/m^2$	pascal eller newton per kvadratmeter
energi	J, Nm	joule (jol) eller newtonmeter
hastighet	m/s	meter per sekund
acceleration	m/s^2	meter per sekundkvadrat
effekt	$W, J/s$	watt eller joule per sekund
celsiustemperatur	C	grad celsius
kelvintemperatur	K	kelvin
		K (kelvin) anges utan gradtecken

MULTIPELENHET är en enhet som bildats av att en enhet multiplicerats med en viss talfaktor (prefix), i regel en potens av 10. Prefixet anger att enheten multiplicerats med en viss tiopotens. Om enheten W (watt) multipliceras med tiopotensen 10^3 som är lika med 1000, fås prefixet k (kilo) och multipelenheten kW (kilowatt) dvs 1000 W.

Man prioriterar prefixen 3, 6, 9..., och undviker potenser som 2, 4, 5, 7....

EXEMPEL PÅ PREFIX ÄR

giga	G	10^9	1 miljard
mega	M	10^6	1 miljon
kilo	k	10^3	1 tusen
micro	(μ)	10^{-6}	1 miljontedel

Observera att vissa multipelenheter betecknas med stor, andra med liten bokstav. De får inte förväxlas. De är symboler för olika begrepp. Stort M betyder mega, litet m betyder meter. Multiplikation av enheterna uttrycks genom att enheterna skrivs ihop, t ex Nm (newtonmeter). Division av enheterna kan uttryckas som m/s eller $m \cdot s^{-1}$.

Beräkningar

Vid beräkningar arbetar man med siffror enligt vissa matematiska regler. Idag används vanligen en miniräknare. Man måste dock vara medveten om en del risker när man räknar med hjälp av miniräknare.

En division går t ex sällan jämnt upp. Om man delar 4000 med 7 får man på miniräknaren resultatet 571,42857. Eftersom man kan läsa av så många siffror i fönstret, tror man kanske att man får ett riktigt noggrant värde. Det är oftast en missuppfattning.

RESULTATET KAN INTE BLI NOGGRANNARE ÄN INGÅNGSVÄRDENA.

En schablonregel säger att

om man multiplicerar och/eller dividerar, låter man det värde som har minst antal värdesiffror, dvs ingångsvärdet med den minsta noggrannheten, bestämma antalet värdesiffror (gällande siffror i svaret).

För att kunna bestämma antalet värdesiffror i ett tal, måste du veta att alla siffror är värdesiffror. För siffran 0 gäller dock följande:

Nollor är värdesiffror

- ◆ inuti ett tal (som i 1001)
- ◆ i slutet av ett tal med decimaler (som i 45,200)

Nollor är inte värdesiffror

- ◆ i början av ett tal med decimaler (som i 0,00025)

Nollor kan vara värdesiffror

- ◆ i slutet av ett heltal (som i 7500) men inte nödvändigtvis. Det får avgöras från fall till fall. I talet 500 markerar nollorna position fram till kommatecken och är inte värdesiffror. Nollorna blir värdesiffror om du menar exakt 500, men då måste du skriva $5,00 \times 10^2$.

Vi tar ett exempel! Vill du beräkna volymen av ett rätblock med måtten $4,231\text{ m} \times 2,21\text{ m} \times 2,3\text{ m}$, får du volymen genom att multiplicera $4,231 \times 2,21 \times 2,3 = 21,506173\text{ m}^3$ (kubikmeter). Enligt schablonregeln bestämmer det minst noggranna ingångsvärdet antalet värdesiffror i svaret. Resultatet blir således avrundat 22 m^3 , eftersom det minst noggranna ingångsvärdet 2,3 har två värdesiffror.

När du gör en uträkning på miniräknaren bör du alltid försöka bedöma om resultatet är rimligt. Det gör du genom **ÖVERSLAGSRÄKNING**, dvs att du i huvudet grovt räknar ut resultatet med rejält avrundade ingångsvärden.

Vid multiplikation av två värden avrundar du en faktor uppåt och den andra nedåt. Då blir felet i allmänhet mindre. $0,179 \times 0,0421 = 0,2 \times 0,04 = 0,008$.

Vid överslagsräkning av en kvot avrundar du nämnaren och täljaren åt samma håll. Avrundningarna ger närmevärden med en viss noggrannhet. Resultatet från divisionen av 4000 med 7, som var 571,42857 på miniräknaren, kan avrundas till ett tal med två decimaler (571,43), till heltal (571) eller till hela hundratal (600) beroende på sammanhanget. De är alla **NÄRMEVÄRDEN**. Om du anger närmevärdet 2, menar du ett tal mellan 1,5 och 2,5 ($1,5 \leq \text{talet} < 2,5$). Tecknet \leq betyder "mindre än eller lika med". Tecknet $<$ betyder "mindre än". Felgränsen i det här fallet är 0,5.

När du gör mätningar eller vägningar får du också närmevärden med en noggrannhet som beror på mätmetoderna. Här kan felgränsen (toleransen) vara en annan.

Exempel: Diametern på ett runt bord uppmäts till 2000 ± 5 mm. Om du ska beräkna omkretsen på bordsskivan kan du få skilda resultat, beroende på med vilka siffror (mätetal) du använder; 1995 mm, 2005 mm eller närmevärdet 2 m.

Omkretsen på en cirkel är lika med $\pi \times$ diameter. Resultaten blir $\pi \times 1995 = 6267$ mm, $\pi \times 2005 = 6299$ mm eller $\pi \times 2 \text{ m} = 6,28$ m eller 6283 mm.

Vilket är det rätta svaret? Förslagsvis 6283 ± 16 mm som anger att det "rätta" värdet ligger mittemellan 6267 mm och 6299 mm. Ett naturligare svar är 6,3 m eller bara cirka 6 m. I allmänhet kostar man inte på sig en så omfattande beräkning, utan använder schablonregeln och avrundar till ett antal värdesiffror eller gällande siffror.

Omräkning

Du kan **BYTA ENHET** (från t ex mm till m). Du kan räkna med enheter och **OMRÄKNA ENHETER** till andra. Då använder du dig av omräkningsfaktorer. Här får du några exempel på omräkningsfaktorer från gamla enheter till SI-enheter och tvärtom.

För kraft	1 kp (kilopond)	=	10 N (newton)
	1 N	=	0,1 kp
För tryck	1 kp/cm ²	=	0,1 MPa (megapascal)
	1 kp/m ²	=	10 Pa (pascal)
	1 Pa	=	1 N/m ²
	1 MPa	=	10 kp/cm ²
För energi	1 kcal (kilokalori)	=	ca 4 kJ (kilojoule, läs "jol")
	1 kJ	=	0,25 kcal
För effekt	1 hk (hästkraft)	=	735 W (watt)
	1 W	=	1 J/s (joule per sekund)
	1 kW	=	1,4 hk

För värme	värmledningsförmåga		
	1 kcal/mhK	=	1,16 W/mK
	värmegenomgångskoefficient		
	1 kcal/m ² hK	=	1,16 W/m ² K
För temperatur	1°C (grad celsius)	=	1 K (kelvin)
	Värdet i °C+ 273	=	värdet i K

Skillnaden i skalorna mellan grader celsius och kelvin ligger i placeringen av nollpunkten, 0 °C = 273 K.

Alla länder tillämpar ännu inte SI-systemet. Ganska ofta träffar vi på de engelska enheterna **FOT** och **PUND**. Då måste du känna till omräkningsfaktorerna. De finns bl a i SI-guiden, utarbetad av Svenska standardiseringskommissionen.

Här återges några av de viktigaste:

För längd 1 m (meter)	= 39 in (inch)	= 3,3 ft (foot)
1 ft	= 12 in	= 0,3 m
För area 1 m ²	= 1,5 x 10 ³ in ²	= 10,7 ft ²
1ft ²	= 144 in ²	= 93 x 10 ⁻³ m ²
För volym 1m ³	= 61 x 10 ³ in ³	= 35 ft ³
1 ft ³	= 1,7 x 10 ³ in ³	= 28 x 10 ⁻³ m ³
För massa 1 kg (kilogram)	= 2,2 lb (pound)	
1 lb	= 0,45 kg	
För densitet 1 kg/m ³	= 36 x 10 ⁻⁶ lb/in ³	= 62 x 10 ⁻³ lb/ft ³
1lb/ft ³	= 0,58 x 10 ⁻³ lb/in ³	= 16,02 kg/m ³
1lb/in ³	= 1,7 x 10 ³ lb/ft ³	= 27,7 x 10 ³ kg/m ³
För energi 1 J (joule)	= 0,95 x 10 ⁻³ Btu (British thermal unit)	
1 Btu	= 1,05 x 10 ³ J	
För effekt 1 W	= 3,4 Btu/h	
1 Btu/h	= 0,29 W	
För effekt/yta 1 W/m ²	= 0,32 Btu/ft ² h	
1 W/cm ²	= 0,88 Btu/ft ² s	
1 Btu/ft ² h	= 3,15 W/m ²	
1 Btu/ft ² s	= 1,13 W/cm ²	
För tryck 1 Pa (pascal)	= 0,14 x 10 ⁻³ lb _f /in ² (psi)	
1 lb _f /in ² (psi)	= 6,89 x 10 ³ Pa	



MATERIENS UPPBYGGNAD OCH EGENSKAPER

Atomer och molekyler

Allt vi kan observera med syn, känsel, lukt eller se i instrument kallar vi för materia (latin = ämne).

Materien kan ha tre former (fysikaliska tillstånd) i levande eller icke levande system

- ◆ fast form
- ◆ flytande form
- ◆ gasform

Samma ämne kan förekomma i alla tre formerna.

Materien består av många miljoner små partiklar (**MOLEKYLER**), antingen enbart som enkla kemiska beståndsdelar eller som en blandning. Molekylen är den minsta materiepartikel som kan existera i fritt tillstånd.

En molekyl är i sin tur uppbyggd av ännu mindre partiklar (**ATOMER**). Atom betyder på grekiska odelbar, vilket man trodde att den var när den upptäcktes. Idag vet man att även atomen består av mindre enheter som protoner och neutroner i atomens positivt laddade kärna, omgiven av negativt laddade elektroner. Man har t o m lärt sig att dela vissa atomer och på det sättet utvinna energi - atomenergi.

Atomen är den minsta beståndsdel av ett grundämne som kan delta i kemiska förändringar och som inte kan delas ytterligare utan att förlora sin identitet.

Ett ämne som består av molekyler med bara en sorts atomer är ett **GRUNDÄMNE**. Varje grundämne har ett kemiskt tecken (symbol) som utgörs av begynnelsebokstaven och ibland ytterligare en bokstav i ämnets latinska eller grekiska namn (oxygen = O, natrium = Na).

GRUNDÄMNENAS PERIODISKA SYSTEM innebär att man ordnar grundämnena efter ökande antal protoner i atomens kärna, grupperade efter samma antal elektroner i yttersta skalet. Väte H har nummer 1, eftersom atomkärnan innehåller en proton. Syre O får nummer 8 efter åtta protoner i kärnan.

6 12,0 C	7 14,0 N	8 16,0 O
14 28,1 Si	15 31,0 P	16 32,1 S
32 72,6 Ge	33 74,9 As	34 79,0 Se
50 118,7 Sn	51 121,8 Sb	52 127 Te

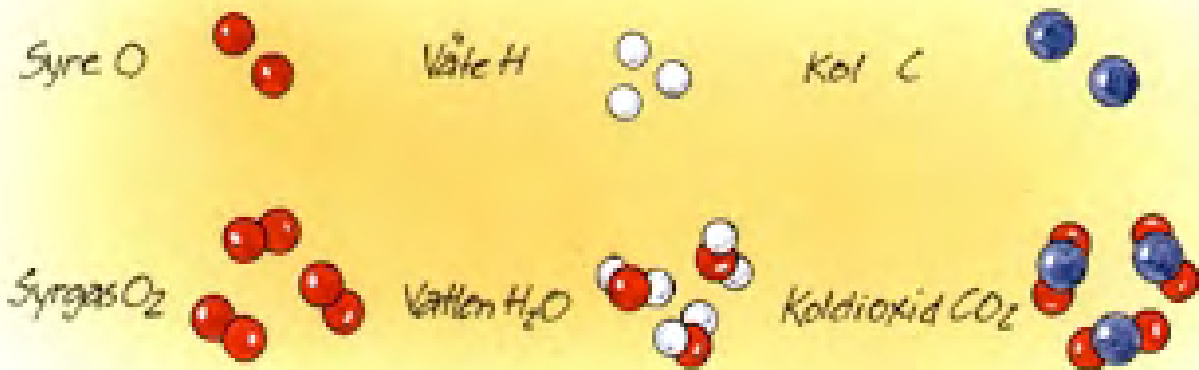
Förklaring

20 40,1 Ca	atomnummer atomvikt symbol
-------------------------	----------------------------------

Kemiska ämnen i det periodiska systemet

Ett grundämne utmärker sig genom egna typiska egenskaper som lukt, smak, färg, densitet (vikt per volymenhet), kokpunkt, smältpunkt m m. Grundämnena indelas efter sina egenskaper i två grupper, metaller och icke-metaller. I metallerna ligger atomerna tätt packade i metallkristallen. Det kemiska tecknet (symbolen) står för en atom av grundämnet.

Grundämnena förekommer i naturen (ca 100 är kända) men kan framställas även på konstgjord väg (ca 15 är kända). I naturen har ofta olika grundämnena ingått i en **KEMISK FÖRENING** och bildat ett nytt ämne med nya egenskaper. En vattenmolekyl består av två väteatomer och en syreatom (H_2O) och en koldioxidmolekyl består av en kolatom och två syreatomer CO_2 (se bild).



Atomer bildar kemiska föreningar (t ex molekyler eller jonföreningar) av grundämnena

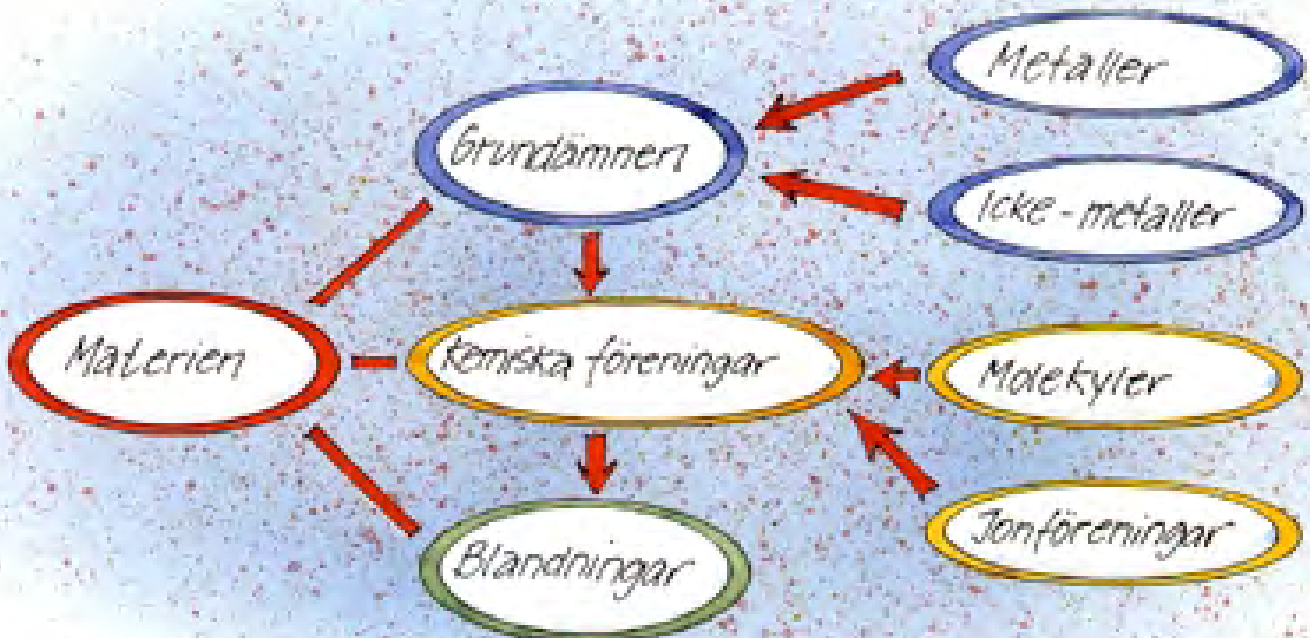
Vissa kemiska föreningar är uppbyggda av joner.

Joner är elektriskt laddade atomer eller atomgrupper med positiva respektive negativa laddningar.

Jonföreningar kallas också salter. Natriumklorid (koksalt) NaCl består av lika många positivt laddade natriumjoner Na^+ som negativt laddade kloridjoner Cl^- . Föreningen är elektriskt neutral. Jonbindningar anses som relativt starka bindningar.

Kemiska föreningar och blandningar

Materiens uppbyggnad, där grundämnen är byggstenar, kan sammanfattas på följande sätt:



Idag känner man till mer än en miljon kemiska föreningar och nya framställs varje år.

I EN KEMISK FÖRENING har grundämnena konstanta viktproportioner - de bildar ett nytt enhetligt ämne med nya egenskaper.

I ett mycket stort antal av föreningarna ingår grundämnet kol som huvudbeståndsdel, ofta tillsammans med väte, syre och kväve. Sådana föreningar (organiska föreningar) är för det mesta brännbara. De kan reagera med syre från t ex luften.

EN BLANDNING innehåller växlande mängder av de ingående ämnena, vilka har kvar sina ursprungliga egenskaper. Inget nytt ämne bildas och beståndsdelarna går att skilja åt igen.

De flesta av de material och ämnen vi handskas med i det dagliga livet är mer eller mindre utpräglade blandningar. Trä är en blandning av en mängd organiska föreningar. Bensin är blandning av kolväteföreningar, liksom gasol är en blandning av gasformiga kolväteföreningar. Blandningar kan i princip bestå av

- ◆ två eller flera gaser
- ◆ två eller flera vätskor
- ◆ två eller flera fasta ämnen
- ◆ gas och vätskedroppar
- ◆ gas och fasta partiklar
- ◆ lösning av fast kropp eller gas i vätska.

Massa och tyngd

MASSA

Massan hos ett föremål eller en kropp beror endast på hur mycket av en viss materia den innehåller. Massan för en kropp är densamma varhelst kroppen befinner sig i universum. Den förändras bara om något tas ifrån kroppen eller sätts till den.

TYNGD

En kropps tyngd är beroende av hur nära jorden kroppen befinner sig, dvs av jordens dragningskraft (jordgravitationen).

För att kunna lyfta 1 kg massa (eller vikt) måste man prestera en kraft på 9,8 N (newton). Tyngden av massan 1 kg är således 9,8 N.

Om en människa väger ca 60 kg är hennes tyngd vid jordens yta ca 600 N.

Jordgravitationen avtar med höjden över havet (avståndet från jordens yta). Om två tegelstenar har dubbelt så stor massa som en tegelsten vid havsytan, så blir deras tyngd på ett visst avstånd (ca 2500 km) från jordens yta i universum bara hälften så stor (lika med tegelstenens massa).

Människan, vars tyngd vid jordens yta var 600 N, förlorar den om hon befinner sig på stort avstånd från jorden, t ex i ett rymdskepp.

Jordgravitationens värde vid havsytan varierar även med breddgraden. I hela Sverige kan man dock räkna med 9,81 N/kg.

DENSITET

En mycket användbar storhet är densitet. Alla har någon gång konstaterat att två material med samma volym inte nödvändigtvis väger lika mycket. Vi säger att järn är ”tyngre” än trä. Egentligen menar vi att en viss volym järn är tyngre än samma volym trä.

Om man väger 1 m³ (kubikmeter) järn, blir vikten ca 8000 kg. Om man väger 1 m³ furuträ får man en vikt på ca 500 kg. Densiteten för järn blir 8000 kg/m³ (kilo per kubikmeter). Siffrorna för furuträ blir 500 kg/m³.

Ett materials densitet definieras som

vikten (massan) för varje andel av materialet dividerad med dess volym

Exempel på densitet:

MATERIAL	DENSITET I kg/m ³
bly	11 300
järn	7 900
aluminium	2 700
glas	2 600
kol	1 900
svavelsyra	1 000
is	920
acetone	790
bensin	740
trä, furu	500
luft	1,3

Vätskors och fasta ämnens densitet anges vid 20 °C. Om densiteten hos fasta ämnen är under 1000 kg/m³ (vattnets densitet vid 20 °C) flyter de när de befinner sig i vattnet. Vätskor som är lättare (har lägre densitet) än vatten, kan lösas upp och blandas med vattnet. Densiteten påverkas av temperatur, materialets porositet, saltlösningars koncentration m m. Högre koncentration hos en lösning ger en högre densitet. Ju högre temperatur, desto lägre densitet.

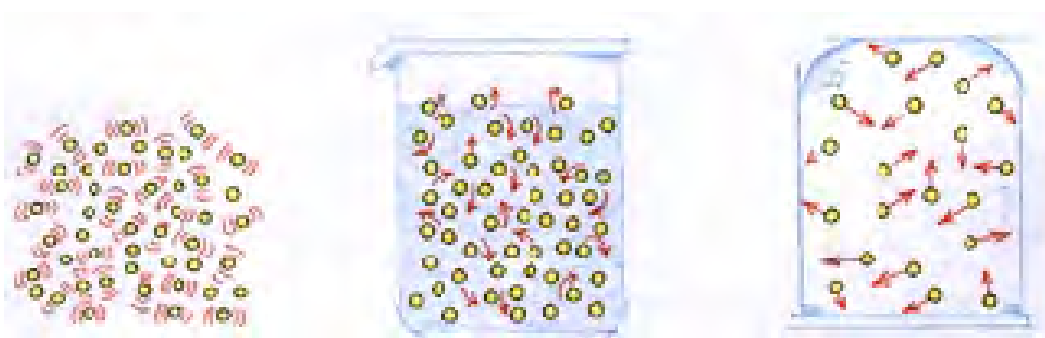
Fysikaliska tillstånd

Järn eller sten möter vi normalt i fast form, vätskor i flytande form och luft eller ånga i gasform. Dessa tre former - fast, flytande och gas - kallas för fysikaliska tillstånd eller faser. Det är främst temperatur, men även tryck som avgör vilken fas eller form ämnet kommer att befinna sig i.

Ett fast ämne har bestämd form och bestämd volym. Ett flytande ämne har bestämd volym men ingen bestämd form. En gas har varken bestämd volym eller form.

Fasta ämnen byggs upp av atomer, molekyler eller joner ordnade i en viss struktur. I kristaller är ämnen i fast tillstånd ordnade med stor regelbundenhet. I jonföreningar, oftast salter, ger den elektrostatiske attraktionen (de sammanhållande krafterna) en stark bindning mellan jonerna. I kristaller som byggs upp av enskilda molekyler är de sammanhållande krafterna mellan molekylerna i regel svagare.

Atomer och atomgrupper, bl a molekyler är ständigt i rörelse (värmerörelse). Värmerörelsen tilltar om temperaturen höjs och avtar om den sänks. Bilden visar de olika tillståndens (fasta, vätske- och gasfasens) molekylrörelse.



A Den fasta fasens molekyler finns tätt packade i kristallstrukturen, vibrerar fram och tillbaka, upp och ner.

B Vätskefasens molekyler finns relativt tätt packade, som i fast gas. De glider förbi varandra på ett slumpartat sätt och avlägsnar sig från ytan p g a ångtryck.

C Gasfasens molekyler finns relativt långt ifrån varandra, i slumpvis rörelse. Kolliderande med varandra och med kärlets väggar.

I varje tillstånd - fast, flytande och gasformigt - ökar den kinetiska energin (rörelseenergin) om temperaturen ökar. Tillståndet ändras då från fast form till vätska och slutligen till gas.

Rörelsen blir intensivare med högre temperatur. Vid tillräckligt hög temperatur blir (I FASTA MATERIAL) molekylernas rörelseenergi så stor att de sliter sig loss från sina platser. Det fasta materialet smälter vid en bestämd temperatur (smältpunkt). Den värmeenergi som behövs för att ett fast ämne ska övergå till flytande fas kallas för smältvärme.

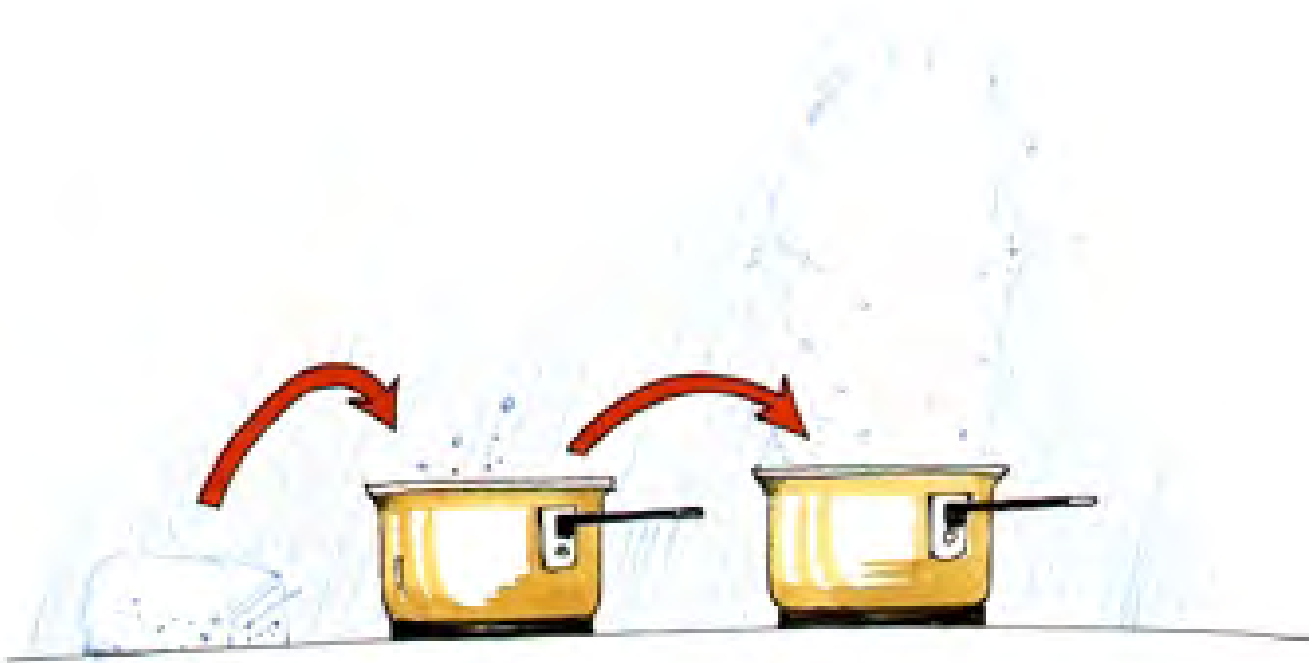
I VÄTSKOR kan partiklarna röra sig ganska fritt. Rörelsen är större än i fast tillstånd. Den är så stor att bindningskrafterna inte kan åstadkomma en ordnad struktur utan bara hålla en bestämd volym (se bilden ovan). Med stigande temperatur blir rörelsen hos partiklarna allt livligare. Trycket i vätskan stiger och när det blir lika med det yttre trycket har vätskan nått kokpunkten. Ett ökande antal partiklar lämnar då vätskan och övergår i gasform.

Molekylerna I EN GAS befinner sig på mycket stort avstånd från varandra. Attraktionen mellan molekylerna blir då relativt liten. Detta gör att många gaser uppför sig på ett likartat sätt och lyder samma lagar. Molekylerna i en gas befinner sig i snabb rörelse. I luft med rumstemperatur är deras medelhastighet cirka 500 m/s. Hastigheten blir större ju högre temperaturen är. Molekylerna kolliderar med varandra och med omgivande väggar. I det senare fallet blir kollisionerna märkbara som tryck.

Energien som behövs för att en vätska ska övergå till gasform kallas för förångningsvärme eller ångbildningsvärme. Övergången från fast form till flytande och sedan till gasform kräver energi (oftast värmeenergi). Vid övergången från gas, via vätska till fast form, frigörs energi.

Det är inte alltid nödvändigt att ett ämne övergår från fast tillstånd genom vätska till gas. Även direkt övergång från fast fas till gasfas är möjlig, t ex från CO_2 till is som ryker.

Processen kräver betydligt större mängd energi än övergången från fast form till vätskeform eller från vätska till gas.



Om du först smälter 1 kg is, därefter kokar vattnet och förångar det, behövs följande mängd energi:

att smälta isen	0,334 MJ (Megajoule)
att upphetta vatten från 0° C till 100° C	0,419 MJ
att förånga vatten vid 100° C	<u>2,263 MJ</u>
	Totalt 3,016 MJ

Exemplet visar tydligt hur det förhåller sig med energifördelningen. Att smälta isen och förånga vatten vid 100° C kräver sammanlagt 2,597 MJ. Det betyder att ca 86% av den totala energin går åt för att ändra de fysikaliska tillstånden och bara 14% för att öka vattnets temperatur från 0 °C till 100 °C.

Energi

ENERGIN INOM FYSIKEN

ELEKTRICITET, LJUS, LJUD OCH VÄRME är inte materia. De tar inte någon plats och väger ingenting. **DE ÄR OLIKA FORMER AV ENERGI.**

Energi är någonting som åstadkommer förändringar i materien. Värme kan förändra vatten från vätska till gas. Elektrisk och mekanisk energi kan driva en motor, dvs den kan åstadkomma rörelse. Kemisk energi kan värma bostäder o s v.

Mekanisk energi kan mätas som den mängd arbete en kropp kan utföra. Om du lyfter en tyngd, utför du ett arbete. Tyngden har i sitt upplyfta läge **POTENTIELL ENERGI (LÄGEENERGI)**. Tyngden kan, när den faller igen, resa en annan tyngd eller utföra annat arbete, som t ex att slå in spik. Då har den potentiella energin utfört en rörelse (fritt fall) p g a gravitationen. Energin som åstadkommer en kropps rörelse kallas för kinetisk energi.



Potentiell energi kan förekomma i flera olika former. En uppdragen fjäder i en klocka har potentiell energi att utföra arbete - dra klockan framåt. Den i fjädern inneboende energin kallas för elastisk potentiell energi. Likaså har en balk under belastning potentiell energi att räta på sig om belastningen upphör, eller en bit dynamit att explodera om den antänds. Dynamiten har s k kemisk potentiell energi i sig, precis som t ex kol, eller annat lagrat bränsle.

ENERGIPRINCIPEN

Energiprincipen säger att energin kan inte förstöras, endast omvandlas från en form till en annan. Det innebär att alla former av energi är likvärdiga. Så kan t ex mekanisk energi övergå till värme genom friktion.



Värme genom friktion

Värme är en form av energi som påverkar molekylernas rörelse. Värme alstras vid kemiska reaktioner som t ex förbränning eller vid friktion m m. Enheten är 1 J (joule). Det behövs 4,2 kJ för att värma upp 1 kg vatten 1 °C. Värmeenergin kan i sin tur övergå till rörelseenergi eller arbete. Användningen av motorer drivna med värmeenergi som diesel och bensinmotorer, är idag den mest utbredda formen att omvandla värmeenergin till rörelse och arbete. I många fall går omvandlingen från värmeenergin eller rörelseenergin genom elektrisk energi till annan rörelse eller arbete.

KEMISK ENERGI

När du förbränner olika bränslen (organiska föreningar där grundämnen som kol, väte, syre och/eller kväve ingår) frigörs energi. Den kemiska potentiella energin omvandlas till kemisk energi. En form av kemisk energi är just värmeenergi som frigörs vid förbränning.

I en atom finns det inneboende energi i atomkärnans massa. Det finns också lägesenergi som uppstår genom de elektrostatiska krafterna mellan kärnornas och elektronernas laddningar. Eftersom elektronerna rör sig inom atomens elektronmoln, omvandlas en del lägesenergi till rörelseenergi. Summan av

elektronernas läges- och rörelseenergi kallas **ELEKTRONENERGI**. Det är huvudsakligen förändringar i elektronenergin vid omgruppering av atomer som utnyttjas vid kemiska processer och alltså utgör kemisk energi. Energin i atomkärnans massa kallas för **KÄRNENERGI**.

Atomerna sluter sig samman till atomgrupper, t ex molekyler eller kristaller. Då minskar lägesenergi och bindningsenergi avges. Vi talar nu om hela gruppens elektronenergi. Den orsakas av elektrostatiska krafter mellan alla gruppens elektroner och atomkärnor.

En del energi används till atomernas och atomgruppernas rörelse i förhållande till varandra. De vibrerar, roterar och förflyttar sig. Denna rörelseenergi utgör den egentliga värmerörelsen. När temperaturen höjs ökar rörelsen. Den tillförda energin tas således upp som rörelseenergi.

Den kontinuerliga rörelsen hos atomerna och atomgrupperna (molekylerna), gör att de kommer längre och längre ifrån varandra. Detta gör att t ex gaser blandar sig med varandra (diffunderar varandra). Men i vätskor och fasta material är molekylerna närmare varandra. De tenderar då att fästas vid varandra. Krafterna kallas för sammanbindningskrafter (attraktionskrafter) och är starka speciellt i fasta material där avstånden mellan molekylerna är mycket små. Vi säger att materialet har en viss seghet.

Energi och kemiska reaktioner

En kemisk reaktion kan beskrivas med hjälp av en kemisk formel. Vid förbränning av eldningskol reagerar kolet med syre från luften. En sådan kemisk reaktion med syre, dvs där syre binds till något annat ämne kallas oxidation. Produkten som bildas är en oxid. Vid en komplett reaktion bildas koldioxid under utveckling av värme. Reaktionen kan skrivas:



När ämnen omvandlas vid kemiska reaktioner upptas eller avges en värmemängd. Den kallas för processens värme (reaktionsvärme). Speciellt förbränningsvärme, bindningsvärme eller lösningsvärme avges vid en reaktion.

För en reaktion som kräver värmeförsörjning är reaktionsvärmerna negativa. Smältvärme och ångbildningsvärme tas upp vid smältning/ångbildning.

En process där värme avges kallas **EXOTERM**, och där värme upptas **ENDOTERM**.

Förbränning är exempel på en exoterm reaktion där energiinnehållet i det som brinner minskar. Namnet för denna energiform är **ENTALPI**. Ändringen i energiinnehållet (entalpin) vid en reaktion ger ett värde på förbränningsvärme.

Energien är mycket viktig när vi teoretiskt talar om kemiska reaktioner. Beträktelsen av de krafter som binder atomerna eller molekylerna samman är i grunden ett energiproblem och undersöks inom ett system. Med system menar vi varje avgränsat område som undersöks eller diskuteras. Systemet kan vara inneslutet inom fysiska (verkliga) väggar eller begränsningsytor. Ofta menar man vissa ämnesmängder utan att tänka på hur dessa avgränsas.

Man betraktar alltså ett system av en viss storlek med vissa väsentliga egenskaper. Ett system kan dock innehålla olika faser av samma ämne. Systemet vatten kan innehålla alla tre faser - is, flytande vatten och vattenånga.

Kemiska processer och jämvikt

Ett systems tillstånd kan bedömas genom att studera och bestämma dess egenskaper. Om ett system går från ett tillstånd till ett annat, talar vi om en process eller ett förlopp. Kemiska processer innebär i allmänhet omgrupperingar av atomer eller omflyttningar av atomladdningar. En kemisk process kallas även kemisk reaktion.

I dagligt tal säger vi att ett system är stabilt och i jämvikt när det inte märkbart förändras sig. Ett system kan vara oföränderligt genom att det nått ett tillstånd från vilket det inte har någon tendens att ändra sig. Det är då i verklig jämvikt. Men det kan också befinna sig långt ifrån jämvikt och synas oföränderlig endast på grund av reaktionshämning. Systemet väte + syre är instabilt trots att det förefaller oföränderligt vid rumstemperatur. Det är emellertid endast ur makroskopisk synpunkt som ingenting tycks hända vid jämvikter där ett stort antal atomer eller molekyler deltar.

Låt oss säga att vi har flytande vatten och över det finns en gasfas som innehåller vattenånga. Då vandrar ständigt vattenmolekylerna i båda riktningarna mellan de båda faserna. Från en viss yta av vätskan lösgörs vid konstant temperatur per tidsenhet alltid lika många vattenmolekyler och vandrar över till gasfasen. Antalet vattenmolekyler från gasfasen, som per tidsenhet slår ned på samma vätskeyta och förenar sig med vätskan, beror däremot på vattenångas koncentration i gasfasen. Ju högre koncentration, desto större antal.

Om det sker en avdunstning, innebär detta att under samma tid vandrar ett färre antal molekyler från gasfasen till vätskan än i motsatt riktning. Vattenkoncentrationen i gasfasen stiger då, och därmed ökar antalet molekyler som går från gasen till vätskan. Till slut blir detta antal lika med det molekylantal som under samma tid lämnar vätskan. Jämvikt har därmed nåtts. Skulle därefter exempelvis temperaturen öka, ökar molekylvandringen från vätskan, och först vid ännu högre vattenångskoncentration nås åter jämvikt.

I detta exempel har jämvikt nåtts mellan processerna $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ och $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \leftarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$, där l = liquidus (flytande), g = gasformig och s = solidus (fast). Att jämvikt föreligger utmärks ofta med två pilar i motsatt riktning, alltså



Samma princip gäller även för jämvikter vid ”mera kemiska” processer eller kemiska reaktioner. I ett och samma system kan olika processer gå mot jämvikt med mycket olika hastighet. På grund av att många processer går med omärklig hastighet är det viktigt att kunna avgöra om ett tillsynes oföränderligt system är i jämvikt eller om det har en tendens att gå över till ett annat tillstånd. Detta är möjligt om man känner till drivkraften vid en process.

En del av drivkraften beror på skillnaden i sannolikhet mellan utgångs- och sluttillståndet.

Ett tillstånds sannolikhet står i nära samband med dess oordning.

I en kristall är ämnets byggstenar (atomer eller atomgrupper) fördelade med en mycket hög grad av oordning. Smälter kristallen ökar oordningen, och sker förgasning blir oordningen ännu större. Det är givet att fördelningen av byggstenarna är mera sannolik ju större oordningen är.

Om vi bara ser på byggstenarnas lägen, måste ett oerhört antal sådana lägen fastläggas för att ett visst kristalltillstånd ska förverkligas. I en gas har molekylerna däremot frihet att inta en mångfald olika lägen utan att gasens tillstånd förändras. Vi måste här betrakta så stora system att statistiska lagar gäller. Vi kan också uttrycka saken så att byggstenarna har ofantligt mycket lättare att komma på plats för att inta ett visst gastillstånd än för att bilda ett visst kristalltillstånd. Gasen skulle kunna jämföras med en stor, oordnad folkmassa där de enskilda personerna kan stå fördelade på otaliga sätt utan att folkmassan i sin helhet ändrar karaktär. Kristallen däremot liknar en regelbundet ordnad trupp, där alla platser måste hållas. Den bestämda formationen är också mycket svårare att bilda än den oordnade folkmassan.

Reaktionshastighet

Kemiska reaktioner kan ske med olika hastighet beroende på givna villkor. Villkoren som påverkar reaktionshastigheten är flera, nämligen reaktionsämnenas

- ◆ karaktär
- ◆ mängd
- ◆ tryck
- ◆ reaktionsyta och koncentration
- ◆ temperatur
- ◆ m m

Vissa ämnen reagerar inte alls med något annat ämne (ädelgaser som helium, neon och argon). Vissa metaller oxiderar mycket snabbt i fuktig luft, andra långsammare. Vissa oxiderar inte alls (t ex guld). Det finns ämnen som reagerar redan vid låg temperatur, andra endast vid förhöjd temperatur.

Förhöjd koncentration hos vissa ämnen som ingår i reaktionen innebär att partiklar närmar sig varandra. Detta gör att antalet ”krockar” ökar och reaktionen går snabbare. Med ökad temperatur blir molekylernas rörelser snabbare, vilket ökar sannolikheten för ”krockar”. Varje ökning av temperaturen ökar hastigheten hos en kemisk reaktioner. En ökning på 10 °C fördubblar reaktionshastigheten. Vissa reaktioner som äger rum vid normal temperatur avstannar helt vid låga temperaturer.

Hastigheten hos en kemisk reaktion är även beroende av **REAKTIONSYTAN** hos reagenterna (ämnena som ingår i reaktionen). Ju finare fördelade ämnena är, dvs ju större reaktionsyta de har, desto snabbare blir den kemiska reaktionen.

Jämför skillnaden mellan en fotogenlampa som brinner (där en stor yta deltar i den kemiska reaktionen), och hur en stor pöl spillt fotogen brinner (där en stor yta har kontakt med syre). Ämnet som brinner är i båda fallen det samma - fotogen.

Hastigheten hos kemiska reaktioner kan vid behov även styras med **KATALYSATORER**. Katalysatorer påverkar hastigheten men deltar inte i själva reaktionen.



VÄRME

Värme och temperatur

Värme och temperatur får inte förväxlas med varandra. Skillnaden är att

värme är energimängd, medan temperatur är ett tillstånd, ett mått på uppvärmning, en nivå uppnådd genom uppvärmning.

Om man tillför lika stor energimängd till två helt olika material av samma vikt, t ex till 1 liter (1 kilo) vatten och ett kilo gjutjärn, blir de efter några minuter inte lika varma. Vattnets och gjutjärnets temperatur kommer att skilja sig från varandra, dvs nivån uppnådd genom uppvärmning blir olika.

När värmeenergin tillförs ett medium, ökar atomernas och molekylernas rörelsehastighet och temperaturen stiger. Om värmen av någon anledning förs bort, minskar rörelsehastigheten och temperaturen sjunker.

Temperatur är alltså ett mått på hur mycket och hur snabbt något värms upp eller kyls ner, dvs ett mått på atomernas och molekylernas rörelsehastighet.

Lägsta möjliga temperatur (absolut temperatur) innebär att ingen rörelse förekommer hos molekylerna. Detta sker vid -273 °C (absoluta nollpunkten). Denna är utgångsläget för den absoluta temperaturskalan som anges i kelvin (K). Skaldelar i kelvinskalan är lika stora som i celsiuskalan ($1\text{ °C} = 1\text{ K}$).

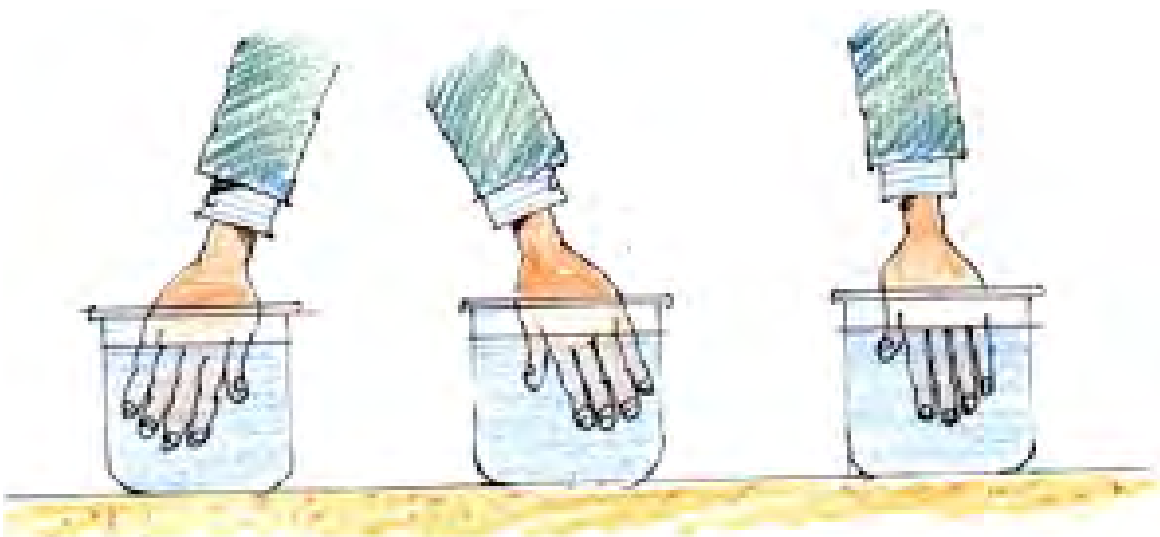
Omvandling från °C till kelvin blir

$$K = °C + 273$$

I England och USA används temperaturskalan enligt Fahrenheit, där varje °F är ungefär två gånger °C. Fryspunkten $0\text{ °C} = 32\text{ °F}$ och kokpunkten $100\text{ °C} = 212\text{ °F}$. Omvandlingen blir då

$$\begin{aligned} °F &= 1,8\text{ °C} + 32 \\ °C &= 0,55\text{ (°F - 32)} \end{aligned}$$

Vi ska visa skillnaden mellan värme och temperatur genom ett enkelt experiment med tre kärl i rad. Det första fylls med kallt vatten, det andra med ljummet och det tredje med varmt vatten. Doppa först händerna - den ena i det kalla vatten och den andra i det varma. Doppa sedan bägge händerna samtidigt i det ljumma vattnet. Du kommer att uppleva olika temperatur i det ljumma vattnet. Hur är detta möjligt? Det är ju samma (ljumma) vatten med en temperatur på kanske 30 °C . Men dina händer var inte lika varma när du doppade dem i det ljumma vattnet. Den ena handen var nedkyld av det kalla vattnet och måste nu värmas upp (värme måste tillföras). Den andra handen var uppvärmd av det varma vattnet och måste nu kylas ner (värme måste bortföras). Du upplever olika temperaturer i vattnet men i själva verket är det dina händer som inte har samma temperatur. Du känner av händernas temperatur. När bägge händerna har samma temperatur, kommer du att känna likadant i båda.



Värmetransport

Värme som utvecklas vid förbränning är energi. Du vet redan att energin kan inte förstöras, utan antingen omvandlas den från en form till en annan eller överförs den (transporteras vidare). Den överförs huvudsakligen på tre olika sätt beroende på vilket medium det gäller och om den överförs från eller till mediet. Värmetransport sker genom

- ◆ ledning
- ◆ strömning
- ◆ strålning

LEDNING

Värme överförs huvudsakligen genom ledning i fasta material och vätskor. Molekylernas rörelse överförs direkt från molekyl till molekyl. Om man sänker ner ett varmt metallstycke i en behållare med rumstempererat vatten, överförs värmeenergin (molekylrörelsen) från metallen till vattenmolekylerna. De rör sig snabbare, vilket gör att vattnets temperatur stiger. **VÄRMEN LEDS FRÅN EN VARMARE KROPP TILL EN KALLARE.** Värmeledning kallas även värmekonduktivitet och talet som uttrycker materialets värmeledningsförmåga betecknas med den grekiska bokstaven λ (lambda) eller med bokstaven k .

Att vissa material leder värme bättre än andra uppfattar du om du först lägger din hand, som är varmare än omgivningen, på en träyta lika varm som omgivningen, sedan på en metallyta, också den lika varm som omgivningen. Eftersom metallen och träet befinner sig i samma miljö har de i vårt exempel samma temperatur. De är lika varma och ändå känns metallytan mycket kallare än träytan. Förklaringen är att metallen som är en mycket bra värmeledare, leder bort värmen från handen och handen får då lägre temperatur. Träytan känns varmare eftersom den inte leder bort värmen lika bra. Handen förblir varmare. Man kan på samma sätt avgöra om ett föremål är av plast eller av sten genom att prova om det känns varmt eller kallt mot t ex läpparna. Äkta sten har bättre värmeledningsförmåga. Den leder bort mer värme och känns därför kallare än föremål av plast.

Materialens värmeledningsförmåga uttrycks genom värmeledningstalet som är karakteristiskt för varje material. Här följer värmeledningstalet för några material:

MATERIAL	λ ELLER k i W/mK
Koppar	390
Aluminium	210
Mässing	115
Järn	80
Stål	60
Kalksten	3
Betong	1
Glas	0,8
Tegel	0,7
Trä	0,3
Plast	0,2
Luft	0,02

Material med högt värmeledningstal är bra värmeledare. De är oftast även bra el-ledare. Dessa material med fasta bindningar mellan molekylerna, släpper igenom mera värmeenergi än material med något lösare bindningar. Det beror på att molekylerna med fasta bindningar lättare överför sina rörelser till varandra.

Ett material som inte leder värme speciellt bra har lägre värmeledningstal och därmed högre värmemotstånd. I ett sådant material kan molekylrörelser fortare resultera i förhöjd temperatur. Träytan i experimentet med handen värms upp av handen snabbare än metallytan.

I brandsammanhang kan en bra värmeledare, t ex en stålpelare, orsaka att brännbart material som är i kontakt med pelaren antänder på andra sidan väggen, i våningen ovanför branden eller t o m på vinden. En viss tid förblir visserligen pelarens yta kall på grund av att värmen leds bort från ytan, men efterhand och relativt snabbt, värms hela pelarens massa upp. Även detta är en konsekvens av stålets höga värmeledningsförmåga.

STRÖMNING

Från uppvärmda fasta material, eller från varm vätska, överförs värme till kallare gas (t ex luft) genom strömning. Detta gäller även gasformiga media, eller vätskor, där värme överförs till kallare fasta material (t ex en värmedetektor). Strömning kallas även konvektion.

Överföring av värme genom strömning spelar stor roll för brandspridning. Ungefär 70 % av energin som utvecklas vid en brand överförs vidare som strömningsvärme. Varma gaser som produceras vid förbränning strömmar uppåt och blandas med kallare luft från omgivningen. Den kalla luften värms upp och följer med i strömmen.

STRÅLNING

Vid en brand i ett rum samlas varma rökgaser under taket. Värmen från gaserna och det uppvärmda taket överförs genom strålning tillbaka till rummets nedre del. Förflyttningen av värmeenergin sker utan media, direkt från varma ytor genom elektromagnetiska vågor. Vissa våglängder är synliga, andra inte. Det osynliga området som tabellen visar, ligger mellan ultraviolett strålning (korta vågor) och infraröd strålning (något längre vågor). Värmestrålning omfattar ett mycket smalt område inom det elektromagnetiska spektrat. Värmevågor ligger mellan våglängder 0,1 μ m (10^{-7} m) och ca 100 μ m (10^{-4} m).



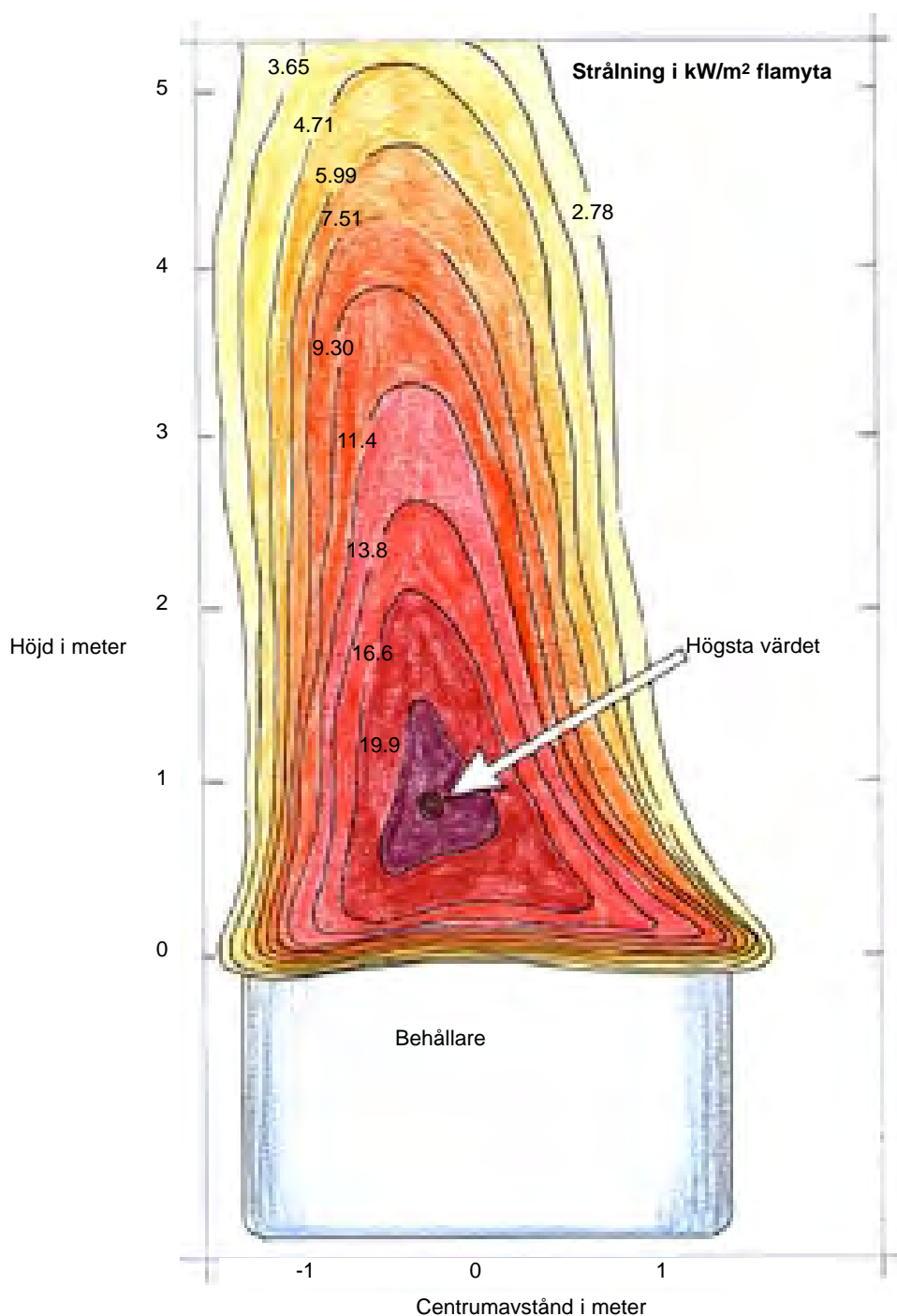
VÅGLÄNGD λ m	FREKVENNS ϕ Hz	BENÄMNING
10^7	3×10	Kraftledningsvågor
10^6		
10^5	3×10^3	Radiovågor
10^4		
$10^3 = 1 \text{ km}$		
10^2	$3 \times 10^6 = 3 \text{ M Hz}$	MV
10		KV
1		TV, FM-Radio, UKV
10^{-1}	$3 \times 10^9 = 3 \text{ G Hz}$	
10^{-2}		Radar
10^{-3}		Mikrovågor
10^{-4}	$3 \times 10^{12} = 3 \text{ t Hz}$	Infraröd strålning (IR)
10^{-5}		IR
$10^{-6} = 1 \text{ m}$		IR
$7,7-3,7 \times 10^{-7}$	$3,8-8,1 \times 10^{14}$	Synlig strålning, rött, gult, grönt, blått, violett
10^{-7}	3×10^{15}	Ultraviolett strålning (UV)
10^{-8}		UV, röntgenstrålning
$10^{-9} = 1 \text{ nm}$		Hård röntgenstrålning
$10^{-10} = 1 \text{ Å}$	3×10^{16}	
10^{-11}		Radioaktiv strålning
10^{-12}		
10^{-13}	3×10^{21}	
10^{-14}		Kosmisk strålning

Den elektromagnetiska strålningen där värme upptar endast ett smalt område

En flamma är egentligen en varm massa med en yta varifrån värme strålar utåt. Ju kraftigare flamma desto mera strålningsvärme kommer från den. Med kraftig menar vi att flammen innehåller en stor mängd sotpartiklar och vattenånga. Det är från dessa värmen förs vidare genom strålning. Flammor från t ex brinnande alkohol är tunna, nästan osynliga. De innehåller få sotpartiklar och avger därför lite strålningsvärme.

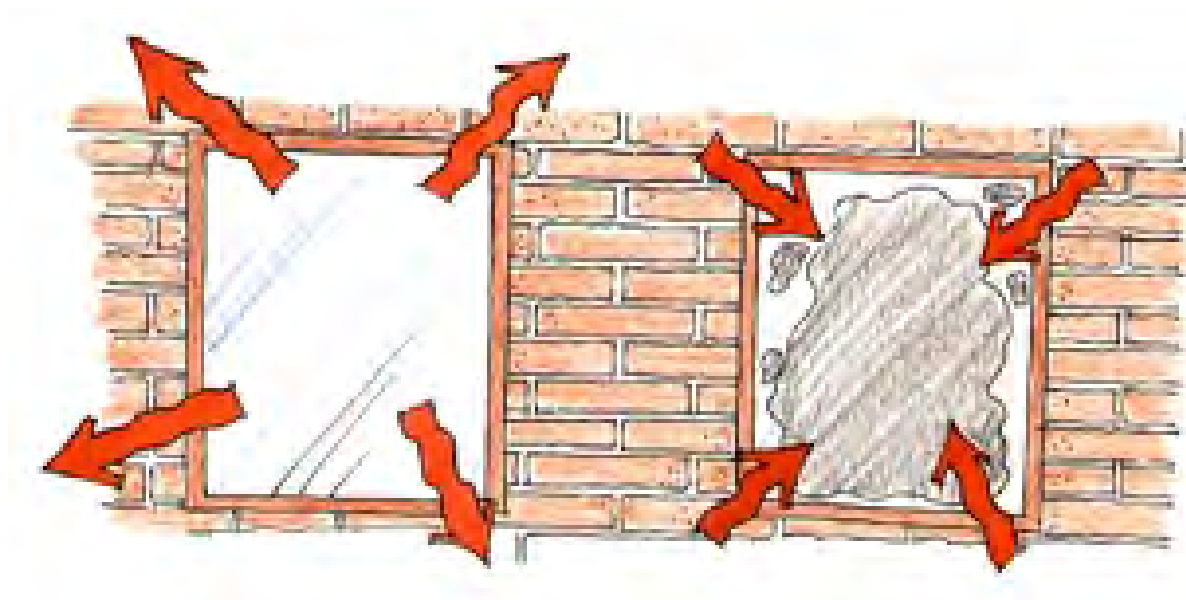
Bilden visar strålningsvärme från en brand i fotogen och kommer från japanska fullskaleförsök från år 1992 där strålningsvärme mättes med en höghastighetsvärmekamera. Ca 20 kW värme per kvadratmeter av flamytan strålar maximalt ut från en sådan brand.

När en stråle av värmeenergi når en yta, sker en uppdelning av energin. En del reflekteras, en del absorberas och en del transmitteras (släpps igenom). Alla delarna tillsammans är alltid lika stora som den ursprungliga energin.



Brand i fotogen. Strålningsvärme från flamman

Från strålningskällan sprids värmen i alla riktningar. Ju längre bort från värmekällan desto mindre påverkar strålningsvärmen människor och föremål. Det betyder att mot en punkt eller en yta längre bort från t ex flammen faller endast en begränsad mängd värme. Tänk dig att strålningskällan utgörs av en punkt mitt i ett klot. Klotets yta bestrålas inifrån och klotets radie är avståndet från strålningskällan. Eftersom klotets inre yta ökar med kvadraten på avståndet, minskar den infallande strålningsvärmen på handflatan kraftigt med avståndet. Energin som kommer från strålningskällan blir mycket mindre när den fördelas på varje ytenhet av klotets inre yta. Den infallande strålningsvärmen är en bråkdel av den totala utstrålade värmen.



Olika material tar emot olika mycket värmestrålning. Genomskinliga material som glas eller luft släpper igenom nästan all värmestrålning och utgör därför inte något skydd. En svart igensotad fönsterruta absorberar nästan all värmestrålning. Mycket lite av värmen släpps igenom och lika lite reflekteras tillbaka. Det betyder att fönsterrutan värms upp i stället. Det uppstår spänningar i glaset och fönsterrutan spricker lätt. Mörka och skrovliga ytor tar upp värmestrålningen mer än ljusa och blanka gör. Blankpolerade metallytor reflekterar större delen av värmestrålningen.

Från en flamma, där värmen mer eller mindre uppstår genom kemiska oxidationsreaktioner, förs värme vidare på alla tre transportsätten. Till omgivande luft överväger strömning och strålning. Till en vägg eller annat fast föremål överförs värmen på alla tre sätten fast i olika mängder.

Termiska egenskaper

För att kunna förstå skeenden vid en förbränning respektive en brand måste du känna till de egenskaper och de termer (benämningar) och grunddefinitioner av dessa egenskaper som tillämpas inom brandfysiken.

Bland de viktigaste är:

- ◆ förbränningsvärme/värmemängd
- ◆ förångningsvärme/ångbildningsvärme
- ◆ förbränningsvärde
- ◆ förbränningshastighet/intensitet
- ◆ antändningstemperatur (vid påtvingad antändning, vid självantändning)
- ◆ smältvärde
- ◆ flampunkt
- ◆ ångtryck
- ◆ kokpunkt
- ◆ specifik värmekapacitet
- ◆ värmeledningsförmåga
- ◆ värmeupptagningsförmåga/termisk tröghet
- ◆ frigiven värmeeffekt

FÖRBRÄNNINGSVÄRME

Förbränningsvärme är den värmemängd som kan frigöras från ett brinnande föremål av ett visst material under så kallade idealiska förhållanden vid en komplett oxidation (syresättning).

Vi kan säga att förbränning är en total förvandling av ämnet till koldioxid och vatten. Vid förvandlingen frigörs en viss mängd värmeenergi och energinnehållet i det som brinner minskar. Denna ändring i energinnehållet (entalpin) ger ett värde på förbränningsvärme.

Mängden frigiven värmeenergi uttrycks som J/kg. Den är endast beroende av vilka atomer ämnets molekyler är sammansatta av och hur de är ordnade i själva molekylen. Därför avger varje grundämne eller sammansatt material en bestämd mängd förbränningsvärme.

Oljor och fetter avger ca 40 kJ per varje gram material som förbränns under idealiska förhållanden. Vanligt trä t ex furuträ kan avge ca 19 kJ/g trämaterial. Plaster kan utveckla lika mycket värme som trä eller lika mycket som eldningsolja beroende på vilken plast det är och hur den är behandlad med tillsatser.

Uppgifter om förbränningsvärme för olika grundämnena och sammansatta material finns i tabeller och används bl a för att beräkna brandbelastning. Men brandbelastningen beskriver inte de brandrisker som kan uppstå när material brinner under verkliga omständigheter. Dessa risker är mer beroende av den frigivna värmeeffekten än av storleken på brandbelastningen.

FÖRÅNGNINGSVÄRME

Förångningsvärme är den värmemängd som behöver tillföras ett medium, t ex en brännbar vätska, för att det ska kunna förvandlas från vätskefas till gasfas.

FÖRBRÄNNINGSVÄRDE

Sätter du förbränningsvärme i relation till förångningsvärme får du förbränningsvärdet. Det anger hur många gånger den utvecklade värmemängden är större än den värme som förbrukas för att förånga/förgasa ett visst material. Det ger en viss uppfattning om utvecklad nettovärme.

Trä utvecklar i allmänhet tre gånger mer värme än det förbrukar för att förgasas. Förbränningsvärdet för trämaterial är således 3. En brännbar vätska t ex heptan har förbränningsvärdet 90. Det betyder att heptanet avger, när det förbränns, 90 gånger mer värme än det förbrukar för att förvandlas till gas. Förbränningsvärdet kan tjäna som riktvärde vid bedömningar av brandfarlighet, speciellt om man vill jämföra olika material.

FÖRBRÄNNINGSHASTIGHET

Förbränningshastigheten (intensiteten) är inte specifik för varje material, utan beror mera på vilka omständigheter som råder vid förbränningen. Hastigheten kan vi uppskatta någorlunda om vi vet hur situationen för en eventuell brand ser ut, d v s vilket brandscenario som kan förutsättas. Vi kan genom försök bestämma förbränningshastigheten under vissa bestämda förhållanden. Bensin förbränns t ex med en hastighet av 55 g/m²s. Trämateriäl i enstaka plankor eller i massivt trä har en förbränningshastighet på 14 g/m²s, eller ca 1 mm på djupet per minut.

En stapel av träpallar däremot brinner med större intensitet ju högre den är. Förbränningshastigheten för en 1 m hög stapel är ca 200 g/m²s. En 2,5 m hög pallstapel brinner dubbelt så snabbt (ca 400 g/m²s). Detta gäller även för andra varor och material staplade på höjden. Men hastigheten i siffror är beroende av materialet och hur varorna är placerade i t ex höglager. Dessutom varierar förbränningshastigheten under loppet av en brand.

Antändningstemperatur både vid påtvingad antändning och självantändning, smältvärme, smältpunkt, flampunkt, ångtryck och kokpunkt förklaras i andra sammanhang i denna bok.

SPECIFIK VÄRMEKAPACITET

Specifik värmekapacitet (betecknas som c och anges i J/kg °C eller J/kgK) har att göra med materialets/mediets förmåga att ta till sig energi i form av värme så att dess temperatur förändras. 1 kJ värmeenergi behövs för att värma upp 1 kg luft en grad celsius (från 20 °C till 21 °C).

Specifik värmekapacitet för luft vid 20 °C är 1 kJ/kg °C

För att åstadkomma samma effekt hos betong, d v s värma upp 1 kg betong en grad celsius, behövs vid 20 °C lite mindre energi, 0,8 kJ. Specifik värmekapacitet för betong vid 20 °C är således 0,8 kJ/kg °C. För trä är siffrorna 2,5 (mer än för att värma upp luft) och för vatten 4,2, vilket är högre än både betong, luft och trä. Det är just vattnets höga specifika värmekapacitet som utnyttjas när vi släcker bränder.



Hos de flesta material minskar förmågan att ta upp värmeenergi ju varmare materialet blir. Det betyder att specifik värmekapacitet ökar med ökad temperatur. För att förändra temperaturen en grad celsius hos 1 kg betong som redan är 600 °C varm, behövs det ca 1,4 kJ jämfört med de 0,8 kJ som går åt vid 20 °C.

VÄRMEUPPTAGNINGSFÖRMÅGA

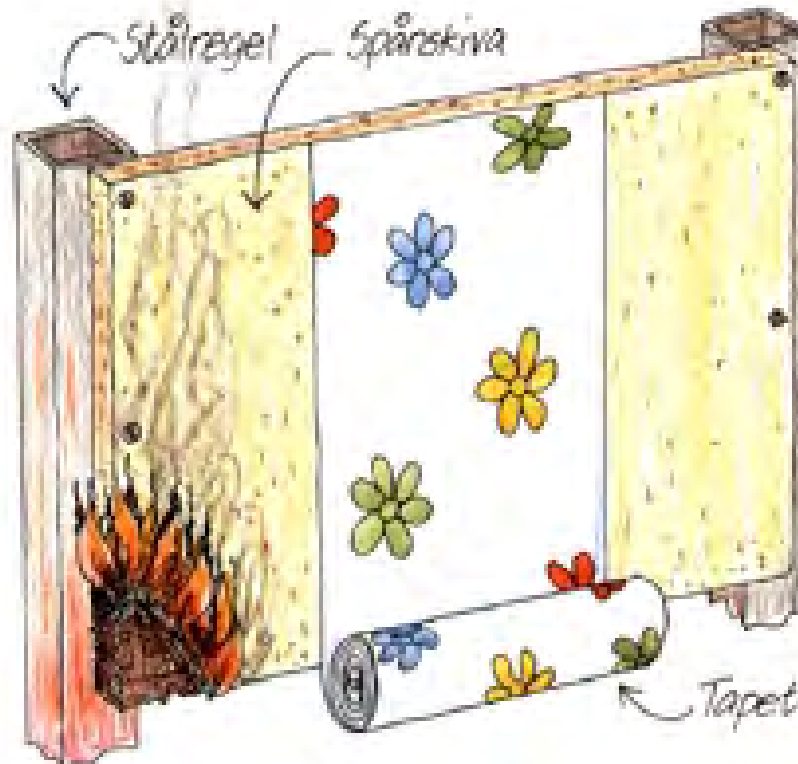
Materialens förmåga att ta upp värme inverkar i flera skeenden vid en brand. Omgivande konstruktioners påverkan och/eller deltagande i branden avgörs av bl a ytmaterialets förmåga (i tid) att ta upp värme. Denna förmåga kallas för värmeupptagningsförmåga eller termisk tröghet. Den består av följande tre egenskaper:

- ◆ värmeledningsförmåga, λ eller k
- ◆ densitet, ρ (rå)
- ◆ specifik värmekapacitet, c

Beteckningen för värmeupptagningsförmåga blir $k\rho c$ (läs kå-rå-ce).

Olika ytmaterial värms olika snabbt upp till användningstemperatur. Tänk dig en väggkonstruktion med spånskiva mot rummet. Mitt i väggen bakom

tapeten finns en stålpelare. Vad händer vid en brand i rummet? Spånskivans specifika värmekapacitet är högre än stålets. Då borde stålpelaren värmas upp mycket snabbare än spånskivan. Men det gör den inte. Stålpelaren förblir ganska länge kall. Däremot värms spånskivan snabbt upp till sin antändningstemperatur och deltar eventuellt i branden. Stålpelaren fortsätter att värmas upp och leda bort värmen. 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 för stålet är högre än för spånskivan. De tre egenskaperna multiplicerade med varandra (= $k\rho c$), ger betydligt högre värde för stålpelare än för spånskiva.

Ju högre värmeupptagningsförmåga, desto längre tid för uppvärmning av ytan.

Ytmaterial med låg värmeupptagningsförmåga värms upp snabbt. Metaller har i allmänhet högre värmeupptagningsförmåga än trämaterial eller isoleringsmaterial.

VÄRMEEFFEKT

När bränslet vid en förbränning under icke idealiska förhållanden reagerar med syre från luften, sker en mängd kemiska reaktioner. Vid dessa reaktioner utvecklas en viss mängd värmeenergi. Även människor och elektriska apparater avger värme.

Den mängd värmeenergi som frigörs under ett tidsintervall, t ex en sekund, kallas för värmeeffekt och uttrycks i J/s (joule per sekund) eller W (watt).

Således är $1 \text{ kW} = 1 \text{ kJ/s}$. Om det utvecklas en värmeeffekt på 100 kW från en brinnande papperskorg, betyder det att det varje sekund avgår en värmemängd motsvarande 100 kJ från det material som brinner. Detta gäller vid all värmeavgivning, även från t ex människokroppar eller glödlampor.

Under senare år har den frigivna värmeeffekten från brand fått betydelse och börjat användas för att bl a bedöma benägenhet till övertändning i rum som innehåller olika material eller produkter. De flesta moderna beräkningsmetoderna för t ex rökfyllnad, brandventilation m m bygger på uppgifter om den frigivna värmeeffekten.

Storleken på värmeeffekten visar tydligt hur mycket värmeenergi som per tidsenhet frigörs vid förbränning under verkliga förhållanden. Hopvikt tidningspapper som är antänt i nederkanten har värmeeffekten 4000 W (se tabellen på nästa sida) medan samma tidningspapper i hopskrynklad form och antänt upptill har värmeeffekten 7400 W .



Följande sammanställning ger en översikt över frigiven värmeeffekt från de vanligaste antändningskällorna och den tid dessa brinner med flamma.

MATERIAL/PRODUKT	VÄRMEEFFEKT W (WATT)	FLAMFÖRBRÄNNINGSTID I SEKUNDER
Cigarett ca 1 g	5	1 200
Metatablett 0,15 g	45	90
Tändsticka	80	20-30
Skrynklad lunchpåse 6 g	1 200	80
Hårt skrynklad vaxat lunchpapper 4,5 g	1 800	25
Löst skrynklad vaxat lunchpapper 4,5 g	5 300	20
Hopvikt tidningspapper ca 20 g; antänt nere	4 000	100
Skrynklad tidningspapper ca 20 g; antänt uppe	7 400	100
Skrynklad tidningspapper ca 20 g; antänt nere	17 000	20
Papperskorg av polyeten ca 300 g fylld med 12 mjölkkartonger ca 400 g	50 000	200

Tabellen visar att materialets beskaffenhet och antändningsstället har betydelse för den utvecklade värmeeffekten. Även materialets placering i rummet har stor betydelse för utveckling av branden. Staplade lagervaror på höjd i sköglager eller träpallar i ett pallager brinner mycket intensivt och utvecklar mycket värme (se även Förbränningshastighet).

Den frigivna värmeeffekten är inte konstant utan varierar under ett brandförlopp. Den är liten från början då branden i materialet startar och växer efterhand. Efter en viss tid uppnår den sitt maximum, d v s det högsta värdet vid just den branden. Detta värde uppnås ofta efter endast någon minut. När en fåtölj brinner utvecklas som mest ca 350 kW (350 000 W).



För en soffa gäller värden mellan 800 kW och 2000 kW beroende på material i stoppning och tyg. Från en bäddad säng frigörs ca 500 kW och från en hel soffgrupp ca 8000 kW.

Värmepåverkan

Den värmeenergi respektive värmeeffekt som utvecklas vid en brand påverkar först och främst den fortsatta förbränningen men även annat i brandens närmaste omgivning. Av intresse är värmepåverkan på

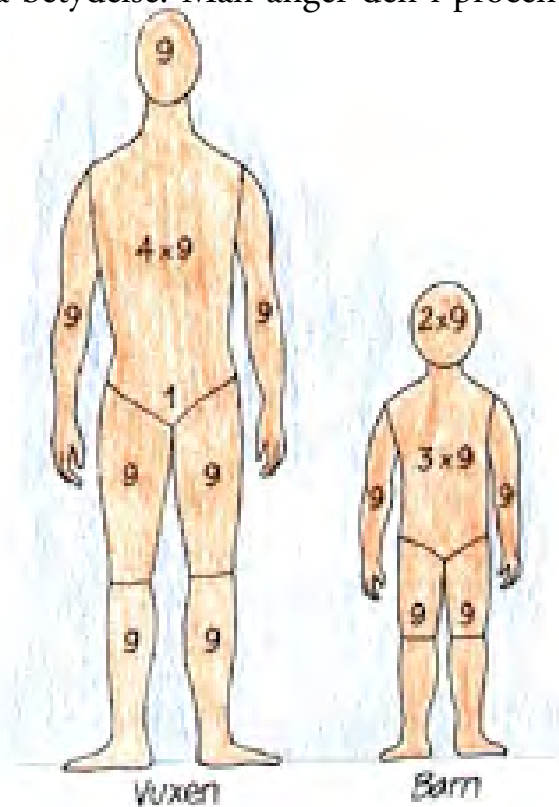
- ◆ människor
- ◆ konstruktionsmaterial
- ◆ andra föremål i närheten av branden
- ◆ explosiva varor

MÄNNISKOR

Mest påtagligt är värme som påverkar huden. Ca 1 kW/m² infallande strålning är maximum för vad huden tål. Antändning av kläder uppges i flera undersökningar ha orsakat de allvarligaste brännskadorna.

Ytliga delhudsbrännskador är lindrigast. Djup delhudsbrännskada kännetecknas av blåsor som kan brista. Fullhudsbrännskador är djupa skador som går ned genom hudens alla lager (brand i kläder ger i regel fullhudsbrännskador).

Brännskadans utbredning har också betydelse. Man anger den i procent av hela kroppsytan.



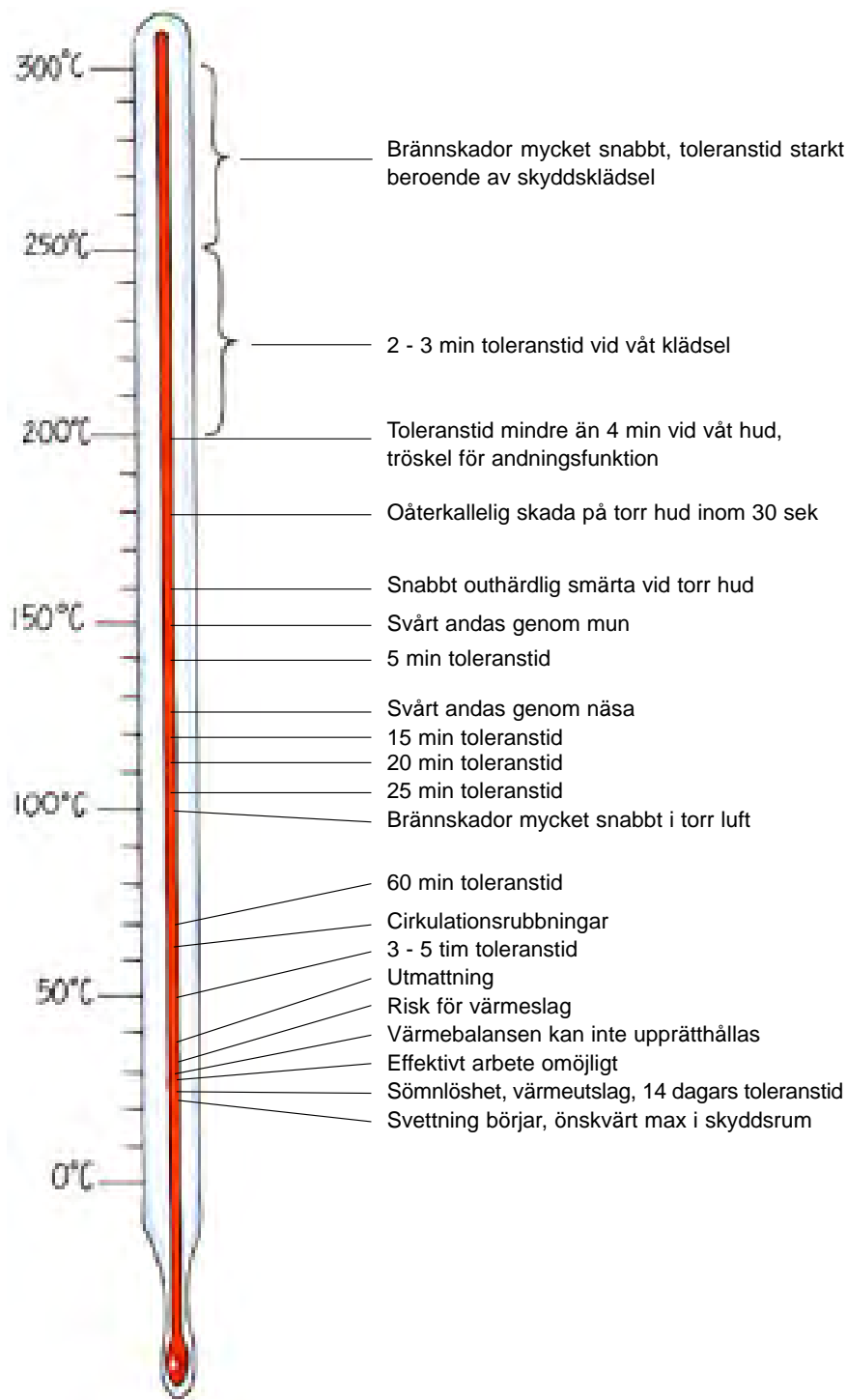
9% regeln. Utgångspunkten är personens hand som utgör 1% av kroppsytan. Procentfördelningen av kroppens olika delar (huvud, armar, bål, ben, underliv) är något olika för vuxna och barn.

Brännskador på över 50%, oavsett grad, är i allmänhet dödliga. Djupa delhudsbrännskador och fullhudsbrännskador medför livsfara om 10% eller mera av kroppsytan är bränd. Orsaken till att en brännskada blir livshotande är vätskeförlusten från blodet till de brända ytorna.

Det är inte bara värme som påverkar människan vid en brand. Även kolmonoxid, brist på syre i andningsluften, förekomst av rök och andra gaser påverkar, liksom panik, chocktillstånd eller yttre (mekanisk) påverkan.

Förmågan att motstå påverkan av värme varierar inte enbart med tid till exponering, fuktighet och skyddande klädsel, utan även med ålder och annan samtidig påfrestning.

Bilden här ger en viss uppfattning om kritiska värden för mänskliga reaktioner vid förhöjd temperatur.



Fysiologiska effekter av förhöjd temperatur

KONSTRUKTIONSMATERIAL

I de flesta fall minskar konstruktionsmaterialets hållfasthet av den värme som utvecklas vid en brand. Detta kan leda till lokalt ras eller till att hela byggnaden kollapsar.

Stålmaterial är mycket känsligt för värme. Vid 500 °C förlorar stålet ca hälften av sin hållfasthet (sträckgränsen). Vid 700 °C blir deformationerna så stora att hållfastheten blir i det närmaste obefintlig.

Lättmetallerna (bl a aluminium) förlorar sin hållfasthet redan vid 400 °C.

Betong har ungefär 75% av sin hållfasthet kvar vid 500 °C och vid 800 °C ca 25-50%.

Träkonstruktioner minskar i omfång genom förbränning och kolskiktstillväxt. Minskat tvärsnitt innebär minskad hållbarhet (en träbalk blir klenare och därmed svagare).

PLASTMATERIAL

Plastmaterial påverkas starkt av värme. Speciellt de sorter som ingår i gruppen termoplaster. De smälter vid ganska låga temperaturer (ca 110 °C). De kan efter lång tids påverkan t o m smälta redan vid 80 °C. Polyeten och polypropen hör till termoplaster. Värmen vid 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 deltar i branden som vätska med risk för ytterligare spridning.

En annan plastsort är hårdplaster. De smälter inte utan förkolnar precis som trä. Hårdplasternas nedbrytning på grund av värmepåverkan sker genom sönderdelning utan föregående mjukning. Brotthållfastheten sjunker till 50% av den ursprungliga vid 70 °C - 200 °C.

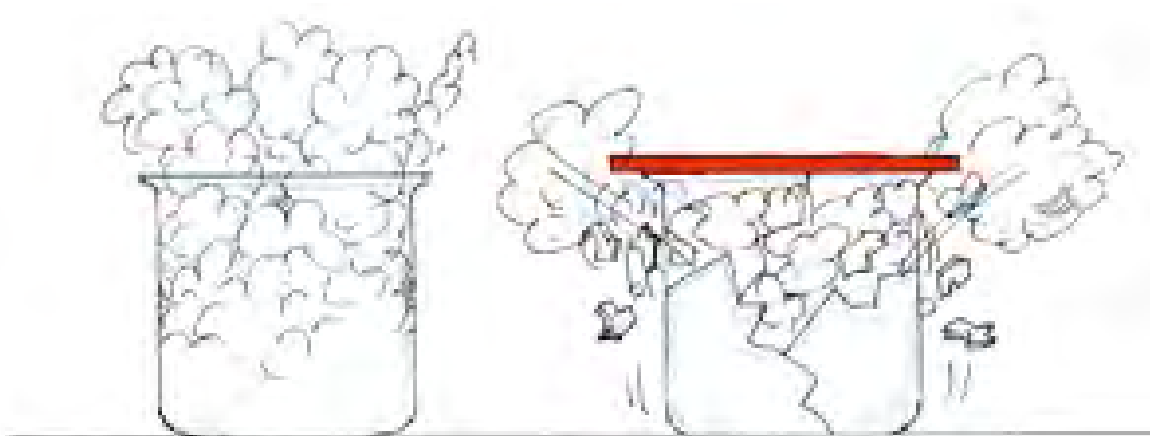


Termoplaster smälter vid 80 -110 graders värme, hårdplaster förkolnar precis som trä

UTVIDGNING OCH DEFORMATIONER

Förutom att föremål och konstruktioner av olika material förlorar sin hållfasthet, ändras även en del av deras andra egenskaper när de påverkas av värme. Många material utvidgas (längd och/eller volym). En glasruta av planglas med 1 meters längd utvidgas vid en temperaturhöjning av 100 °C ca 0,8 mm på längden och en meterlång stav av stål 1,4 mm. En stål balk om 10 m kan därför vid en temperaturhöjning på 500 °C förlängas ca 7 cm. I konstruktioner med inre spänningar där konstruktionen deformeras och förändrar sin form, är risken för kollaps påtaglig.

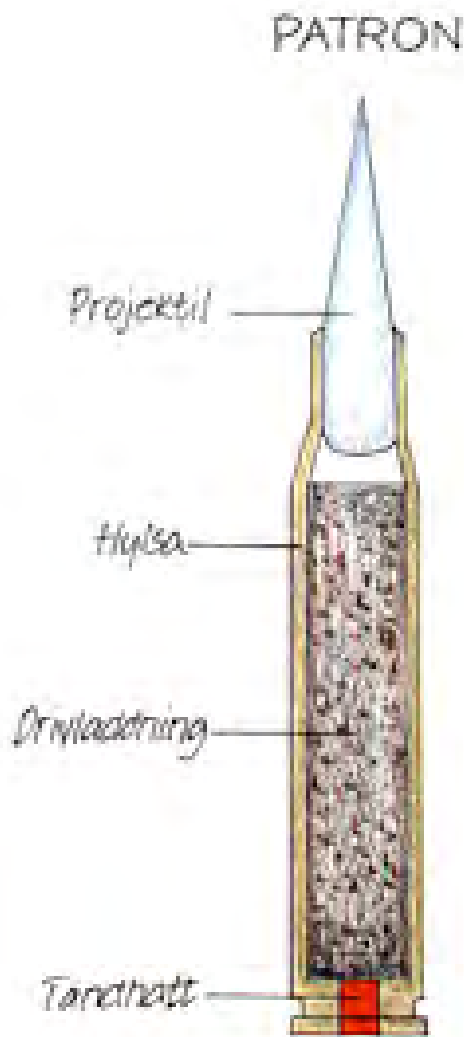
Flytande ämnen utvidgas mera än fasta ämnen. Bensin, fotogen och alkohol utvidgas en tusendel av sin volym för varje grads uppvärmning. Gaser utvidgas för varje grads uppvärmning med 1/273 av sin volym.



Värms en gasmassa så att temperaturen stiger 273 °C, fördubblas gasens volym. Upphettas en gas i ett slutet rum eller ett kärl där den inte kan utvidga sig, stiger trycket i motsvarande grad och kärlet kan sprängas.

EXPLOSIVA VAROR

Värmepåverkan på explosiva varor är av speciellt intresse eftersom de redan i sig innebär stora risker. Det finns explosiva varor som helt består av explosiva ämnen t ex sprängämnen och krut. Andra innehåller explosiva ämnen i olika mängder. Exempel på sådana är ammunition, tändmedel och pyrotekniska varor.



Explosionen är följden av en ytterligt snabb förbränning av explosivämnet som innehåller såväl bränsle som det nödvändiga syret. Sprängämnen är i allmänhet relativt känsliga för yttre påverkan. Känsligheten ökar med ökad temperatur. De vanligaste sprängämnena som dynamit och trotyl kan inte bringas att explodera genom antändning med flamma. Det kan däremot krut. Sprängladdad ammunition som t ex granater kan explodera samtidigt. I ammunition utan sprängladdning exploderar patronernas krutladdningar var för sig vid upphettning. Tändmedel som tändhattar, sprängkapslar, stubin och tändpatroner är mycket känsliga för antändning genom brand. Räkna med en samtidig explosion. Pyrotekniska varor, bl a fyrverkeripjäser eller ljus- och rökraketer ger i allmänhet liten sprängverkan. De är däremot lättantändliga och risken för giftiga brandgaser är ganska stor.



FÖRBRÄNNING

Värmetillförsel och växelverkan

Förbränning är ett både fysikaliskt och kemiskt fenomen som i sin tur är växelverkande. Växelverkan sker dessutom mellan bränslet och omgivningen.

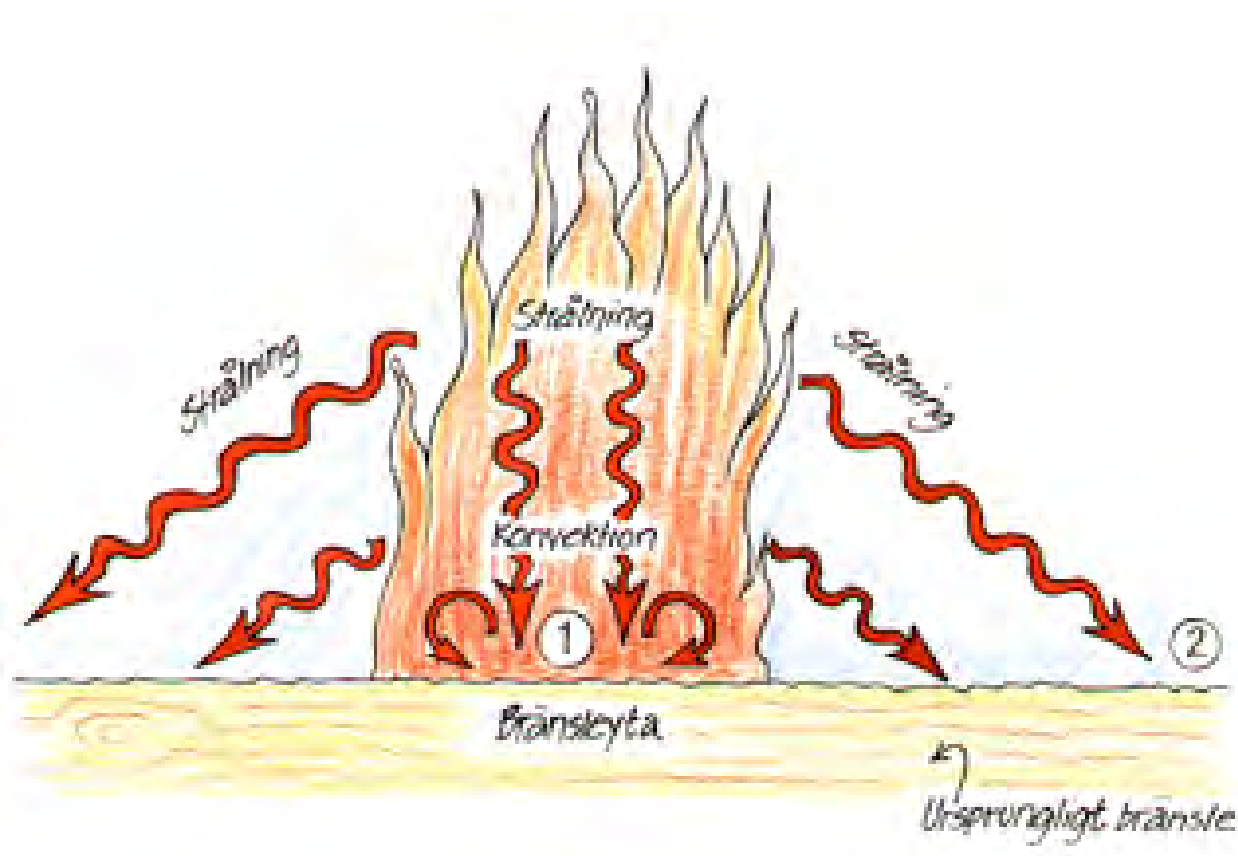
En förbränning blir möjlig när det finns en blandning av bränsle och syre i rätt proportion till varandra, en antändningskälla och en kontinuerlig uppvärmning av bränslet.

För att en förbränning ska kunna starta och så småningom bli självunderhållande är det därför nödvändigt med

- ◆ tillförsel av värmeenergi
- ◆ en blandning av bränsle och syre i viss proportion till varandra
- ◆ fri avgång av reaktionsprodukter (rök)

Initialvärmenergin kommer från antändningskällan. Vid den första antändningen tillförs värmen utifrån. Det kan ske genom att friktion uppstår mellan två speciella material (en tändsticka och en tändsticksask) d v s genom mekanisk energi. Men antändning kan ske även genom en glödande cigarett, en gnista från en elektrisk kortslutning eller från en glödande sotpartikel.

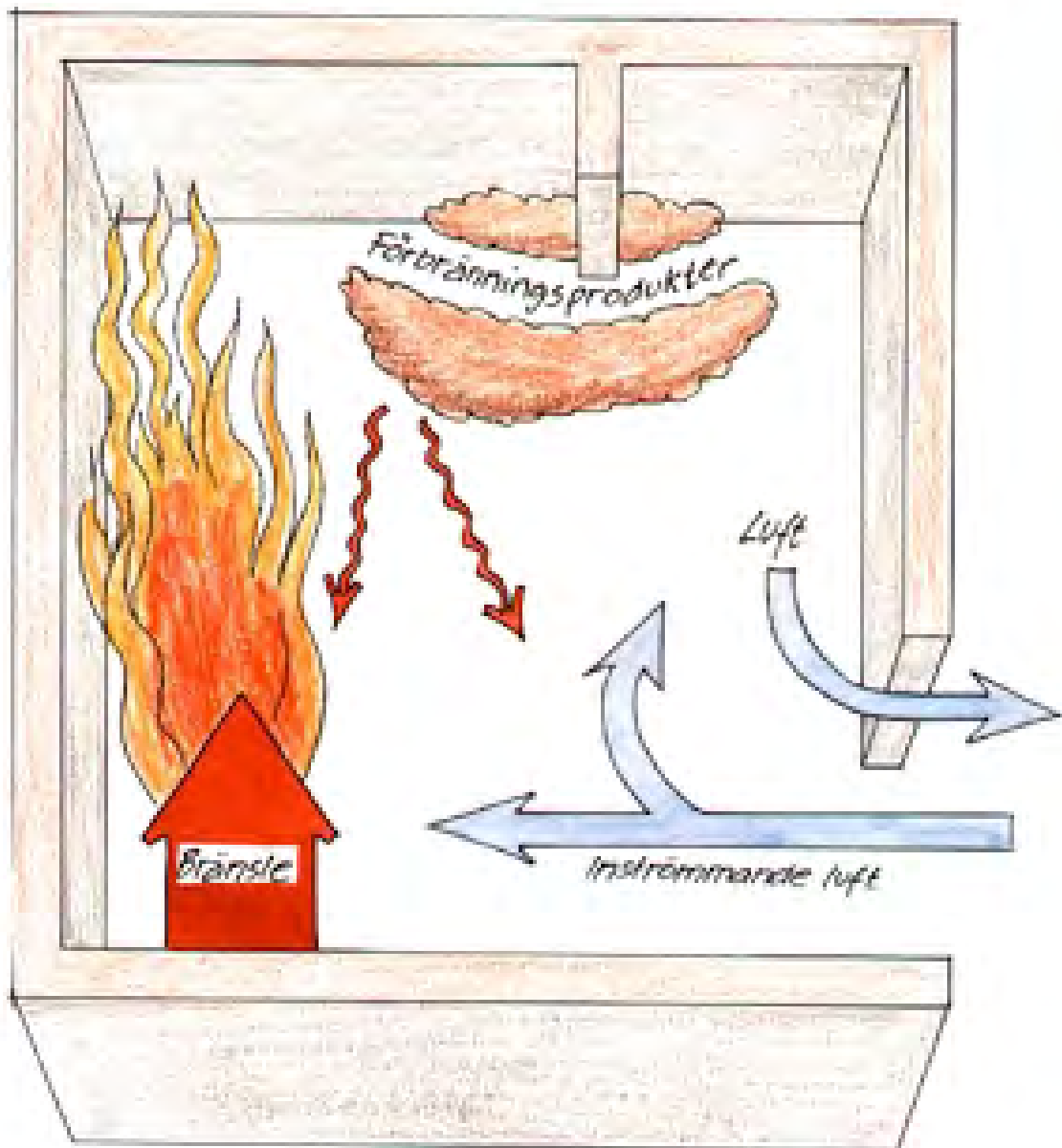
När en förbränning väl har startat, behövs det ytterligare värmeenergi för att processen ska kunna fortsätta och bli självunderhållande. Den värmeenergin kommer från själva förbränningen i form av dels värmeöverföring från flammen, dels återstrålning från uppvärmda ytor och varma förbränningsprodukter tillbaka till källan (se bild).



Värmeåterföring till bränsleytan

Strålningsenergin och konvektiv (genom strömning) del av värmeenergin återförs till bränsleytan (1 i bilden ovan) och orsakar att alltmer mängd bränsleångor frigges från den ursprungliga bränsleytan. Den strålningsvärme som faller mot det ursprungliga bränslet (2 i bilden ovan) förvärmare det ursprungliga bränslet. Detta underlättar sönderdelning av bränslet (pyrolys) och förångning.

I brandsammanhang tillförs värmeenergin både från flammen och från allt annat som är uppvärmt till högre temperatur än omgivningen. Bilden nedan visar hur växelverkan i värmeförseln principiellt fungerar vid en rumsbrand.



Växelverkan i värmeförseln vid en rumsbrand

Strålningsvärmens värmer upp den ursprungliga bränsleytan så att mera bränsle avlägsnas från den. Strålningsvärmens värmer även upp andra ytor som avger gaser. Gaserna förbränns, mera värme utvecklas, temperaturen i rökgaserna ökar, mer gaser avges från alla uppvärmda ytor. De avgivna gaserna värms upp av flammans värme och processen accelererar (tilltar). Denna växelverkan mellan branden och omgivningen är den egentliga drivkraften vid en brand.

Förbränningsprocess

KEMISK REAKTIONSPROCESS

Ordet process betyder att händelserna fortskrider på ett sådant sätt att de ursprungliga förutsättningar ändras.

Förbränning är en kemisk reaktionsprocess, en serie kemiska reaktioner, där det sker en syresättning (oxidation) av bränslet. Bränsle och oxidationsmedel (oftast syre från luften) kombineras med varandra, d v s reagerar med varandra. Då avges värme och ljus. Förbränning är alltså ett kemiskt fenomen åtföljd av fysikaliska effekter. Värmen är den energi som utvecklas vid den kemiska processen. Ljuset är den fysikaliska följden av att det ansamlas energi i bl a sotpartiklar.

Oxidationsmedlet behöver inte nödvändigtvis vara syre. Den kombinerade reaktionen väte med klor som följs av en ljuseffekt är också förbränning. I vardagslivet, och även här, säger vi att

förbränning är en sammanslutning av det aktuella ämnet med enkelt syre oftast hämtat från omgivande luft.

Vid sammanslutningen utvecklas värme samtidigt som det förbrukas värme. Hastigheten hos de kemiska reaktionerna är mycket beroende av gasblandningens sammansättning och temperatur. Blandningen måste ha en viss koncentration och en viss temperatur för att bli brännbar. Om bränslegas och oxidationsmedel är sammanblandade i en viss proportion till varandra före antändningen, räcker det att tillföra mycket lite energi för att förbränningsprocessen ska starta. Sådana förhållanden gäller i en förblandad gasblandning. Det är en blandning där bränslegas och syre är sammanblandade innan de reagerar med varandra, t ex i flamman från en acetylenbrännare.

I en naturlig flamma (diffusionsflamma) som t ex flamman från ett stearinljus eller en annan naturlig eld/brand, blandas bränslegas successivt med syre medan den tillförs flamman. Bränslegasen och syret från den omgivande luften tränger in i varandra och blandas med varandra (diffunderar). En diffusionsflamma uppstår. Förbränning sker sedan i bränsleansamlingens periferi

i ett skikt som kallas reaktionsskiktet. Diffusionsflamman får därför en annan struktur än en förblandad flamma. Förbränning i reaktionsskiktet är möjlig då blandningen uppnår koncentrationer inom vissa gränser, så kallade brännbarhetsgränser (se även under Diffusionsflamma).

BRÄNSLEN

All materia är uppbyggd av kemiska komponenter, vissa mycket enkla, andra mera komplexa. De flesta bränslen är mer eller mindre komplexa. Molekylsammansättningen hos ett bränsle är en kombination av atomer av kemiska ämnen i ett mycket definitivt förhållande och ordning. Atomen är den grundläggande byggstenen i ett ämnes uppbyggnad. Atomen är också ämnets minsta enhet som deltar i en kemisk reaktion.

En enkel atom av väte (H) kan inte brytas ned till mindre partiklar på kemisk väg. Det kan endast ske med fysikaliska metoder. Väteatomer kan i likhet med många andra atomer inte heller förekomma självständigt. Om atomer av andra ämnen finns i närheten, har väteatomerna en tendens att binda sig till dem och bilda sammansatta former. Därför deltar väte i förbränningen. Hos rent väte (hydrogen) tillfredsställs denna tendens genom att det bildas en molekyl bestående av två atomer väte, H₂. Vätgas bildas. En annan gas, syre (O₂), bildas också av molekyler bestående av två atomer och utgör ungefär 20% av luften. En förbränning är ett antal enstaka kemiska reaktioner med just syre, en serie oxidationer.

Om ett så ypperligt bränsle som väte förbränns, kombineras två molekyler bestående av två atomer väte med en molekyl bestående av två atomer syre till två molekyler vatten, kemiskt uttryckt som



Väte är en mer eller mindre konstant komponent i alla bränslen. Atomerna bildar molekyler som strävar efter att genom oxidation bilda vatten. Följden blir att vid en förbränning bildas ganska stora mängder vattenånga.

Eftersom vatten är en mycket stabil sammansättning jämfört med de gaser som den är sammansatt av, sker en reaktion där mycket värme avges, en värmeproducerande (exoterm) reaktion. Det är denna värme som är nödvändig

för fortsatt förbränning och som blir både kännbar och farlig vid en brand. Om gaserna (väte och syre) är sammanblandade innan de antänds, kan resultatet bli en våldsam explosion.

Ett annat grundämne kol (C = carbon), är av speciellt intresse i samband med förbränning. Även kol förekommer i nästan alla bränslen och bildar grunden för de flesta molekyler i organiska, brännbara material. Svart- och brunkol eller koks är industriella produkter som till större delen består av kol. De är inte lättantändliga, men de brinner med låg hastighet och avger mycket värme. Oxidation av kol skrivs så här



Koldioxid CO_2 produceras alltid när organiska material (innehåller kol) förbränns. Koldioxid förekommer vid nästan all förbränning. Även andra kemiska reaktioner förekommer. Vissa sker sekundärt (i andra hand). Om de sker primärt (i första hand), är de till största delen beroende av tillgången på syre. Ett exempel är följande reaktion av kol med syre:



Resultatet blir stabil kolmonoxid (koloxid i dagligt tal). Den betecknas CO och är en känd gas med kvävningseffekt. Den bildas alltid när tillgången på syre vid förbränningen är begränsad.

De tre reaktionerna som vi nämnt är grundläggande för slutliga förbränningsprodukter. De beskriver hur produkterna formas. De slutliga produkterna är till största delen vatten och koldioxid. Kolmonoxid bildas i lägre koncentrationer.

De flesta bränslen innehåller mest kol och väten och producerar därför inte andra förbränningsgaser än koldioxid och kolmonoxid. Undantag är svavel som förekommer som förorening i många råbränslen. När svavel oxiderar bildas svaveldioxid, SO_2 .

Många andra ämnen har hittats i förbränningsgaserna från olika typer av bränslen. De beror helt på vilka andra ämnen än kol och väte som respektive bränsle innehåller.

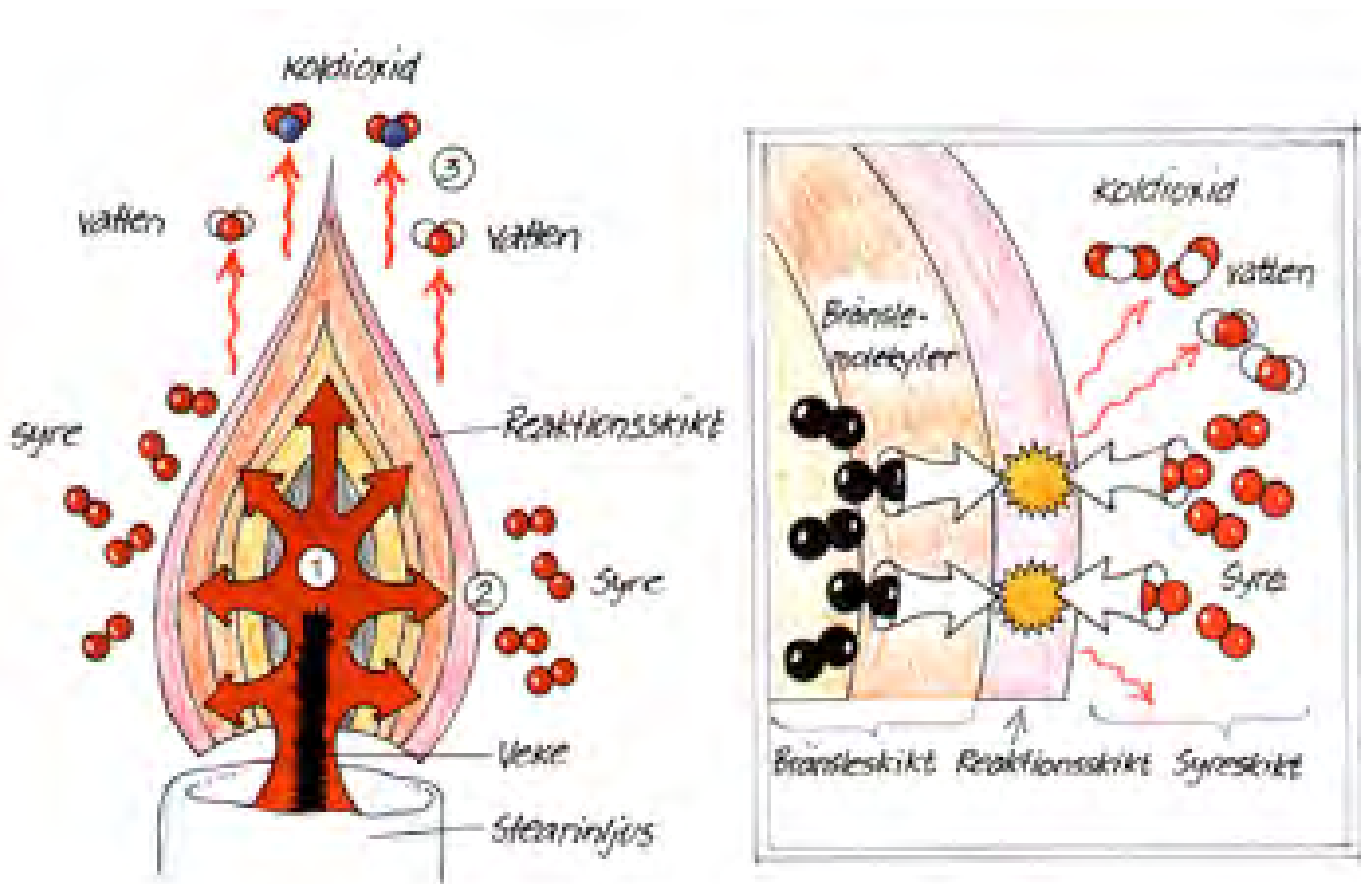
Ämnet kväve (nitrogen) N, "brinner" inte. Kvävet utvecklas nämligen inte

vid en värmeavgivande (exotermisk) reaktion. Det finns i förbränningsgaserna, inte beroende på bränslet, utan därför att det tas upp från luften. Luft innehåller till största delen kväve, upp till 80%.

Många bränslen som t ex trä innehåller en mängd icke organiska ämnen. De blir kvar efter förbränningen i form av aska.

DIFFUSIONSFLAMMA

Det enklaste exemplet på förbränning är en avskild (isolerad) flamma som förekommer då ett stearinljus brinner.



Strukturen på flaman hos ett stearinljus (t v). Detaljbild av reaktionsskiktet

Ett brinnande stearinljus kan förklara både grundläggande förbränningsprinciper och flammans struktur.

Bränslet utgörs av det flytande smälta stearinet i stearinljusets lilla pöl. Det sugts upp i vecken och förångas (1 på bilden). Värmen från stearinljusets flamma räcker för att smälta stearinet, men räcker inte till att förångas det. Stearinet måste därför förflyttas genom vecken till flamområdet, där det är varmare och där det kan förångas. Vekens storlek reglerar mängden. Det förångade bränslet samlas sedan kring vecken. I mitten av stearinljusets flamma (i den oftast mörka delen av flammen) bryts de komplexa kolväten som stearinet består av ner till enklare beståndsdelar. Gasen cirkulerar sedan i mittområdet innan den når förbränningszonen (reaktionsskiktet).

Bränslegasmolekylerna når ut till ytan av mittområdet dvs till reaktionsskiktet (2 på bilden). Där blandas de med syremolekyler från den omgivande luften. Det kallas diffusion och innebär att ett transportförlopp resulterar i en sammanblandning av två eller flera gaser eller vätskor. När de har fått en viss proportion till varandra och är tillräckligt varma för att antända, sker en exoterm kemisk reaktion. Då avges värme, vilket resulterar i en flamma. Gasblandningen förbränns. Den synliga lysande delen av flammen är värmestrålning från glödande sotpartiklar.

Vid oxidationen i reaktionszonen bildas koloxider (koldioxid och kolmonoxid), vatten och värme (3 på bilden). Koloxider och vatten, som har producerats i reaktionsskiktet, avges till omgivningen i form av ånga.

Den inre delen av flammen som är fylld med bränslegas, innehåller för lite syre för att förbränning ska kunna äga rum. Blandningens koncentration är för hög. Förbränning får vi bara i periferin där bränslegas och syre har diffunderat i varandra. Där i reaktionsskiktet är de sammanblandade i rätt proportion till varandra.

Alla naturliga flammor är egentligen diffusionsflammor. De är beroende av diffusionen. De utmärker sig genom att förbränningen sker med samma hastighet som bränslegas och syre från luften diffunderar i varandra.

En diffusionsflamma är resultat av en förbränningsprocess där bränslegas blandas med syre genom laminär och/eller turbulent inblandning. Då uppstår laminära eller turbulenta diffusionsflammor.

LAMINÄRA DIFFUSIONSFLAMMOR

Flamman från ett stearinljus är en typisk diffusionsflamma där bränslegas och syre från luften strömmar jämsides med varandra med ungefär samma, ganska låga hastighet. Sammanblandningen sker laminärt (jämsides) och förbränningen i reaktionsskiktet blir jämn. Om diffusionen sker långsamt, behöver syret och bränslet blandas under en längre sträcka för att kunna brinna. Förbränningen sker då högre upp i flammen och flammen blir längre. Detta är viktigt att veta för att förstå brandspridning i byggnader. En brännbar blandning av bränslegas och syre kan uppstå och antända långt ifrån den ursprungliga brandkällan.

TURBULENTA DIFFUSIONSFLAMMOR

Om hastigheten på den utströmmande 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. Strukturen hos en turbulent diffusionsflamma är inte symmetrisk. Den är beroende av gasblandningens sammansättning, som i sin tur är beroende av den beskrivna diffusionsprocessen. Turbulenta flammor karakteriseras av

- ◆ oregelbunden virvelrörelse
- ◆ snabb diffusion och snabb omflyttning av innehållet
- ◆ tunt och oregelbundet reaktionsskikt

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

DIREKT OCH INDIREKT OXIDATION

Oxidation av brännbara gaser, vätskor eller fasta material kan ske direkt eller indirekt efter förvandling till enklare beståndsdelar genom sönderdelning (pyrolys).

DIREKT OXIDATION

Vid direkt oxidation måste det som ska brinna först värmas upp till antändningstemperatur. Därefter oxiderar de olika beståndsdelarna, alla lika snabbt, under utveckling av värme.

Ta en brinnande tändsticka som närmar sig ett flöde av naturgas (till största delen metan) som exempel. Gasen antänds omedelbart. Vid en läcka på naturgasledningen sker detta på ett visst avstånd från ledningen. Förbränning sker bara om blandningen av metan och luft har en koncentration inom vissa gränser (brännbarhetsgränser), som är karakteristiska för just den gasblandningen. Det finns en nedre och en övre gräns för varje gasblandning, där blandningen har en brännbar sammansättning. Förbränningen startar när värmen från tändstickan på mycket kort tid hinner värma upp gasblandningen till antändningstemperaturen.

Flamman hos en brinnande gas fortplantar sig vidare i en blandning av två gaser, naturgas och syre. Naturgasen reagerar snabbt med syre, också det i gasform, vilket resulterar i flamförbränning. Flamman från en naturgasläcka är en diffusionsflamma.

En flamma är ett gasfasfenomen. Brännbara vätskor och fasta material måste därför omvandlas till gas innan de kan brinna med flamma. Oxidationen (förbränningen) fortsätter så länge gasen och luftens syre är blandade i koncentrationer som är brännbara och temperaturen på blandningen är minst lika hög som antändningstemperaturen.

INDIREKT OXIDATION

Vid förbränning av fasta material blir en jämn förbränning med flamma möjlig om en jämn ström bränslegas (pyrolysisprodukter) hela tiden avlägsnas från bränsleytan. I annat fall uppstår glödförbränning när materialytan i fast form reagerar direkt med syret i gasform (ytoxideration).

Förbränning i fasta material, t ex papper eller trä, är en oxidation efter pyrolysis. Papper och trä är komplicerade kemiska föreningar av kol, väte och syre i en blandning av organiska molekyler. Om de ska kunna brinna, måste molekylerna först brytas ner till gasformiga beståndsdelar. Under inverkan av värme produceras då enklare kemiska föreningar (flyktiga pyrolysisprodukter). De kan sedan förena sig med syre från luften. I en sådan oxidationsprocess sker parallellt 100-tals reaktioner varav de flesta är oxidationer.

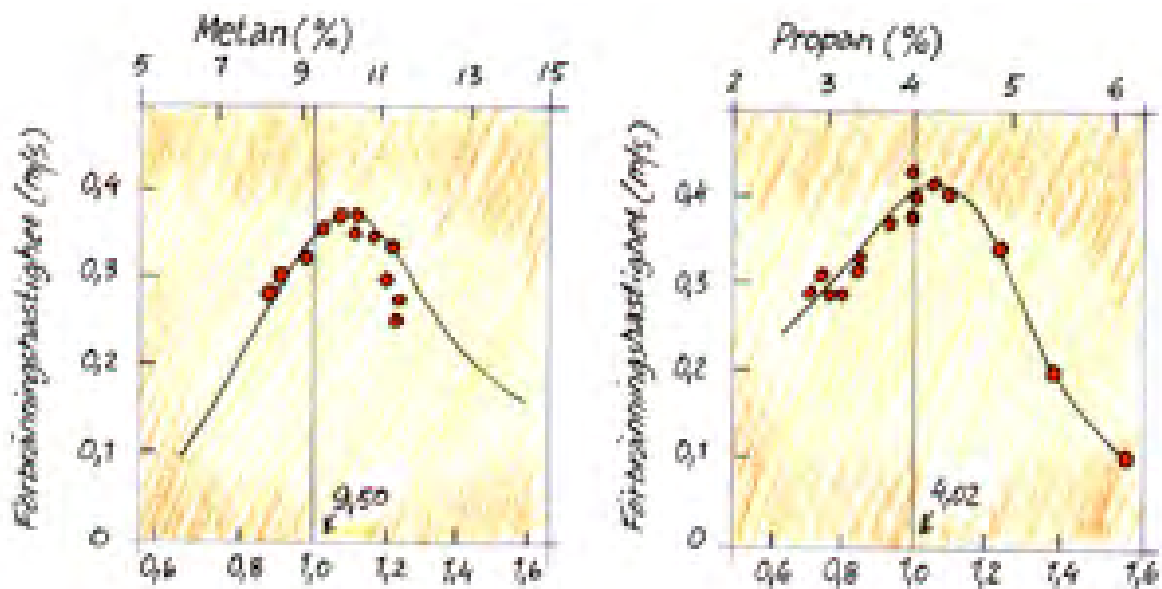
När värmen från en brinnande tändsticka påverkar en bit papper, bryter sig först kol, väte och syre bundna i komplicerade kemiska föreningar loss för att omvandlas till enklare molekylsammanslutningar. Pappret pyrolyserar. Vissa pyrolysisprodukter är då lättflyktiga och antänder tidigt i flamman från den brinnande tändstickan. Andra pyrolysisprodukter är mindre flyktiga (t ex kol), och antänds därför senare i den omslutande flamman. Många fasta material som innehåller kol förbränns på detta sätt.

BRÄNNBARHETSGRÄNSER

Gaser och ångor som metan, propan eller aceton är visserligen brännbara, men en blandning med luft kan bara brinna om bränslegasens koncentration (mängden gas i luften) ligger inom vissa gränser. De kallas brännbarhetsgränser eller brännbarhetsområden för den aktuella gasen eller ångan. De har en nedre och en övre gräns för varje gasblandning med brännbar sammansättning. För metan är den nedre gränsen 5% gas utspädd i luft, den övre gränsen 15% gas utspädd i luft. Andra exempel på brännbarhetsgränser är

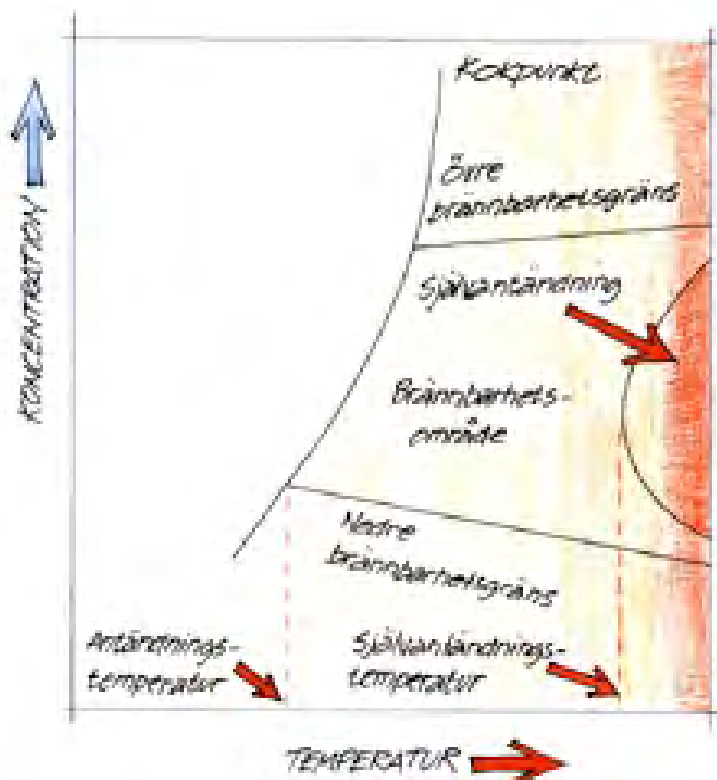
	BRÄNNBARHETSGRÄNS	
	NEDRE	ÖVRE
Kolmonoxid	12.5%	74%
Propan	2.1%	9.5%
Acetylen	2.5%	100%
Aceton	2.6%	13%

Nu är det inte så att ju mera bränslegas i blandning med luft det finns, desto lättare och snabbare förbränns blandningen. Hastigheten förändras efter ett visst mönster som är specifikt för varje gasblandning. Bilden visar hur det förhåller sig med reaktionshastigheten (förbränningstiden) för metan/luftblandning och propan/luftblandning.



Förbränningshastighet motsvarande reaktionshastighet för bränslegasblandningen metan/luft och propan/luft

De flesta gasblandningar beter sig som metan- eller propan/luftblandning. Hastigheten stiger med stigande koncentration tills en topp nås. Fortsätter koncentrationen att öka, ökar inte hastigheten utan visar en fallande kurva. När koncentrationen ligger utanför gränsvärdena är blandningen inte brännbar alls. Bilden visar att reaktionshastigheten för metan är störst vid 9,50%; för propan vid 4,02%. Vid dessa koncentrationer behövs det minst energi för att antända eller upprätthålla förbränning i gasblandningen.



Brännbarhetsområdet för en och samma gasblandning ökar med ökad temperatur på gasblandningen

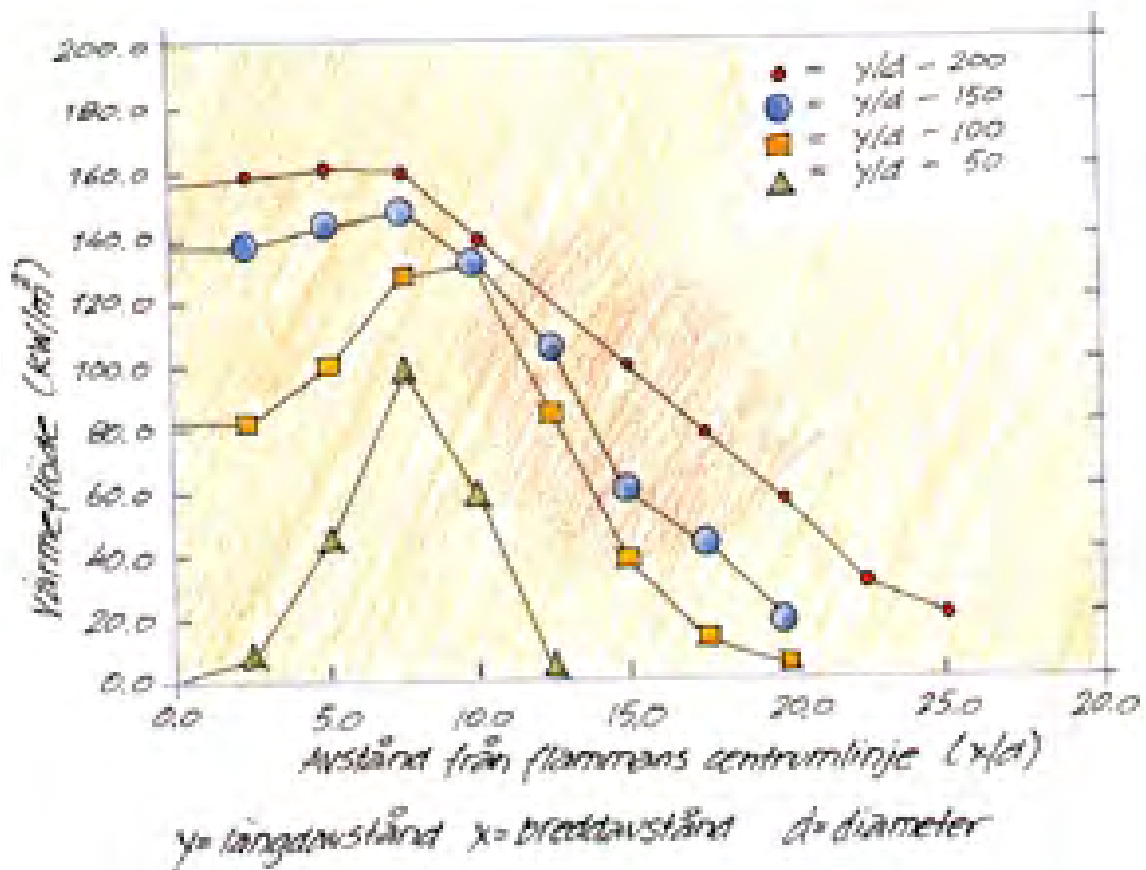
En blandning av bränsle och luft som inte är brännbar, kan plötsligt bli det om den värms upp (se bilden). Den nedre brännbarhetsgränsen sjunker nämligen med ökad temperatur. Mindre energi behöver tillföras blandningen för att den ska antända och brinna med flamma. Blandningen brinner då även vid lägre koncentration. Ju högre temperatur en gasblandning har, desto större blir brännbarhetsområdet. Detta gäller mer eller mindre generellt för alla gaser.

Även tryckförhållanden påverkar. Låga tryck har liten effekt på brännbarhetsgränserna, om trycket inte ligger under 75-100 mmHg (0,1 atm). Högre tryck (över atmosfärstrycket) flyttar övre brännbarhetsgränsen uppåt, medan nedre gränsen påverkas väldigt lite.

Brännbarhetsgränser för metan/luftblandning vid 1 atm (atmosfärtryck) är 5% respektive 15%. För samma blandning vid 200 atm är brännbarhetsgränserna 4% respektive 60%.

Flamman från en naturgasläcka demonstrerar brännbarhetsområden och brännbarhetsgränser i två riktningar. Om en ventil på naturgasledningen spricker, läcker gasen ut. Alldeles intill läckan syns inga flammor. Där sker ingen förbränning. Blandningen närmast läckan ligger nämligen utanför brännbarhetsområdet och temperaturen är låg, ca 120 °C. Förbränning sker på ett visst avstånd från läckan, ca en fjärdedel av hela flammans längd. Där har gasen och syret från luften hunnit diffundera i varandra till en koncentration inom brännbarhetsgränserna. Temperaturen ligger mellan 900 °C och 1300 °C. I slutet av flammen sjunker temperaturen igen och blandningen innehåller för lite bränsle och för mycket syre. Blandningens sammansättning befinner sig utanför dess brännbarhetsområde och förbränningen upphör.

I den andra riktningen, vinkelrät mot flammans centrumlinje, eller från flammans centrumlinje och utåt, är händelserna likartade. Närmast mitten är det för mycket bränsle i förhållande till syre, och temperaturen är låg. Där sker nästan ingen förbränning. I reaktionsskiktet är blandningsförhållandena ur brännbarhetssynpunkt optimala (bäst för förbränning). Där blir förbränningen mest intensiv och temperaturen hög. Utanför reaktionsskiktet är gaskoncentrationen lägre igen, förbränningsintensiteten minskar och temperaturen blir lägre. Bilden nedan visar hur värmeflödet i en propanflamma förändras på olika avstånd från flammans centrumlinje. Värmeflöde är ett mått på förbränningsintensiteten.



Värmefflöde på olika avstånd i propanflamma

I båda riktningarna är värmefflödet högst på ett visst avstånd från läckan respektive flammans centrumlinje. Där värmefflödet är högt sker en intensiv förbränning. På ett avstånd $y/d = 50$ (50 gånger flammans diameter), således ganska nära läckan, är värmefflödet i flammans centrumlinje lägst. På ett avstånd $y/d = 200$ (200 gånger flammans diameter) är värmefflödet högst. Variationen från flammans centrumlinje och utåt ser man, om man betraktar värmefflödet i bilden på olika avstånd från flammans centrumlinje, t ex för $x/d = 5$ och $x/d = 10$. Detta kan man göra för mindre eller större avstånd från läckan.

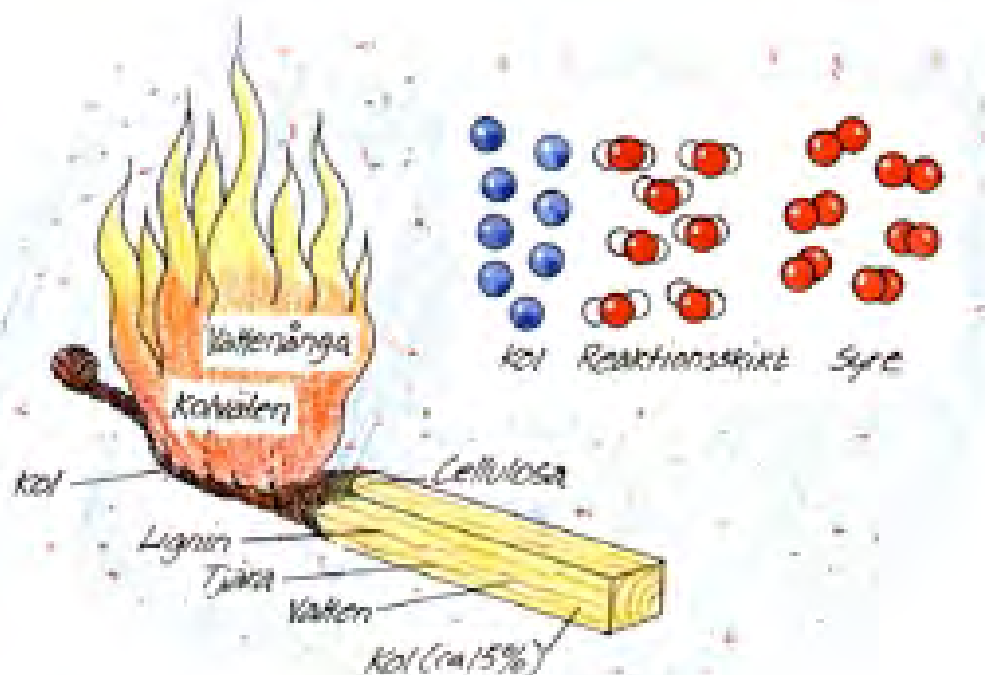
Omvandling till bränslegas

FÖRBRÄNNINGSFASER

En förbränning består av tre separata faser:

- ◆ omvandlingsfasen
- ◆ antändningsfasen
- ◆ förbränningsfasen

När vi tänder en tändsticka, som huvudsakligen består av cellulosa, lignin vatten och kol, utsätts trä materialet för värmepåverkan. Först avdunstar vatten från det fuktiga träet. Därefter omvandlas materialet till gas och gasmolekyler avlägsnas från det fasta materialet (ett gasmoln av bränslet bildas kring trä materialet). Det fasta trä materialet omvandlas till gas, de komplexa molekylerna i träet sönderdelas till enklare gasmolekyler. Pyrolysen inträder.



Förbränning av trä materialet i en tändsticka

I den första fasen (omvandlingsfasen) sker en omvandling till bränslegas, en sönderdelning (pyrolys) och förångning. Detta sker när värmen har tillförts utifrån.

Det kan förekomma en direkt oxidation (se **DIREKT OXIDATION**) men pyrolysen föregår ofta oxidationen vid en förbränningsprocess.

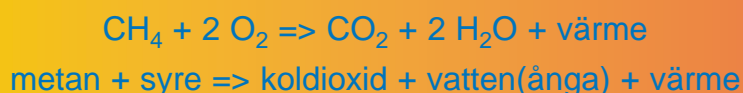
I den andra fasen (antändningsfasen) blandas bränslet med syre från luften i ett skikt runt träet. I reaktionsskiktet antänds gasblandningen. Kolatomer från bränslet reagerar med syreatomer, dvs oxiderar. Det är bara i reaktionsskiktet som förbränningen kan äga rum.

Nu är det värmeenergin från främst förbränningen som underhåller vidare sönderdelning av trämaterial och den tilltagande flamförbränningen (förbränningsfasen). Utöver värme bildas även vatten. Vattnet avgår i form av ånga under hela förbränningsprocessen. Den vita röken som man så ofta ser under ett brandförlopp är vattenånga. Vattnet kommer inte från trämaterial eller annat fuktigt material. Det är vatten som bildats av väte- och syreatomer vid förbränningen.

Flamförbränningen blir intensivare eller också avtar den, beroende på hur mycket bränsle som kan avlägsnas från träytan. Detta beror i sin tur på hur mycket värme som återförs från flamman tillbaka till träytan. Så småningom avtar förbränningen i alla fall, eftersom bränsletillförseln in i reaktionsskiktet minskar när träytan förkolnar och pyrolysen avtar. Reaktionsskiktet smalnar då betydligt. Det leder till att en mindre mängd värme återförs till bränsleytan. Då avlägsnas mindre bränslegas från bränsleytan och flamförbränningen minskar. Reaktionsskiktet flyttas på så sätt närmare och närmare bränsleytan och flamförbränningen som försiggår i gasform övergår till glödbland. Så småningom slocknar tändstickan.

VAD ÄR PYROLYS?

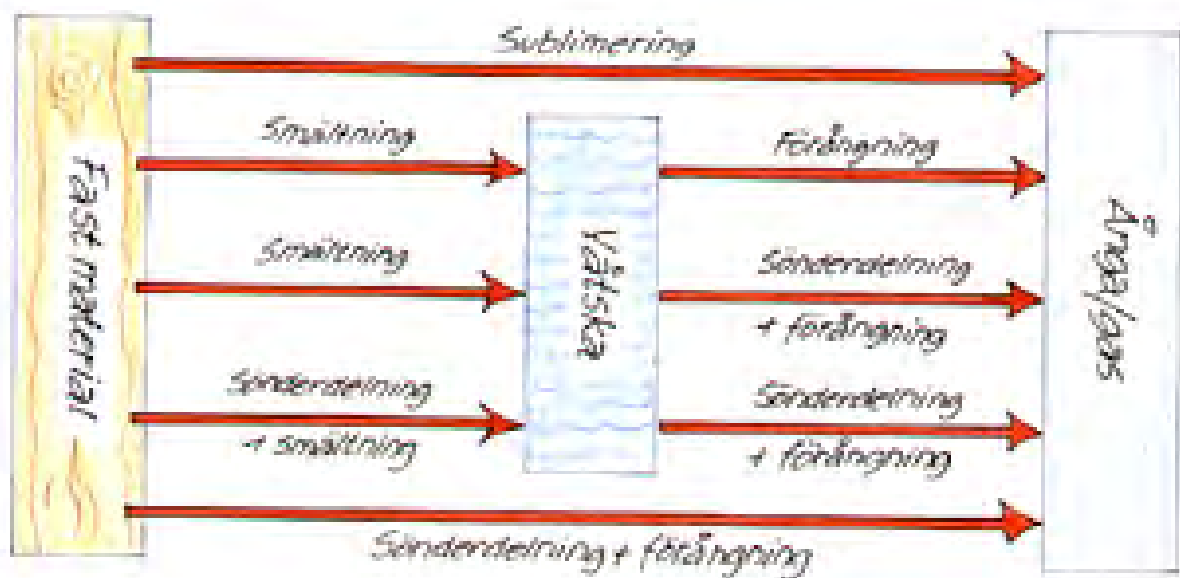
För naturgas, som är nästan ren metan, kan förbränningen beskrivas som en oxidation med följande kemiska formel:



När vätet som är bundet i bränslet övergår till vattenånga, produceras värme. Dock produceras det mindre värme än när rent väte förbränns. Det beror på att en del av den utvecklade värmeenergin går åt till att sönderdela bränslet. Sönderdelningen innebär att de kemiska bindningar som håller vätet bundet i komplexa bränslemolekyler bryts ner. En sådan process kallas för pyrolys.

Pyrolys är en kemisk sönderdelning eller annan kemisk omvandling från komplexa till enklare beståndsdelar, orsakad genom inverkan av värme utan hänsyn till temperatur.

Omvandlingen till bränslegas och gasens "flykt" från bränsleytan kan ske direkt från fast fas. Det kallas sublimering (vilket i det närmaste betyder avdunstning). Det kan också ske genom en kombinerad sönderdelning och förångning (se bilden nedan). Sönderdelningen innebär nedbrytning av de komplexa kolvätena till enklare beståndsdelar. Det kan också vara fast material som först smälter, dvs omvandlas till vätska, och sedan sönderdelas och förångas.



Omvandling till bränslegas

Vi ser på bilden att vätskor, under inverkan av värme, antingen enbart förångas eller både sönderdelas och förångas.

Flytande bränslen (bensin, fotogen, alkohol, terpentin m fl) är lättflyktiga även vid relativt låga temperaturer. Det betyder att de, när de värms upp, snabbt avger ångor som utan att sönderdelas lätt kan brinna.

Vid en brand i vätska sker normalt inte någon pyrolys, utan vätskan avger brännbara gaser direkt in i branden. Vätskan förångas. Vätskor som inte är speciellt flyktiga, pyrolyserar först på samma sätt som fasta material och förångas sedan. Så är det t ex när asfalt brinner.

På samma sätt finns det fasta material som vid uppvärmning övergår till vätskeform (smälter) och beter sig sedan som vätska, d v s avger ångor som är brännbara utan någon föregående pyrolys. Hit hör termoplaster. De utmärker sig just genom att mjukna och så småningom smälta när de kommer i kontakt med uppvärmd luft. 80 °C brukar anges som nedre gräns.

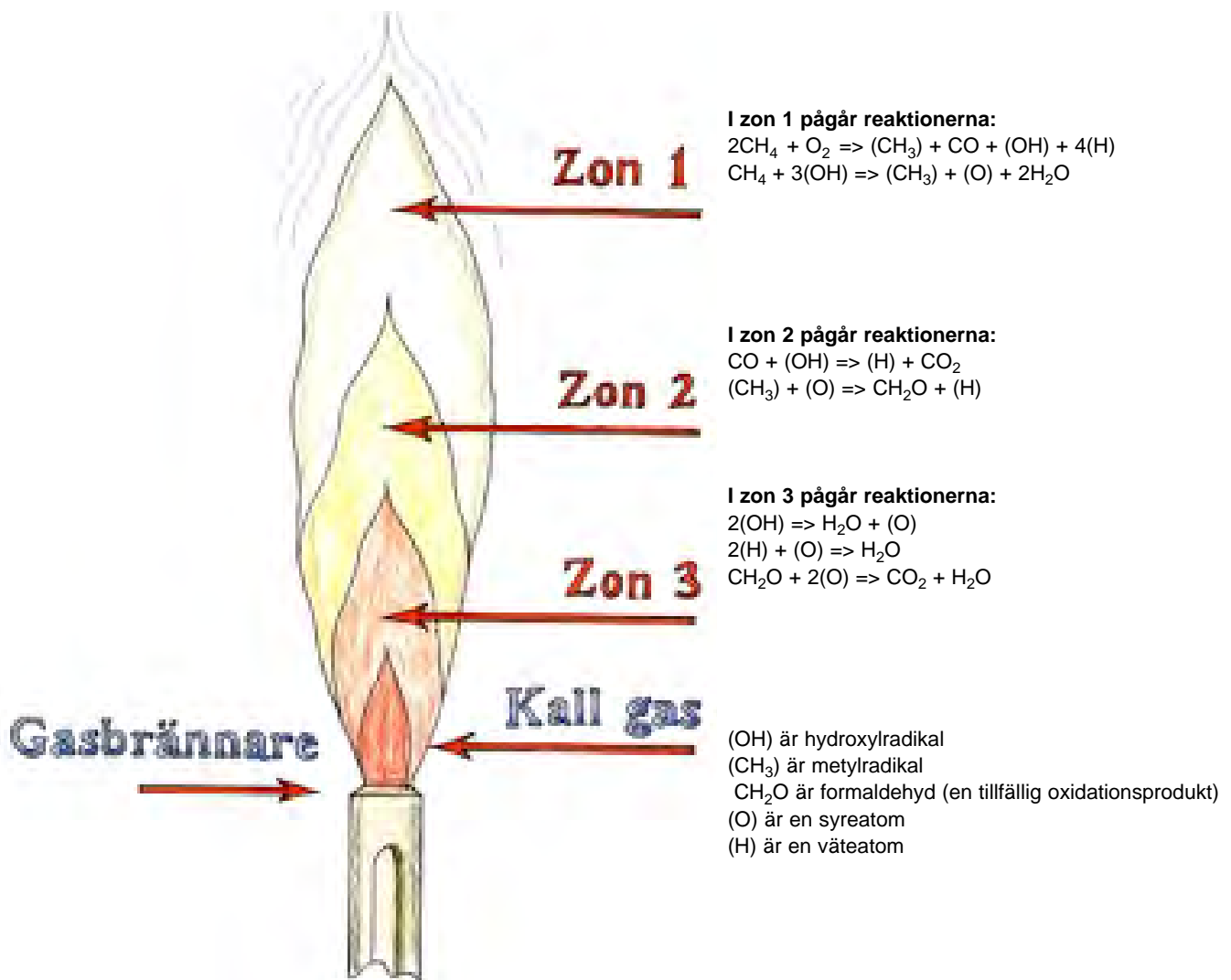
Olika träslag har olika svårighetsgrad för antändning. Eldningskol är svårare att antända än vilket träslag som helst. Det beror på bränslets förmåga att pyrolysera. Eldningskolet innehåller mycket kemiskt bundet kol med få bindningar. Pyrolysen blir då en väldigt liten del av antändningsmekanismen. Material som kol måste värmas upp till glödbrand, där förbränningen vid ytan (ytoxidationen) startar före en spontan antändning i gasblandningen.

FRIA RADIKALER

Pyrolysisprocessen innebär nedbrytning av kemiska bindningar. De svagaste bindningarna bryts ner först och bildar s k fria radikaler. De nybildade radikalerna är egentligen delar av molekyler med icke kopplade elektroner. Fria radikaler har förmågan att

- ◆ sönderdelas vidare till oladdade komponenter, enkla gaser som t ex väte, eller mindre radikaler
- ◆ kombineras med varandra till nya föreningar som inte ursprungligen fanns
- ◆ reagera med det ursprungliga ämnet.

Allt detta sker t ex i en balanserad flamma från en gasbrännare där metan och syre är förblandat. Bilden visar schematiskt omvandling av fria radikaler i en ”enkel” förblandad flamma. Där är bränslet, metan CH_4 , uppblandat med syre O_2 , redan innan det kommer till brännaren.



Reaktionszoner och omvandling av fria radikaler i flamman från en gasbrännare

Reaktionerna gäller för en stökiometrisk förbränning. Det innebär att bränsle och syre är i exakt rätta proportioner till varandra för att ge en fullständig och komplett oxidation utan några rester. Det är samma reaktionsprocess som i den tidigare beskrivna förbränningen av metan.

I de tre zonerna pågår olika reaktioner och fria radikaler bildas. Slutprodukterna blir dock identiska, koldioxid och vatten.

Fria radikaler har en förmåga att ingå i nya, mer stabila produkter. I de nya föreningarna framstår de som helt oberoende av det ursprungliga materialet. Bensen bildas t ex genom pyrolys av de flesta organiska material, även av sådana som inte innehåller bensenkedjor från början. Enkla föreningar som vanligen bildas vid pyrolys är metan, etan, toluen och andra enkla brännbara gaser och vätskor. Eftersom gaserna är flyktiga, avlägsnar de sig från det fasta materialet eller smältan (t ex plaster), övergår till gasfas och oxiderar till nya radikaler eller radikalgruppen i en blandning med luftens syre.

ORGANISKA MATERIAL OCH PYROLYS

Organiska material (grundas på kolatomer och kan brinna) är unika i naturen eftersom kolatomer har förmågan att kopplas till varandra till stora och komplexa molekyler. Detta gäller inte bara bränslen, utan allt levande inom både växt- och djurriket. Nästan alla bränslen av praktisk betydelse är ursprungligen antingen från växtriket eller ett resultat av sönderfall (bakteriologisk eller geologisk process från ursprungligt levande växter eller djur). Det gäller både olja, kol och naturgas. Trämateriale är det mest förekommande "bränslet" i de flesta bränder. Det är ett direkt resultat av en levande process där mycket komplexa beståndsdelar är sammanbundna (syntetiserade) genom en naturlig utvecklingsgång.

Det finns ingen kemisk formel för trä. Den största beståndsdel i träet är cellulosa som består av sockermolekyler (glukos) i långa kedjor av osäker molekylstorlek. Dessutom innehåller träet många andra beståndsdelar. Den kvantitativt mest viktiga delen (upp till en tredjedel av den totala mängden) är lignin. Därefter kommer harts, kåda och annat i varierande mängder. Mjuka träsorter (t ex fur) innehåller mycket hartser. Hårda träsorter (bok, ek) innehåller lite eller inga hartser alls.

Organiska komponenter (inklusive innehållet i träet) pyrolyserar vid upphettning. Trä, kol, plaster, färger och andra organiska material sönderdelas till mindre molekyler med större flyktighet och till rena kolmolekyler. Det betyder att de blir mer lättantändliga än de mer komplexa komponenterna före omvandlingen.

Pyrolysisprocessen är den grundläggande förklaringen till många av händelserna vid bränder. Det är den förgasade lättflyktiga delen av materialet, den bränslegas som utvecklas vid pyrolysis, som blandas med syre från luften och brinner i själva flammen. Så förklaras också buskars och barrträds "sprakande" vid brand. Barren har en stor yta som upphettas till den temperatur, när sönderdelning till en mängd lättflyktiga och lättantändliga gaser sker. När gaserna blandas med luft, sker en snabb förbränning, likt en liten explosion.

Pyrolysen förklarar även varför föremål på långt avstånd från branden kan antändas av enbart strålningsvärme. Strålningsvärmen absorberas av och värmer upp föremålet till den temperatur då pyrolysen kan starta. Temperaturen stiger ytterligare tills antändningstemperaturen för de flesta av pyrolysgaser-

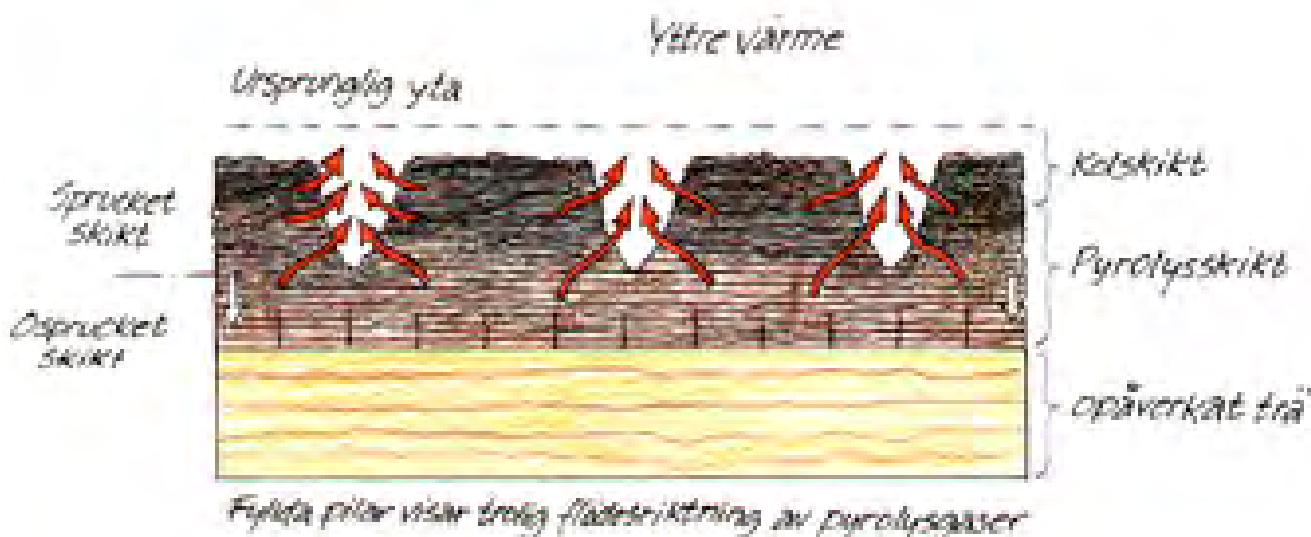
na nås. Då uppstår brand i alla brännbara föremål som har utsatts för strålningens värme.

Vid stora bränder kan man se flammor som "lyfter" och brinner högt uppe i luften avskilda från den brinnande massan längre ner. Det är också pyrolyserprodukter som lyfts med den varma luftströmmen och förbränns (oxiderar) successivt allt eftersom de kommer i kontakt med syre.

PYROLYS HOS TRÄ

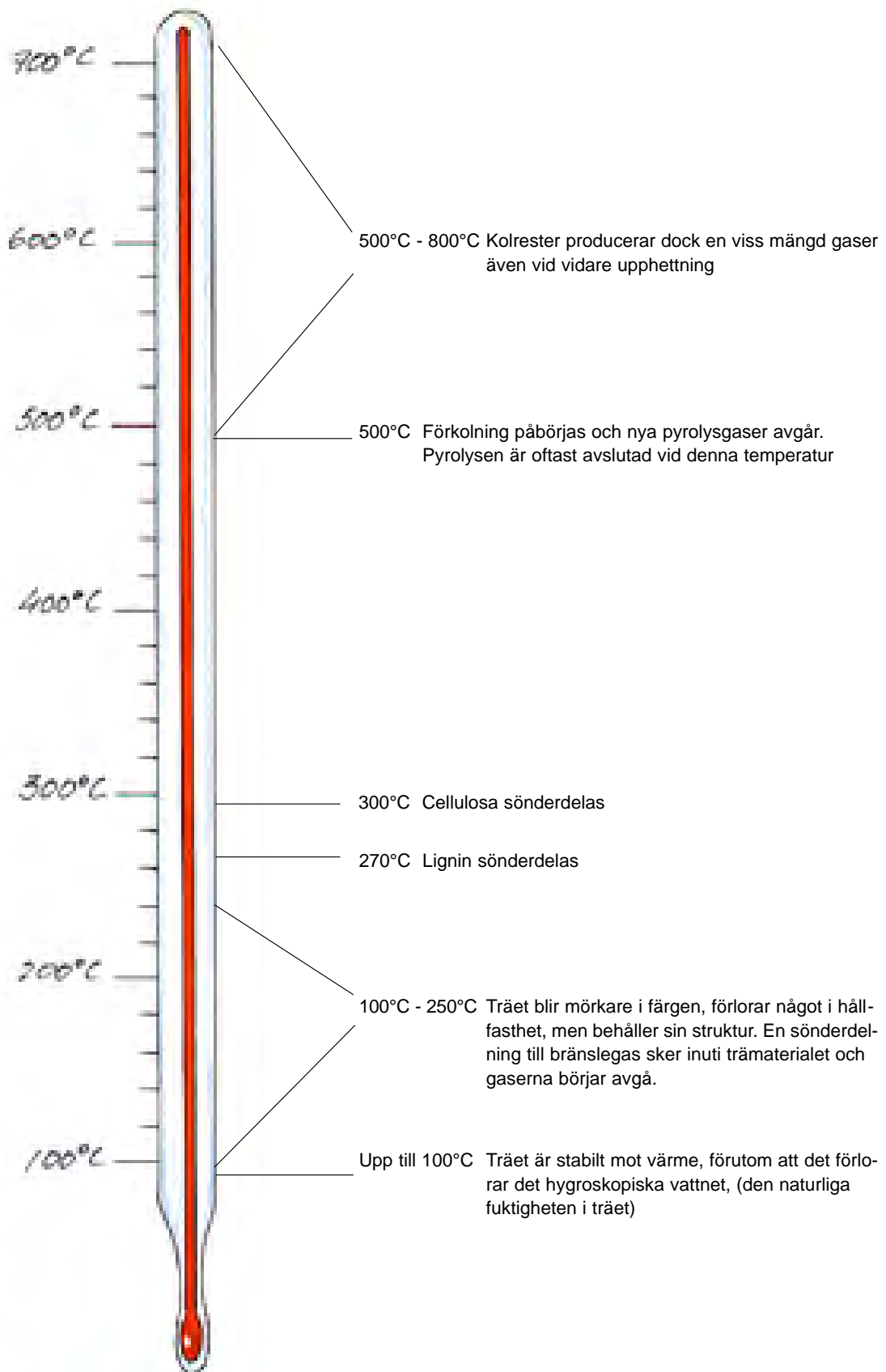
Den termiska sönderdelningen av trä ger som resultat brännbara och obrännbara gaser och ångor samt förkolnade rester.

Kolskiktstillväxt sker ganska långsamt och med jämn hastighet, cirka 1 mm/min. Efter en timmes brand når kolskiktet i t ex torrt granträ cirka 55 mm djupt. Hos trä och fasta material i allmänhet sker pyrolys i skiktet omedelbart under bränsleytan, där avsaknaden av syre är nästan total (se bilden).



Sprickbildning och pyrolysgasernas rörelse vid förbränning av trä

Följande sker vid olika temperaturer när vi hettar upp och förbränner trä:



Inom temperaturområdet 250 °C - 350 °C kunde pyrolysisprodukter observeras vid pyrolys i laboratorieförhållanden. De bestod av

ca	30%	vatten
	10%	icke kondenserade gaser
	2%	syror och metanol
	5%	flyktig tjära
	8%	fast tjära

Sammanlagt 55% av träet pyrolyserades, 45% var kvar.

Inom temperaturområdet 350 °C - 450 °C var produkterna följande:

ca	4%	vatten
	3%	icke kondenserade gaser
	2%	fast tjära
	0,5%	syror och metanol

Ytterligare ca 10% avgick.

De icke kondenserade gaserna består till stor del av koldioxid och kolmonoxid med en liten andel väte och kolväten.

När pyrolys studeras experimentellt sker det oftast utan syre, vilket inte helt motsvarar förhållandena vid verkliga bränder. Då förekommer både pyrolys och förbränning samtidigt.

Antändning

Det första synbara tecknet på förbränning är antändning. Det brännbara mediet, t ex en gasblandning, antänds av en extern (utomstående) källa, en tändsticka eller en gnista. Värmen tillförs utifrån. I sådana fall är det fråga om påtvingad antändning eller s k antändning med liten flamma.

En annan typ av antändning är spontan antändning eller självantändning. Då antänds det brännbara mediet, t ex en gasblandning, genom en spontan inre värmeavgivande (exotermisk) process, ett antal kemiska kedjereaktioner.

Känsligheten för antändning (lättantändligheten) hos olika brännbara media kännetecknas av den lägsta temperatur vid vilken mediet kan antända. Då måste vi skilja på antändningstemperatur vid påtvingad antändning och självantändningstemperatur.

För ett och samma medium är självantändningstemperaturen alltid högre än antändningstemperaturen vid påtvingad antändning. Skillnaden kan vara så stor som 200 °C.

PÅTVINGAD ANTÄNDNING

Antändningstemperaturen vid påtvingad antändning kallas även för mediets flampunkt. Flampunkten nämns oftast i samband med brännbara vätskor. Deras farlighet bedöms genom att de är inordnade i klasser efter sin flampunkt. Vätskor med låg flampunkt antänder vid relativt låg temperatur (redan vid rumstemperatur), och är därför farligare än vätskor som antänder vid högre temperatur. De måste först värmas upp till sin antändningstemperatur. Detta betyder längre tid till antändning och därmed mindre farlighet.

Antändningstemperaturen vid påtvingad antändning är för de flesta fasta material lika hög, mellan 300 °C och 500 °C. Det är konsekvensen av att de fasta materialens komplexa molekyler oftast först måste sönderfalla till enklare beståndsdelar (pyrolys + förångning) innan de avlägsnas från bränsleytan. Oxidationen i gasblandningen sker vid ungefär samma temperatur, men att värma upp materialet till denna temperatur tar olika långt tid för olika material. Det innebär att fasta materials farlighet inte kan bedömas efter deras flampunkt utan efter tid till antändning.

SJÄLVANTÄNDNING

Självantändning är egentligen en rad kemiska kedjereaktioner. Reaktionernas hastighet ökar med stigande temperatur, fast inte lika mycket hela tiden. Vid låga temperaturer blir reaktionshastigheten nästan konstant, trots ändrad temperatur. Men vid en viss temperatur ökar reaktionshastigheten regelbundet med tiden, dvs lika mycket per sekund. Denna temperatur är den lägsta temperatur då antändning kan ske, alltså mediets självantändningstemperatur.

Självantändningstemperaturen för fasta material är oftast identisk med självantändningstemperaturen för de gaser som avlägsnas från materialets yta vid uppvärmning.

Eftersom hastigheten på de kemiska reaktionerna ökar med stigande temperatur, blir den värme som utvecklas vid förbränning och tillförs materialet viktig. Den utvecklade värmen är i sin tur starkt beroende av temperaturen. Överföring av den utvecklade värmen till omgivningen står däremot alltid i direkt relation till temperaturökningen, dvs skillnaden mellan ”brandtemperaturen” och omgivningens temperatur.

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) till självantändning. Om däremot värmen av någon anledning inte kan överföras till omgivningen, t ex om reaktionerna börjar mitt i ett torvupplag, ökar temperaturen till självantändningstemperatur och antändning sker. Förbränning kan i sådana fall fortskrida. Denna typ av självantändning uppstår oftast när finfördelat eller pulveriserat organiskt material som torv, sågspån, kolpulver o d lagras i stora mängder. Lagringssättet gör att den utvecklade värmen inte kan avges till omgivningen.

Flam- och glödförbränning

En förbränningsprocess kan i praktiken delas upp i

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

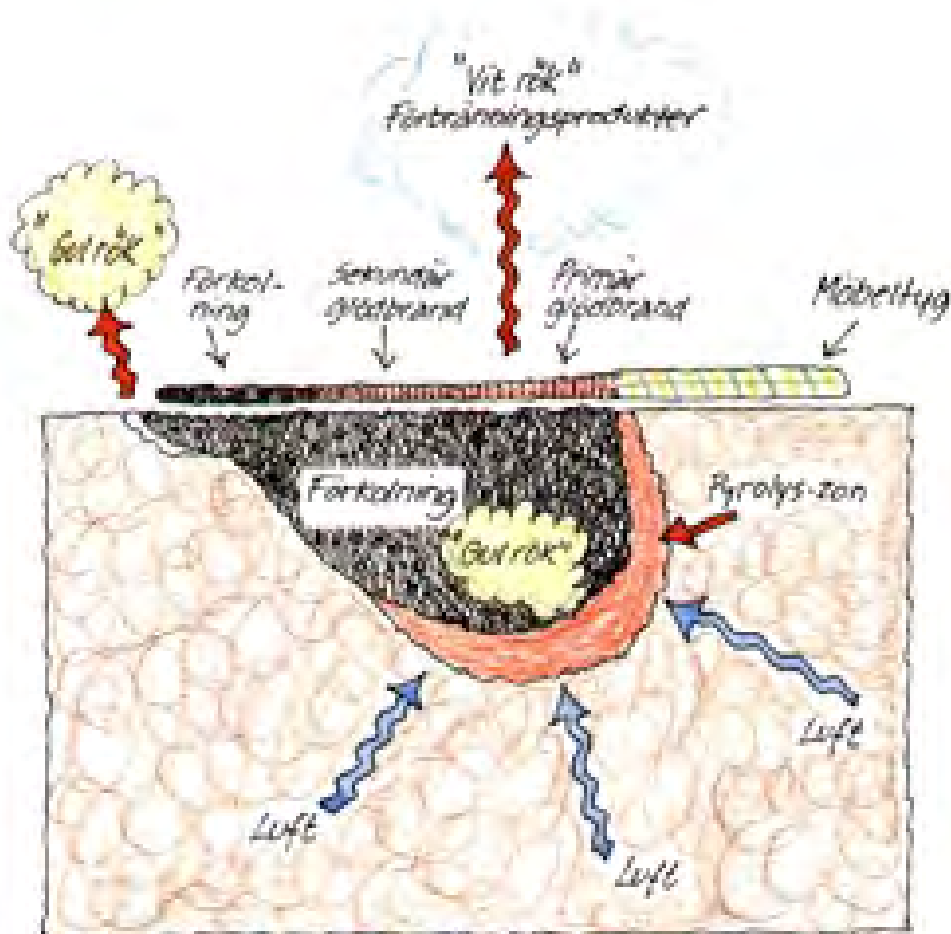
Förbränning av gaser och vätskor hör till flamförbränning, medan fasta material brinner med båda typer av förbränning.

En förbränning av fasta material börjar med en lågenergiförbränning av den ursprungliga brandkällan under ganska lång tid. Antändningen följs sedan normalt av en accelererad förbränning - en flamförbränning i reaktionsskiktet där det finns bränslegas i blandning med luft (bränsle och oxidatorn i samma fas). Materialet, bränslegasen och omgivningen värms upp, tills förbränningen i slutet av förbränningsprocessen minskar igen på grund av minskad utveckling av pyrolysisprodukter.

Den kritiska punkten vid en brand i rum är övertändning, då temperaturen i rummet stiger mycket snabbt och de flesta förbränningsgaser når sina antändningstemperaturer. Då börjar en snabb förbränning, övervägande flamförbränning. Sista steget vid förbränning av fasta material är glödförbränning i förkolnade rester.

Glödförbränning kan förekomma vid ytan eller inuti porösa material där det finns tillgång till syre, så att oxidationen kan fortsätta. Inuti ett poröst material kan även värmen stanna kvar och underhålla pyrolysisprocessen, till dess att en eventuell självantändning sker. Det fasta kolskiktet i förkolnade rester är ett poröst material, där glödförbränning är vanlig. En glödförbränning producerar oftast mycket pyrolysisprodukter som inte oxiderar med en gång. De avlägsnas från t ex en möbel och samlas i rummets övre del utan att de förbränns. Rummet fylls så småningom med rök som till större delen innehåller kolmonoxid (giftig att inandas). En glödförbränning behöver inte nödvändigtvis förstöra byggnader, men kan döda människor. Om en glödförbränning får fortsätta utan åtgärd, kan den leda till rökfyllnad. Pyrolysisprodukterna i övre delen av rummet antänds och så småningom övertänds hela rummet. Risken för spridning av branden till angränsande utrymmen ökar.

Glödbrand eller glödförbränning är vanlig i stoppmöbler. Branden uppstår genom att tygstycken av bomull eller viskos på ett underlag av polyuretanstoppling börjar glödförbränna t ex på grund av en cigarett (se bild).



Schematisk bild av glödbrand i en stoppmöbel

Den här sortens stoppningsmaterial står emot glödförbränning ganska bra utan klädsel. Men i en färdig möbel samverkar de olika materialen på så sätt att glödbranden börjar och framskrider i tygskiktet. Under glödbranden i tyget startar en kombinerad glödbrand och pyrolys i cellplasten. Pyrolysprodukter från cellplasten (den gula röken) går in i och förbrukas i tygets glödbrand. Tygets förbränningshastighet ökar och mer pyrolysprodukter avgår. Följden blir att hela stoppmöbeln involveras i branden.

Explosionsrisker

En fortlöpande förbränning och utveckling till brand är möjlig endast om den energi som produceras vid förbränningen är tillräcklig för att åstadkomma antändning hos den del av materialet som fortfarande inte brinner.

Om det utvecklas mer värme än vad som går åt till pyrolys och överförs till omgivningen, kan förbränningen fortsätta efter antändning. En jämn förbränning blir det om bränsle i form av gasblandning tillförs fritt och förbränningsprodukter avlägsnas, likaså fritt. Då bildas inget övertryck. Normalt förbränns en gasblandning med några meter per sekund.

Om gasblandningen får självantändningstemperatur i ett slutet rum, startar snabba kemiska reaktioner. Det bildas ett högt tryck som leder till en explosion. Förbränningshastigheten vid en explosion är mycket högre än vid normal förbränning. Under vissa förhållanden blir förbränningshastigheten extremt hög och följden blir en detonation. Den utlöser en chockvåg med ett tryck på 20-30 bar. Förbränningshastigheten vid en detonation kan bli åtskilliga kilometer per sekund.

Vid en brand kan det lätt uppstå explosiva blandningar. De är svåra att upptäcka och något bra portabelt mätinstrument som varnar för explosionsfara finns inte. Explosiva blandningar kan bildas på följande sätt

- ◆ gasläckage
- ◆ ångor från lättflyktiga bränslevätskor
- ◆ dimma med droppar av bränslevätska
- ◆ damm
- ◆ rökgaser

Alla dessa blandningar är antändbara i luft om deras nedre brännbarhetsgräns uppnås. Tabellen visar hur många g/m³ bränsle av blandningen som behövs för att den ska bli antändbar. Siffrorna anger den nedre brännbarhetsgränsen för gas och ånga, dimma och damm samt rökgaser.

BRÄNSLETS FORM	KEMIKALIER I BRÄNSLET	g/m ³
gas och ånga	metan, etan, propan, gasol, bensin lättflyktiga vätskor	40 - 60
dimma med droppar med diametrar mindre än 100 mm	olja, tetralin, butanol, metanol, etanol, xylen, butylacetat, lacknafta	30 - 90
damm med diameter mindre än 100 mm	av metall, kol, sågspån, torv, plaster, biologiskt mtrl, socker, malt, papper o d	20 - 300
rökgaser	blandning av många kemikalier i olika faser (gas- vätske- och fast fas)	40 - 300

GASLÄCKAGE

Beroende på gasens densitet stiger den (t ex naturgas) eller sjunker den (t ex gasol) från läckageplatsen och samlas i övre respektive nedre delen av rummet. I ventilerade utrymmen krävs ganska stora läckage för att koncentrationen ska nå över den nedre brännbarhetsgränsen. I ett dåligt ventilerat kök på 12 m³ krävs ett läckage på 10 - 20 l/min för att åstadkomma en explosiv blandning.

VÄTSKEÅNGOR

Lättflyktiga vätskor (bensin, eter o d) kan bilda en explosiv blandning i nedre delen av ett rum om de spills ut på större ytor och förångas. De beter sig då som tunga läckande gaser. Varningstecken är synligt vätskespill kombinerat med lukt.

VÄTSKEDIMMA

När vätskor finfördelas i dimma blir de mycket farligare än när de hanteras på annat sätt. Även vätskor med hög flampunkt kan i finfördelad form ge explosiva blandningar. Dimma kan uppstå vid sprutmålning med lättflyktiga lösningsmedel eller vid läckage i högtryckssystem. Varningstecken är kraftig dimbildning med stark siktnedsättning.

DAMM

Uppvirvlat damm av nästan alla material, såväl organiska (t ex trä eller kol) som icke organiska (t ex metaller), kan bilda explosiva blandningar. Risken är speciellt stor vid transport och vid ras i samband med lagring av finförde- lat material. Sikt under ca 1 m i dammolnet är varningstecken.

RÖKGASER

Vid en brand i ett avgränsat utrymme samlas varma pyrolysgaser (rök) under taket i det övre rökgaslagret. Om det finns brännbara beklädnader i tak och väggar, pyrolyserar de under inverkan av värme. Pyrolysisprodukterna bidrar starkt till ansamlingen av brännbara gaser i övre delen av rummet.

Varje pyrolysisprodukt har ett eget område där blandningsförhållandena mellan gas och luft är sådana att blandningen kan brinna. Varje pyrolysisprodukt har även en egen antändningstemperatur när den når en lämplig koncentration (blandningsförhållandet i luften).

Om uppvärmningen sker tillräckligt snabbt, uppnår olika pyrolysisprodukter sina nedre brännbarhetsgränser vid ungefär samma tid. Produkten med den lägsta nedre brännbarhetsgränsen bestämmer när de pyrolysisprodukter som är ansamlade under taket ska antända.

Explosiva rökgas-/luftblandningar bildas vid t ex glödbland eller flambrand när ventilationen är begränsad. Eftersom syrgas förbrukas vid en brand, kan den situation uppstå att bränslekonzentrationen i luft blir högre än den nedre brännbarhetsgränsen, men syrekonzentrationen är för låg för att blandningen ska antända omedelbart. Ändras ventilationen kan syrgashalten stiga, blandningen blir antändbar och rökgasexplosionen är ett faktum. Svarta rökgaser med mycket begränsad sikt är varningstecken för en sådan situation.

Vid en explosion breder flamfronten ut sig från antändningskällan med hög hastighet. Den varma gasmassan kräver så stor volym att rummets öppningar inte förmår att släppa ut all gas. Trycket i rummet stiger. Är rummet helt slutet kan vi få ett övertryck på uppemot 5 - 8 atm. Redan vid 0,02 - 0,03 atm går fönster och dörrar sönder, vid 0,04 - 0,10 gips- och tegelväggar. En explosion i ett rum medför alltid att den svagaste komponenten i konstruktionen brister. Flamfronten hamnar utanför rummet. Om en yttervägg är den svagaste komponenten, förbränns då den största gasmängden utomhus. Om dörren mot trapphuset trycks ut, kan dörrarna till angränsande lägenheter i samma plan tryckas in. Resultatet blir en snabb brandspridning.

5



BRANDFÖRLOPP I RUM

Brandtillväxt

ALLMÄNT OM BRAND

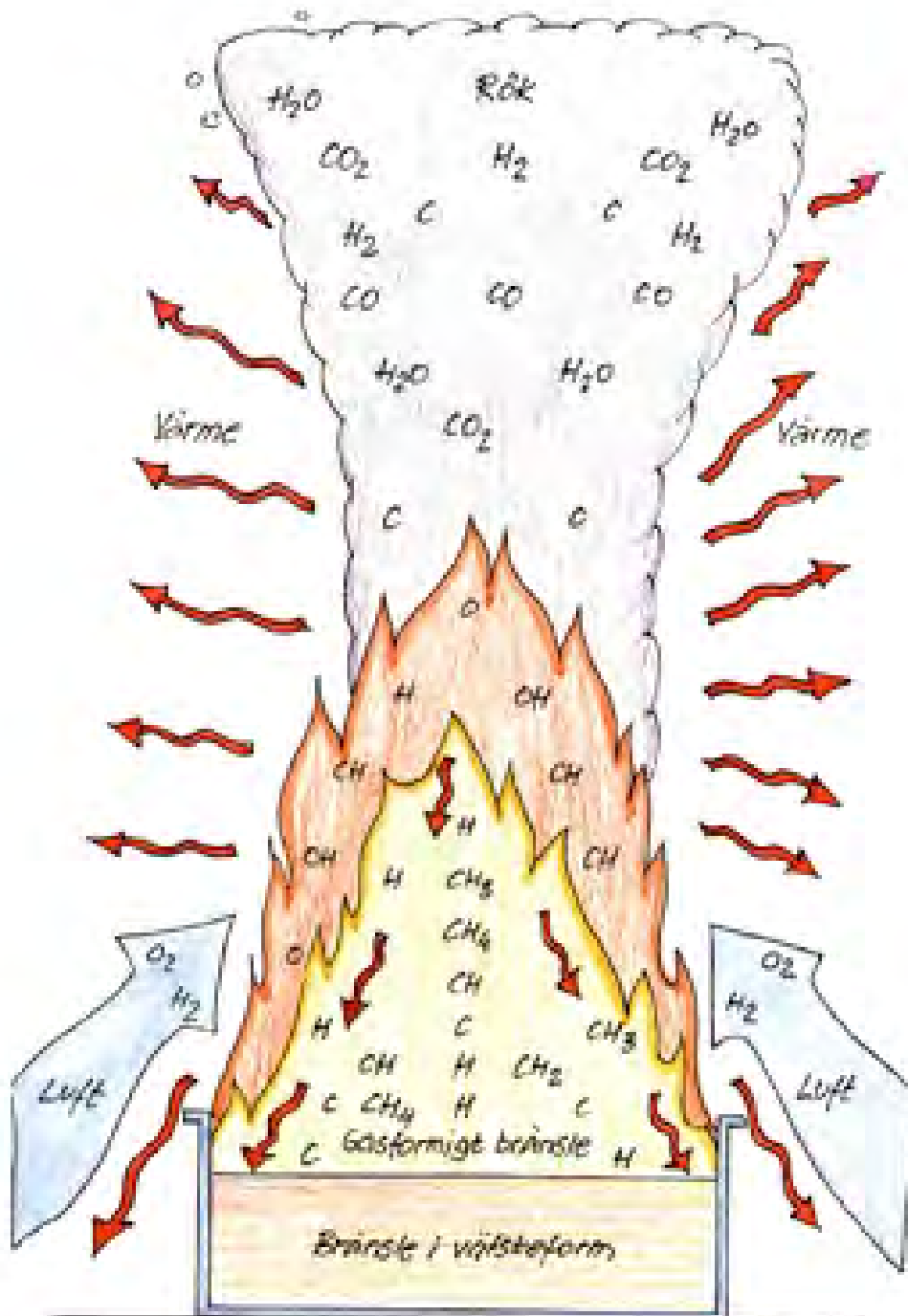
Inga enstaka förbränningsreaktioner kan kallas för brand. Skillnaden är hastigheten som oxidationerna sker med och det värme och ljus som följer med oxidationerna. Om man tar hänsyn till fysikaliska egenskaper som värme och ljus, är definitionen av brand enkel:

En brand är en snabb, oftast okontrollerad självunderhållande oxidationsprocess där utveckling av värme och ljus av varierande intensitet är följden.

Brandens principiella beskaffenhet ser ut så här (se bild):

- En brännbar vätska förångas.
- Det pyrolyserade gasformiga bränslet som då bildas består av kol (C), väte (H) och fria radikaler t ex flera olika kolväten (CH), (CH₂), (CH₃) och (CH₄)
- Bränslet reagerar med syre (O) från luften och bildar förbränningsprodukter som kolmonoxid (CO) koldioxid (CO₂) och vatten (H₂O). En del kol och väte förblir oförbränt. Värme utvecklas, vilket gör att processen är självunderhållande.

Räknar vi in de uppåtstigande varma gaserna, får branden en konisk form - smalare nedåt och bredare uppåt. Det beror på den stora mängden kall luft som sugas in i branden och värms upp av den värme som utvecklas vid oxidationsprocessen. Ju högre upp, desto större massa rök och uppvärmd luft finns det över brandhärden. Gasmassan tillsammans med flammen bildar en plyn. Brandplymens egenskaper avgör hur brandens ska fortsätta, hur rummet kommer att fyllas med rök och hur påverkan på omgivningen blir.



Brandens principiella beskaffenhet

Brandplymen och dess inverkan på omgivningen är många gånger orsaken till att golvet blir uppbränt efter en brand och att branden bedöms som anlagd med misstänkt start i t ex bensin uthälld över golvet. Brännbar vätska sprider aldrig branden nedåt! Golvytan kan inte värmas upp över vätskans kokpunkt så länge det finns någon vätska kvar ovanpå den.

Om golvytan är uppbränd efter en brand är det oftast ett resultat av strålningvärme från varma gaser och flammor under taket eller av att brännbar vätska har trängt in i eventuella otätheter i golvkonstruktionen och brunnit uppåt genom golvytan. Ett brinnande föremål kan ha fallit ner på golvet och fortsatt brinna där. Oftast är ett uppbränt golv en kombination av flera effekter.

FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR BRANDTILLVÄXT I RUM

En brand startar nästan alltid med en liten flamma. I de flesta fall växer den mycket snabbt till en stor okontrollerad flamma, en brand. Förutsättningarna för tillväxten är därför viktiga. Följande gäller:

Varma förbränningsgaser inklusive de brinnande och synliga (d v s flammor) är lättare än omgivande luft och därför stiger de uppåt.

Brännbara material som är i vägen för uppåtstigande flammor värms upp, pyrolyserar, antänder och ökar brandens intensitet. Detta leder till flammor av större volym och längd och mera uppåtstigande förbränningsgaser.

Om det finns brännbart material i närheten av den lilla flamman, helst ovanför den, ökar branden i omfattning. Det uppstår en vertikal flamspridning. I annat fall slocknar branden. Flamspridning vertikalt nedåt förekommer bara om det finns brännbara material som beklädnad eller ytskikt (i trämaterial, tapet eller färg).

Horisontell brandspridning i en öppen miljö förekommer i begränsad omfattning. Spridning i den riktningen är helt beroende av strålningvärme från flamman och hur den inverkar på föremål i närheten av initialbranden. En drastisk förändring sker om den uppåtstigande gasströmmen ”stöter på hinder”. En brand kan sprida sig i horisontell riktning mycket snabbt t ex under taket, om de varma gaserna förhindras att fortsätta uppåt. De varma gaser som samlas under taket påverkar brandtillväxten även genom strål-

ningsvärmen mot nedre delen av rummet. Gaserna innehåller en del oförbrända beståndsdelar. Ju snabbare brandtillväxt desto större ansamling av oförbrända gaser. De kan vid tillgång på syre oxidera, t ex utanför rummet.

Bränder sprids lättast i skorstensliknande förhållanden. Varma gaser och flammor kan obehindrat stiga uppåt i trapphus, hiss- och ventilationsschakt, vertikala innerytor och olika öppningar i byggnader.

Varje brand formas i ett mönster som bestäms av den omgivande miljöns beskaffenhet och förekomsten av brännbart material.

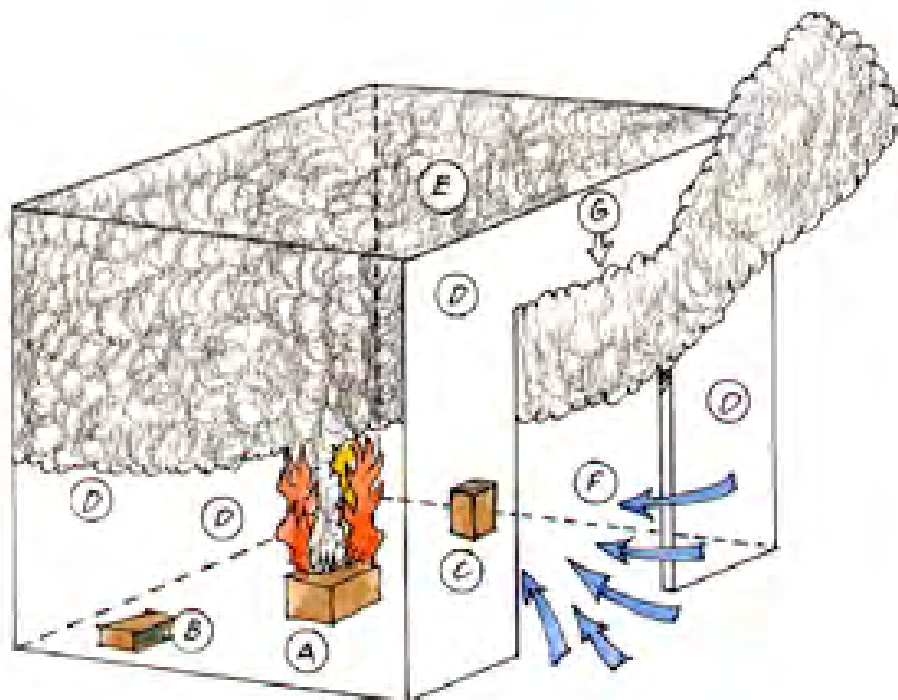
Förbränning är t ex annorlunda vid låg och hög syrehalt. Det beror helt på möjligheter för bränslegas och syre (från luften) att blandas med varandra (diffundera i varandra). Man vet att om syrekoncentrationen i luften runt omkring är under 10% (syrekoncentrationen i inandningsluften är ca 21%), sker ingen förbränning trots en hög värmepåverkan. Om syreinnehållet eller tillgången på frisk luft är för liten, slocknar branden.

INVERKAN AV RUMMETS BEGRÄNSNINGAR

Rummets omgivande väggar och tak inverkar både geometrisk och termisk. Storleken och formen på rummet och rummets öppningar bestämmer brandutvecklingen, liksom väggarnas termiska egenskaper. Förutsättningarna kan vara många.

- ◆ Ett rum med värmeisolerande väggar gör att förloppet blir snabbare.
- ◆ I en plåtbyggnad försvinner värmen genom väggarna och förloppet blir långsammare.
- ◆ Ett rum med lågt till tak fylls snabbt med rök och värme. I en lokal med högt till tak tar det längre tid.
- ◆ I mycket höga lokaler/byggnader där det ofta finns uppvärmd luft ansamlad i övre delen, kan rökgaserna inte stiga uppåt utan stannar halvvägs. Fortsätter branden fylls lokalen/byggnaden med rök från halva höjden och nedåt. Risken för rökfyllnad i låga delar av en hög byggnad är således ganska stora.

Rummets begränsning och begränsningens egenskaper bestämmer växelverkan mellan förbränningen och omgivningen. Vi tar ett exempel. På bilden börjar föremålet A brinna i ett rum som begränsas av väggar D och tak E. Dörröppningen F har en dörrkant G. Rummets innerytor är av obrännbart material (betong och gipsskivor).



Det är först bara A som brinner och rökgaserna bildar en plym. Rökgaserna och den luft som värms upp av konvektiv värme från flammen följer med i strömmen. De ackumuleras under taket och rökgasskiktet växer.

Snart börjar rökgaserna strömma ut genom öppningen på grund av expansion och tryckskillnaden mellan inne- och utemiljön. När rökgasskiktet är tillräckligt varmt och tillräckligt djupt, ökar utströmningen.

Kall luft strömmar nu in genom dörröppningen fram till det brinnande föremålet A.

Gasströmmen som strömmar ut genom övre delen av dörröppningen bär med sig rök, värme och ibland flammor till det angränsande rummet. Den inströmmande kalla luften för med sig syre.

Branden tilltar genom tillgången på syre och rökgasskiktet växer. Det når mycket snabbt till halva rummets höjd.

Värmen som flammen producerar, överförs genom konvektion till rökgasskiktet. Men värmen förs också genom strålning tillbaka till föremålen A, B och C, till väggar och golv. En del värme förs ut genom öppningen. De heta gaserna i rökgasskiktet värmer upp taket och alla föremål nära golvet. En stor del av den utvecklade värmen återförs till det brinnande föremålet och andra föremål i rummet. Jämför detta med en brand i det fria, där värmen hela tiden förs bort. Återföringen av värme ökar förbränningsintensiteten.

Öppningens geometri har också betydelse. En hög och smal öppning ger ett jämnt utbyte av varma rökgaser och kall luft. En låg och bred öppning gör att graden av fullständig förbränning blir hög. De utströmmande rökgaserna innehåller då mycket oförbränt bränsle.

Om väggar och tak är av brännbart material, deltar även de i branden. Bränsleytan blir då stor, vilket bidrar ytterligare till ett snabbare brandförlopp och tidig övertändning i rummet. Dessutom strömmar en stor mängd oförbrända gaser ut och bidrar till en eventuell förbränning utanför rummet.

Övertändning i rum

Vi har tidigare konstaterat att brandtillväxten är beroende på omständigheterna kring branden. Antingen resulterar det i en brand som inte leder till övertändning i rummet (flambrand eller glödbrand) eller en brand som leder till övertändning i rummet.

Om brandtillväxten leder till övertändning eller ej beror i hög grad på tillgången till bränsle och om brandtillväxten sker i ett stängt rum eller i ett rum med öppen dörr eller öppna/spruckna fönster.

När ett ensamt föremål i ett rum antänds, brinner det från början som om det brann i det fria. Förbränningen är begränsad till startföremålets yta, eventuellt till några föremål alldeles i närheten. Efter ganska kort tid påverkas förbränningen av rummets begränsning. Ett lager av varma gaser bildas under taket och takkonstruktionen värms upp. Rökgaslagret och/eller taket återstrålar värmeenergin ner till alla föremål i rummet. De påverkas av värmen och börjar förgasas (pyrolyserar). När ett kritiskt värde av blandningen syre/bränsle uppnås vid ytan, sker en snabb antändning och förbränning. Temperaturen i rummet stiger mycket på kort tid. När sedan den ansamlade rökgasmassan och alla föremål i rummet antänds nästan samtidigt, kallas det för övertändning.

Vi kan säga att övertändning är en process där en relativt begränsad brand i ett rum sprids så snabbt att alla brännbara material inuti rummet involveras i branden. Processen omfattar flera mekanismer som var för sig och tillsammans påverkar brandtillväxten. Hela förloppet styrs av den utvecklade värmeeffekten och därmed av den stigande strålningsvärmen. De enskilda mekanismerna är följande:

- ◆ Flamspridning över det initiella objektet och närmast angränsande objekt.
- ◆ Antändning av ytor där pyrolystemperaturen och antändningstemperaturen för antändning med en liten flamma har uppnåtts (300 - 350 °C). Antändning sker med ”miniatyrflygbränder”.
- ◆ Spontan antändning (självantändning) av syre/bränsle-blandningen i närheten av de ytor som blivit uppvärmda till 400 °C och mer.

Observera att självantändning inte är den dominerande mekanismen vid en övertändning.

Värmestrålningskällan vid processen är det varma rökgaslagret som finns samlat under taket, det uppvärmda taket och den uppvärmda övre delen av väggarna. Övertändning sker när temperaturen i det övre rökgaslagret stiger mycket snabbt och rökgaslagret börjar brinna. Det resulterar i en dramatisk ökning av strålningsnivån inuti rummet och i utflöde av brinnande gaser genom ventilationsöppningar (dörrar, fönster osv).

Övertändning är vanlig när en brand börjar i ett litet rum, t ex ett vardagsrum i en bostad. Det är en brand som under sin tillväxt har tillräckligt med bränsle och "obegränsad" tillgång på frisk luft. Tiden tills övertändning uppträder beror på syretillförseln. Om t ex dörren är öppen från början, leder branden till övertändning på kortare tid än om den är stängd. En övertändning förutsätter att branden redan från början får en utveckling som leder till att fönstren spricker och att det avlägsnas tillräckligt med bränsle från föremålen i rummet, d v s att bränsleytan är tillräckligt stor. Om bränsle eller tillgång till frisk luft saknas, leder branden överhuvudtaget inte till övertändning.

Vid en brand i ett begränsat utrymme kan vi se sex stadier i övertändningsprocessen. De är

STADIET FÖRE ANTÄNDNING

Värme påverkar ett brännbart föremål d v s bränsleytan. Föremålet värms upp utan att det antänds.

ANTÄNDNINGSTADIET

Självupprätthållande förbränning påbörjas. Den primära värmepåverkan av bränsleytan sker genom att varma gaser strömmar från ytan. Värmen överförs genom strömning (konvektion). I detta stadium av brandtillväxten är flammorna bara några centimeter långa.

STRÅLNINGSSTADIET

Något mer intensiv förbränning har börjat. Flammorna är nu tillräckligt långa (ca 25 cm) för att den dominerande återföringen av värme till bränsleytan ska ske genom strålning.

AVGRÄNSANDE STADIET

Förbränningen fortsätter att intensifieras. Värmeeffekten stiger snabbt, d v s mycket värme utvecklas på kort tid. Flammorna i ett normalt rum är ca 1 m långa. Ett tydligt rökgasskikt uppträder. Rökgaslagret under taket och andra uppvärmda ytor återstrålar en stor mängd värme tillbaka till bränsleytan.

UNDERTAKSSTADIET

Flammorna har nått taket. Rökgaslagret under taket återstrålar nu tillräckligt mycket värme för att antända även objekt på avstånd från den ursprungliga brandkällan.

ÖVERTÄNDNING

Strålningsvärme från det brinnande rökgaslagret är tillräcklig för att antända även t ex ett trägol. Alla utsatta brännbara ytor deltar nu i branden och temperaturen stiger snabbt. Övertändning är ett faktum.

Det sista stadiet kan nås ca 5 minuter efter antändningen i en bostad. Den allra största delen av tiden går åt för att branden ska passera från första stadiet till undertaksstadiet. Resten går på några sekunder.

Vanligtvis blir tidsintervallen mellan stadierna större i större lokaler. I stora industrilokaler får vi sällan övertändning. Det är mindre vanligt även i större öppna lokaler där bränslet är utspritt (utställningslokaler eller föreläsningssalar). Övertändning är mer sannolik i rikligt möblerade rum.

När det rör sig om industrilokaler, innebär övertändning att hela byggnaden brinner utan kontroll och att den inte går att rädda. Övertändning av en fåtölj, en soffa eller en TV-apparat innebär att enstaka föremål helt involveras i branden. Det är då föremålen som övertänds vilket inte får förväxlas med en övertändning som slutligt stadium i en rumsbrand.

Rummets volym har avgörande betydelse av flera skäl:

- ◆ Högt till tak betyder större avstånd mellan rökgaslagret och föremålen i rummet.
- ◆ Värmestrålningen mot golvet minskar om avståndet är stort mellan det varma rökgaslagret och de brännbara föremålen som utsätts för strålningen.

- ◆ Ett stort avstånd mellan rökgaslagret och brandplymen gör att rökgaserna i plymen är relativt kalla när de når taket.
- ◆ Eftersom de varma gaserna rör sig längs taket, förlorar de värme. En stor takyta ”slukar” dessutom mycket värme.

ÖVERTÄNDNING I RUM MED ÖPPEN DÖRR

Vi har redan konstaterat att en brand leder till övertändning när den under sin tillväxt hela tiden har tillräckligt med bränsle och ”obegränsad” tillgång till frisk luft. Om dörren från början är öppen och glasrutor i fönstren spricker, stiger temperaturen i rummet obehindrat trots att syreinhålllet sjunker. Syreinhålllet kan sjunka till mellan 10% och 12%.

Om en flammande brand inte får tillräckligt med bränsle på grund av att den brinnande ytan inte är tillräckligt stor, leder branden inte till övertändning även om det finns tillräckligt med frisk luft. Dörren kan vara öppen men allt bränsle förbrukat. Temperaturen blir högst 500 °C.

ÖVERTÄNDNING I RUM MED STÄNGD DÖRR

Om dörren är stängd är det normala förloppet att syre förbrukas snabbt och branden slocknar. Men när branden har slocknat och temperaturen sjunkit, fortsätter utveckling av kolmonoxid CO. Det finns alltid otätheter (t ex under en stängd dörr) där luften kan komma in och syrsätta kolet under glödförbränning i förkolnade rester.

En brand i ett stängt rum fortsätter att vara farlig (utveckla kolmonoxid) även efter det att flamman har slocknat.

Kolmonoxid är en oförbränd gas som snabbt kan förbrännas vid förnyad tillgång på syre. Samtidigt är den giftig. Om dörren från början är stängd sjunker syrehalten snabbt. Det blir ingen övertändning. Men om dörren öppnas eller om fönstren av någon anledning spricker eller öppnas, ökar syretillförsel och det blir en övertändning. Således kan övertändning ske i ett från början stängt rum om fönstren spricker eller öppnas.

EN GLÖDBRAND I ETT RUM MED DÖRREN STÄNGD

Vanligtvis leder inte en glödbrand (långsam icke flammande brand) till över-tändning. Vid stängd dörr förblir syrekoncentrationen från början hög. Senare sjunker den och kolmonoxidhalten stiger.

En glödbrand behöver inte vara farlig om den upptäcks i tid av en brand-varnare eller annan detektor. Om den däremot får möjlighet att fortsätta glöda under lång tid kan kolmonoxidhalterna bli mycket höga. Då kan ansamlingen av kolmonoxid leda till explosion om syre plötsligt tillförs.

**STATENS
RÄDDNINGSVÄRK**
Karolinen
651 80 KARLSTAD
Tel 054-10 40 00

Beställningsnummer: U14-414/95
Tel 054-10 42 86, fax 054-10 42 10