

PRELEGerea 1

NOȚIUNI DESPRE ARDERI

1.1 Fenomenul arderii

1.1.1 Arderea

Arderea/combustia (eng. combustion), fizico-chimic, este reacția rapidă de oxidare a unei substanțe aflată în starea gazoasă.

Arderea, tehnic (SR EN ISO 13943), este reacția exotermă a unei substanțe (pe care o vom numi *combustibil*) cu un *comburant* (putând adăuga la definiție, că este însoțită, în general, de lumină - care poate fi *incandescență* și/sau *flăcără* - și/sau de *fum*).

Combustibil (eng. fuel) este, în contextul lucrării de față, orice substanță, material, produs de construcții care are proprietatea de *combustibilitate* (proprietatea de a se aprinde și arde în continuare contribuind la creșterea cantității de căldură degajate).

Comburant/agent oxidant este, uzual, oxigenul, oxigenul din aer (aflat în proporție de 21%) sau oxigenul cedat de o altă substanță prin reacția de oxidare; pentru ca o substanță combustibilă să ardă, s-a constatat că este suficient ca mediul ambiant să conțină 14÷18% oxigen.

Se cunosc și substanțe care ard fără prezența oxigenului din aer, cum ar fi: acetilena comprimată, clorura de azot, precum și alte substanțe compuse; aceste substanțe, în anumite condiții, pot exploda cu degajare de căldură și apariție de flăcări.

Din punctul de vedere fizic, arderea determină, în timp scurt, creșterea temperaturii mediului înconjurător la valori peste 1000°C.

Procesul de ardere, pentru a avea loc, trebuie să îndeplinească condiția prezenței concomitente, în același spațiu:

- a combustibilului;
- a comburantului (uzual, oxigenului);
- a sursei de aprindere (care să transfere, din exteriorul sistemului, suficientă căldură pentru atingerea temperaturii de aprindere în vederea inițierii arderii, *energia aprinderii*).

Cei trei factori enumerați mai sus definesc așa-numitul *triunghi al focului* (figura 1.1).



Figura 1.1 Triunghiul focului
(www.isover.ro)

Cercetări mai recente fac discuții despre așa-numitul *tetraedru al focului*, considerând că, pentru explicarea proceselor arderii, mai trebuie avută în vedere *desfășurarea reacțiilor chimice în lanț*.

Fenomenul de ardere implică desfășurarea unor procese de transfer de căldură și de masă (care pregătesc amestecul format din combustibil și oxigen) pentru atingerea temperaturii ce face posibilă o dezvoltare suficient de rapidă a reacției de oxidare cu degajare de căldură.

Fenomenul de ardere, în concepția actuală, are la bază *teoria reacțiilor în lanț* (eng. chain reaction). Această teorie presupune formarea, în timpul reacției de oxidare, a radicalilor liberi, care în urma reacției cu alte molecule formează noi radicali liberi ce reacționează la rândul lor cu molecule neutre. Aceste reacții sunt denumite reacții secundare de continuare a lanțului. În acest mod apare un lanț de reacții ce se repetă, în timpul cărora produsele finale se formează printr-o serie de faze intermediare care inițiază începutul unui nou lanț ce constituie centrul activ al reacției. Reacția, susținută de centrii activi, încetează când lanțul se întrerupe ca urmare a ciocnirii atomilor sau radicalilor cu molecule inerte (cazul halonilor) sau cu suprafețe care absorb energia acestora (cazul pulberilor stingătoare).

În cazul incendiilor în clădiri, mulți produși combustibili au o structură chimică care conține carbon, hidrogen și oxigen; unul poate fi propanul (C_3H_8), care prin ardere completă produce dioxid de carbon (CO_2) și vapori de apă (H_2O), ca în ecuația stoichiometrică din relația 1.1 [11], [12].



Mărimile fizice ce caracterizată arderea sunt:

- *temperatura de ardere*, temperatura minimă de la care un combustibil arde până la epuizare;

- *viteza de ardere*, cantitatea de combustibil consumat prin ardere în unitatea de timp (tabelul 1.1); aceasta este dependentă de tipul materialului combustibil și mărimea suprafeței ocupate, de posibilitățile de ventilare, de temperatura dezvoltată în timpul arderii, de presiunea aerului etc.; aceasta poate fi măsurată în:

- cazul gazelor: m/s sau cm/s sau m^3/z și poate fi considerată că variază liniar cu timpul;

- cazul lichidelor: *grosimea stratului de lichid care arde în unitatea de timp* și poate fi considerată că variază liniar cu timpul;

- cazul solidelor: *masa materialului combustibil ars pe unitatea de suprafață a arderii în unitatea de timp*;

- *intensitatea de ardere*, dată de căldura (energia) degajată în timpul arderii, exprimată în J (Jouli); raportarea cantității căldurii la cantitatea unitară de combustibil ce o produce (1 kg în cazul substanțelor lichide și solide sau 1 m^3_N , N indicând condiții normale, în cazul substanțelor gazoase) definește *căldura de ardere/puterea calorifică*, Q , exprimată în J/kg sau J/m^3_N (a se consulta Prelegerea 2);

- *limitele de ardere*:

- *limita inferioară*, dată de concentrația minimă a gazelor în aer sub care amestecul gazos nu poate să ardă, fiind prea sărac în molecule reactante (energia rezultată din arderea unei particule se dispersează înainte de a putea activa o altă particulă de substanță combustibilă pentru propagarea arderii);

- *limita superioară*, dată de concentrația maximă a gazelor în aer peste care amestecul gazos nu poate să ardă din cauza lipsei oxigenului necesar (oxigenul disponibil se consumă în cursul arderii unei particule, nemaifiind suficient pentru întreținerea arderii particulei celei mai apropiate);

- *intervalul de ardere* (cuprins între limita inferioară și superioară) este cel în care arderea se poate produce, dimensiunea acestuia putând fi influențată de creșterea temperaturii (mărirea

intervalului) sau de adăugarea unor gaze inerte sau vapori incombustibili (micșorarea intervalului).

Tabelul 1.1 Viteza de ardere pentru produse combustibile uzuale

Nr. crt.	Substanța combustibilă	Viteza de ardere dată prin	
		masa consumată (kg/m ² ·min)	lungimea consumată (mm/min)
1	Lemn (grinzi, mobilă în încăpere)	0,65÷0,90	-
2	Lemn tăiat în stive, în aer liber	0,70	-
3	Cherestea în stive pe teren descoperit	0,67	-
4	Bumbac afânat	0,24	-
5	Cărți pe rafturi din lemn	0,33	-
6	Hârtie afânată	0,48	-
7	Fibră artificială scurtă afânată	0,40	-
8	Textolit	0,40	-
9	Cauciuc natural	0,80	-
10	Cauciuc sintetic	0,53	-
11	Articole tehnice din cauciuc	0,67	-
12	Film pe bază de celuloid	70,0	-
13	Polistiren	0,86	-
14	Sticlă organică	0,86	-
15	Fenoplaste	0,36	-
16	Sodiu metalic	0,70÷0,90	-
17	Acetonă	2,83	3,30
18	Benzen	2,30	3,15
19	Benzină	2,70÷3,20	3,80÷4,50
20	Alcool butilic	0,81	1,10
21	Eter dietilic	3,60	5,00
22	Izopentan	6,30	10,00
23	Petrol (țiței)	1,70	1,60
24	Petrol lampant	2,90	3,60
25	Păcură	2,10	2,20
26	Sulfură de carbon	2,20	2,70
27	Toluen	2,30	2,70
28	Alcool etilic	1,60÷2,00	2,00÷2,50

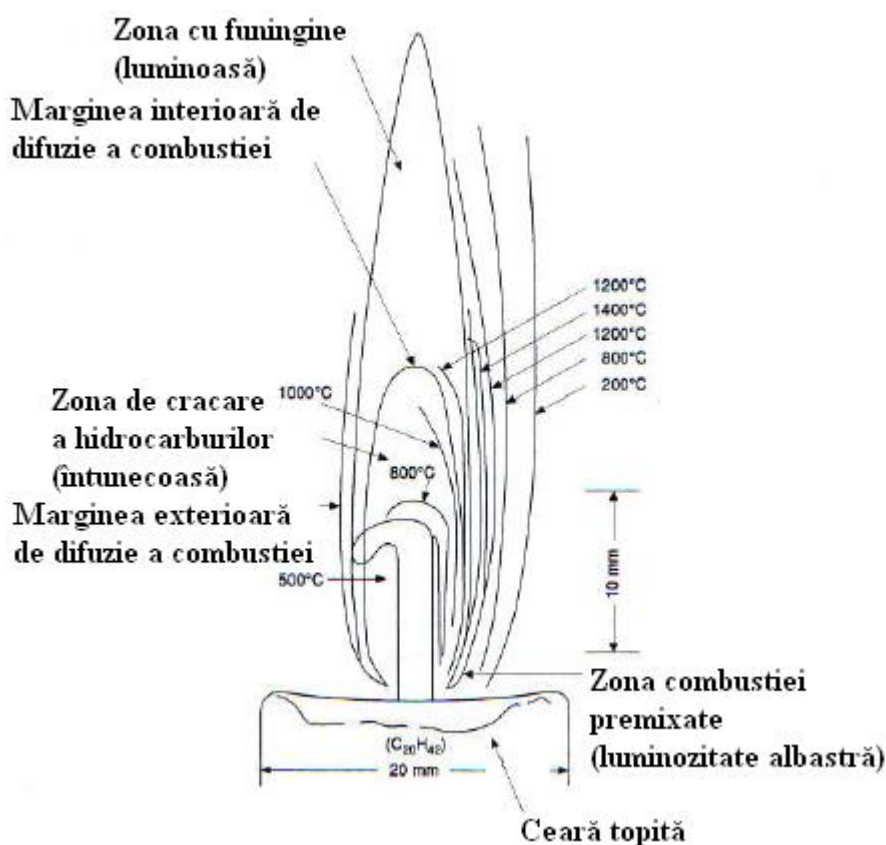
Flacăra (eng. flame) poate fi definită ca propagarea rapidă, autosusținută, cu viteză subsonică a arderii în mediu gazos cu emisie de lumină (SR EN ISO 13943) sau ca amestecul aerului cu un gaz combustibil în reacție care emite radiații electromagnetice, deseori în spectrul vizibil (lumina); caracteristicile flăcărilor sunt:

- emisia luminii: 1÷5 μm în cazul hidrocarburilor;
- temperatura: dependentă de caracteristicile produselor care ard (concentrație etc.), tabelul 1.2;
- culoarea: galbenă sau portocalie în cazul materialelor organice, albastră în cazul alcoolilor, gălbuie și, eventual, cu tendință spre albastru în cazul gazului natural, galbenă, asociată cu mult fum, în cazul hidrocarburilor lichide, albastră în cazul monoxidului de carbon etc.;
- radianța: 1,5 Hz, în cazul incendiilor cu suprafață mare de ardere până la 15 Hz, nivelul radiației variind în jurul unei valori medii.

La flacără se disting: o zonă centrală care conține produși nearși încă și care este mai rece, o zonă intermediară, precum și o zonă periferică unde combustia este completă și temperatura este cea mai mare (figura 1.2)

Tabel 1.2 Temperatura flăcării pentru combustibili uzuali [9]

Nr. crt.	Produsul combustibil		Temperatura $^{\circ}\text{C}$
1	Gaz în amestec cu aerul	acetilena	2325
2		amoniacul	1700
3		heptanul	2290
4		hidrogenul	2400
5		metanul	2210
6		oxidul de carbon	2400
7		propanul	1930
8	Solid	bumbacul	305
9		hârtia	510
10		sodiul metalic	900
11		lemnul rășinoaselor stivuit în aer liber	1200
12		huila	1200
13		cauciucul natural	1100
14		polistirenul	1350
15		magneziul	2000



(după Bjorn Karlsson, James G. Quintiere, 2000)



(Wikipedia)

Figura 1.2 Flăcări și distribuția temperaturilor în flacăra unei lumânări

Produsele de ardere sunt:

- *gazele de ardere*, care sunt purtătoarele *căldurii* (eng. heat) și a căror cantitate poate fi stabilită prin calcul după compoziția combustibilului;

- *resturile minerale* sau *cenușa* (eng. ash), ca în cazul substanțelor solide; în acest context introducem și *funinginea* (eng. soot);

- *fumul* (eng. smoke) și *oxidul de carbon* (ca produs intermediar care prezintă un pericol deosebit, care poate provoca intoxicații și asfixieri), în cazul arderilor incomplete.

Fumul este amestecul vizibil de lichide sub forma picăturilor foarte fine și/sau particulelor solide aflate în suspensie; funcție de compoziția chimică a produselor care ard, poate prezenta culoare, miros și gust specific, tabelul 1.3.

Tabel 1.3 Caracteristicile fumului [9]

Nr. crt.	Produsul combustibil	Caracteristicile		
		Culoarea	Mirosul	Gustul
1	Bumbac	brun-închis	specific	acrișor
2	Cauciuc	negru-brun	sulfuros	acid
3	Celuloid	cenușiu închis	specific	acid
4	Combi-nații de azot	galben brun	iritant	acid
5	Fosfor	alb dens	ca de usturoi	fără
6	Hârtie, paie, fân	galben alb	specific	acrișor
7	Lemn	gri cenușiu	de rășină	acrișor
8	Magneziu	alb	fără	metalic
9	Potasiu metalic	alb dens	fără	alcalin
10	Polistiren	negru închis	hidrocarburi	fără
11	Policlorură de vinil	cenușiu închis	acid clorhidric	fără
12	Produse petroliere	negru	uleios	acrișor
12	Sulf	alb negru	specific	acid

Clasificarea arderilor se poate face:

- după condițiile de desfășurare a reacțiilor de oxidare:

- *arderea completă*, cazul arderii în întregime a substanței combustibile, existând cantitatea suficientă de oxigen pentru procesul de oxidare (ca produși de ardere rezultă: bioxid de carbon, vapori de apă, bioxid de sulf etc.);

- *arderea incompletă*, cazul arderii parțiale a substanței combustibile, neexistând la dispoziție cantitatea suficientă de oxigen pentru procesul de oxidare (ca produși de ardere rezultă: oxid de carbon, alcool, vapori de apă și compuși organici complecși);

- după percepția fenomenului:

- *arderea cu flacără*, cazul arderii combustibilului în faza gazoasă cu emisie de lumină; arderea cel mai des întâlnită;

- *arderea cu incandescență*, cazul arderii combustibilului cu emisie vizibilă de lumină la suprafața acestuia (arderea cărbunilor); temperatura suprafeței depășește 500°C;

- *arderea mocnită*, cazul arderii combustibilului fără emisie vizibilă de lumină (pusă în evidență de creșterea temperaturii mediului ambiant și apariția fumului); este o ardere autosusținută prin căldura reacțiilor interne;

- după viteza reacțiilor oxidării:

- *arderea lentă*, cazul ruginirii fierului, putrezirii lemnului, respirației ființelor etc., când se constată o creștere a temperaturii fără atingerea valorii care să conducă la emisia de lumină;

- *arderea normală/uniformă*, la care propagarea se face cu viteze de ordinul cm/s;

- *arderea rapidă*, cazul *exploziei*, *precum deflagrația*, la care propagarea se face cu viteze de ordinul zecilor de m/s (subsonice);

- *arderea foarte rapidă*, cazul *detonației*, la care propagarea se face cu viteze de ordinul km/s (supersonice) și care este însoțită de undă de șoc.

1.1.2 Aprinderea

Aprinderea (termică) este procesul de inițiere a arderii unui amestec combustibil cu flacără susținută, ca urmare a accelerării reacției de oxidare.

Aprinderea se produce numai la aducerea combustibilului în faza gazoasă (figura 1.3), cu atât mai ușor cu cât emanarea de vapori și gaze începe la o temperatură mai mică (funcție de starea de agregare a substanței combustibile: gazoasă, lichidă sau solidă).

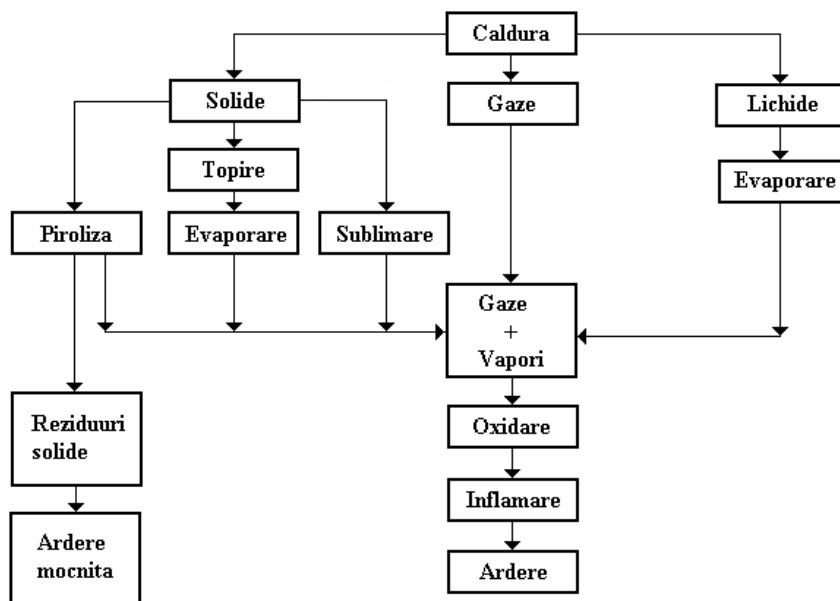


Figura 1.3 Schema generală de producere a aprinderii sau de inițiere a arderii

Aprinderea unui amestec combustibil are loc când viteza de generare a căldurii, prin reacții chimice, depășește viteza de pierdere a căldurii (pentru sistemele reale, neadiabatic).

Căldura necesară aprinderii amestecului combustibil poate fi asigurată:

- de un flux de căldură exterior, cazul *aprinderii normale* și definim *temperatura de aprindere*;

- de o sursă exterioară de căldură (flacără, scânteie etc.), cazul *aprinderii pilot* și definim *temperatura de aprindere*;

- prin generarea internă de căldură, cazul *aprinderii spontane/autoaprinderii* și definim *temperatura de aprindere spontană/de autoaprindere*.

Temperatura de aprindere și temperatura de aprindere spontană nu sunt constante fizice; acestea sunt mărimi complexe, valorile acestora depinzând de condițiile în care se produce procesul de încălzire (compoziție, temperatură, presiune, sursă de aprindere etc.) și metoda de determinare aplicată.

Condițiile necesare producerii aprinderii sunt:

- concentrația amestecului combustibil (gaz și/sau vapori de lichid și/sau praf/solid combustibil cu aerul) să fie în interiorul limitelor de ardere;

- energia generată sub formă de căldură (extern sau intern) să poată menține temperatura amestecului peste temperatura de aprindere a acestuia.

Inflamabilitatea este caracteristica unui material combustibil aflat în faza gazoasă de a se aprinde cu emisie de lumină.

Aprinderea substanțelor combustibile gazoase este procesul de inițiere a arderii cu flacără într-un anumit punct, prin aducerea acestora la temperatura de aprindere, după care, îndepărtând sursa de aprindere, combustia continuă (figura 1.3); este caracterizată de următoarele mărimi fizice:

- *temperatura de aprindere*, temperatura minimă până la care trebuie încălzită o substanță gazoasă combustibilă, aflată în prezența aerului sau oxigenului, pentru a iniția arderea și arde în continuare și după îndepărtarea sursei de aprindere;

- *temperatura de aprindere spontană/de autoaprindere*, temperatura minimă până la care trebuie să se încălzească o substanță gazoasă combustibilă, aflată în prezența aerului sau oxigenului, pentru a iniția arderea și arde în continuare și fără a veni în contact direct cu o sursă de aprindere (tabelul 1.3);

- *energia de aprindere*: este mărimea minimă a energiei unei scânteii electrice sau mecanice, suficientă pentru aprinderea unui amestec de gaz-aer la o anumită concentrație; este funcție de parametrii amestecului gazos (compoziție, presiune, temperatură etc.) și dispozitivul determinării (tabelul 1.4);

- *limitele de ardere pentru gazele combustibile* (arderea gazelor combustibile se produce dacă concentrația acestora în aer se află între limitele de ardere).

Tabelul 1.3 Temperatura de autoaprindere pentru gaze combustibile uzuale [8]

Nr. crt.	Substanța	Temperatura ($^{\circ}C$)	Nr. crt.	Substanța	Temperatura ($^{\circ}C$)
1	Acetilenă	305	7	Hidrogen	575
2	Acetonă	560	8	Metan	633
3	Alcool etilic	392	9	Propan	481
4	Amoniac	651	10	Sulfură de carbon	100
5	Eter etilic	192	11	Terebentină	240
6	Heptan	233	12	Toluen	552

Tabelul 1.4 Energia de aprindere, minimă, pentru gaze combustibile uzuale [8]

Nr. crt.	Substanța	Energia minimă (MJ)	Nr. crt.	Substanța	Energia minimă (MJ)
1	Acetilenă	0,02	9	Hidrogen	0,01
2	Acetonă	1,10	10	Metan	0,26
3	Alcool etilic	0,14	11	Metanol	0,14
4	n-Butan	0,26	12	Metilacetona	0,28
5	Benzen	0,22	13	n-Pentan	0,22
6	Ciclohexan	0,24	14	Propan	0,25
7	Eter dietilic	0,19	15	Propilenă	0,17
8	Etilenă	0,10	16	Sulfură de carbon	0,009

Unele substanțe gazoase sunt combustibile la temperatura normală, precum hidrogenul, oxidul de carbon, hidrocarburile cu mai mult de 4 atomi de carbon (butanul, propanul etc.), ca și câteva amestecuri gazoase complexe (gazul natural - al cărui principal constituent este metanul, gazul de sondă, gazul de fermentație etc.).

Amestecurile gazoase combustibile pot fi aprinse de o scânteie electrică sau mecanică, de o suprafață caldă în contact dar și prin încălzire adiabatică.

Vaporizarea este procesul trecerii unui lichid în stare de vapori, prin *evaporare* sau *fierbere*; evaporarea se produce numai la suprafața lichidului și la orice temperatură.

Producerea vaporizării este cu atât mai intensă cu cât aria suprafeței lichidului este mai mare, temperatura mai mare și vaporii emanați de lichid îndepărtați mai repede.

Aprinderea substanțelor combustibile lichide este procesul de inițiere a arderii prin degajarea vaporilor și aprinderea acestora (figura 1.3); este caracterizată de următoarele mărimi fizice:

- *temperatura de inflamabilitate (flash-point)*, temperatura minimă, în condiții de presiune atmosferică normală, la care vaporii degajați de un lichid combustibil formează cu aerul (deasupra suprafeței acestuia) un amestec de o anumită concentrație ce se aprinde la contactul cu o sursă de aprindere (la această temperatură un lichid combustibil nu arde), tabelul 1.5; temperatura de inflamabilitate constituie un parametru de bază care poate fi folosit pentru indicarea, cu aproximație, a temperaturii la care un lichid combustibil prezintă pericol la incendiu (poate fi utilizată ca temperatură pentru siguranța tehnică la proiectarea clădirilor destinate depozitării lichidelor combustibile);

- *temperatura de aprindere*, temperatura minimă la care un lichid combustibil, după ce s-au aprins vaporii, arde în continuare (prin evaporare continuă), tabelul 1.5;

- *temperatura de aprindere spontană/de autoaprindere*, temperatura până la care trebuie încălzit un lichid combustibil, în prezența aerului sau oxigenului și fără a veni în contact direct cu o sursă de aprindere, ca, după ce s-au aprins vaporii, să ardă în continuare;

- *limitele de ardere pentru vapori*;

- *densitatea vaporilor*.

Tabelul 1.5 Temperatura de inflamabilitate și aprindere pentru lichide combustibile uzuale [8]

Nr. crt.	Substanța	Temperatura de inflamabilitate (°C)	Temperatura de aprindere (°C)
1	Acetaldehidă	-27	140
2	Acetilenă	-18	335
3	Acid acetic	40	485
4	Alcool etilic	12	425
5	Alcool metilic	11	455
6	Benzen	-11	555
7	Benzină auto	-42	232
8	Clorbenzen	28	590
9	Clorură de metan	-14	625
10	Dicloretilenă	48	460
11	Eter etilic	-40	170
12	Etilenglicol	111	416
13	Păcură	50÷100	260÷420
14	Petrol lampant	30÷40	220÷250
15	Propilenă	-107	455
16	Stiren	32	490
17	Sulfură de carbon	-30	102
18	Terebentină	35	255
19	Toluen	6	480
20	Țiței	-35÷35	380÷531
21	Ulei de in	205	340
22	Ulei de mașină	181	355
23	Ulei de transformator	147	300
24	Xilen	25	144

Notă:

1. În afară de lichide se mai inflamează și vaporii unor substanțe solide (camfor, naftalină, fosfor), aceste substanțe volatilizându-se la temperatura normală.

Viteza de ardere a lichidelor combustibile este funcție de suprafața liberă a acestora în stare liniștită (esențial), viteza de evaporare (care depinde de presiunea vaporilor, viteza de

reînnoire a atmosferei deasupra suprafeței libere a lichidului, respectiv curenții de aer) și cantitatea de căldură transmisă de la flăcări.

Piroliza este procesul descompunerii chimice ireversibile a unui material prin creșterea temperaturii și în lipsa reacției cu oxigenul.

Aprinderea substanțelor combustibile solide:

- *care ard cu flacără* (în stare gazoasă), este procesul inițierii arderii prin transformarea în vapori, fără descompunere sau prin sublimare, (cazul camforului) sau prin topirea urmată de vaporizarea și aprinderea acestora (cazul parafinei), figura 1.3;

- *care ard mocnit* (în stare solidă fără flacără), este procesul inițierii arderii prin creșterea, la început lentă, a căldurii degajate (abia perceptibilă) și, în continuare, proporțional cu temperatura (depinzând de numeroși factori ce țin de material și mediul ambiant: starea suprafeței, forma și granulometria materialelor, prezența corpurilor străine, realizarea ventilației etc.), figura 1.3;

- *care ard mixt* (în stare solidă cu flacără), este procesul inițierii arderii prin descompunerea chimică a substanței sub acțiunea căldurii (piroliză), cu degajarea amestecurilor de gaze și aerosoli (incluzând și particule suspendate, *efluenții arderii*) și aprinderea acestora, figura 1.3.

Aprinderea substanțelor combustibile solide este caracterizată de următoarele mărimi fizice:

- *temperatura de aprindere*, temperatura minimă de suprafață la care debitul volatilelor este suficient pentru asigurarea unei flăcări susținute, tabelul 1.6;

Tabelul 1.6 Temperatura de aprindere pentru solide combustibile uzuale

Nr. crt.	Substanța	Temperatura (°C)	Nr. crt.	Substanța	Temperatura (°C)
1	Asfalt	400	27	Mangal	180
2	Brad	225	28	Molid	282
3	Bumbac cârpe	320	29	Mătase fibre	279
4	Bumbac fibre	200÷220	30	Mătase artificială	472
5	Bumbac țesături	255	31	Naftalină	79
6	Carpen	250	32	Paie	200÷220
7	Carton	300÷360	33	Pene	500
8	Cauciuc natural sintetic	250÷450	34	Piele moale	400÷450
9	Celuloid	125÷190	35	Pin	280
10	Cânepă	215	36	Pirită praf	401
11	Celuloză	160÷170	37	Plută plăci	260
12	Coșuri nuiete	380	38	Poliamide fibre	420
13	Fag	295	39	Poliamide praf	535
14	Făină din lemn	430	40	Polietilenă	341
15	Făină din plută	210	41	Policlorură de vinil	900
16	Fân	205÷210	42	Polimetacrilat	450
17	Fosfor alb	45	43	Porumb boabe	250
18	Fosfor roșu	240	44	Polistiren	340÷345
19	Funingine	900	45	Poliuretan spumă	310
20	Grăsimi animale	340÷450	46	Rumeguș fag	396
21	Hamei	250÷300	47	Rumeguș molid	445
22	Hârtie scris	363	48	Stejar	340
23	Hârtie ziar	185÷230	49	Tutun	175
24	In	232	50	Tutun frunze	393
25	In fibre	345	51	Vată	320
26	Iută	254	52	Zahăr praf	377÷410

- *inerția termică* ce caracterizează *aprinzibilitatea* substanțelor solide, definită prin produsul dintre conductivitatea termică (λ), densitatea masică (ρ) și căldura specifică (c), tabelul 1.7 (materialele cu inerție termică mică pot fi aprinse de surse cu energie termică redusă: mucul țigării, flacăra chibritului etc.);

- *căldura de ardere/puterea calorică* (a se consulta Prelegerea 2).

Tabelul 1.7 Inerția termică pentru solide combustibile uzuale

Nr. crt.	Substanța	Conductivitatea termică (W/m^0C)	Densitatea masică (kg/m^3)	Căldura specifică (kJ/kg^0C)	Inerția termică (W/m^0C)
1	Beton	1,600	2400	0,750	2880
2	Cărămidă	0,800	2600	0,800	1660
3	Lemn masiv	0,360	800	2,386	680
4	Hârtie	0,140	790	1,340	150
5	Lână	0,038	200	1,884	9
6	Bumbac	0,058	81	1,298	6

Aprinderea spontană/autoaprinderea substanțelor combustibile solide este procesul bazat pe autoîncălzirea substanței combustibile solide în masă; poate fi:

- *chimică*, produsă în masa substanțelor ce au capacitate intensă de combinare cu oxigenul din aer, cu apa sau alte substanțe; substanțele combustibile predispuse la autoaprindere chimică pot fi împărțite în trei grupe:

- substanțe care se aprind spontan la contactul cu aerul în condiții normale de temperatură: substanțele pirofore, precum fosforul, metalele alcaline etc.;

- substanțe care reacționează violent la contactul cu apa în condiții normale: carbura de calciu, metalele alcaline etc.;

- substanțe care se aprind violent la contactul cu substanțe organice: oxidanții și peroxizii, precum cloratul de potasiu în contact cu acidul oxalic, acidul azotic și sulfuric în contact cu materiale celulozice etc.;

- *fizico-chimică*, stimulată de factori fizici și procese chimice (suprafața specifică, gradul de aerare, izolarea termică față de mediul exterior, prezența impurităților); susceptibile la acest gen de autoaprindere sunt: cărbunele, bumbacul, azotatul de amoniu, lacurile din ulei, semințele și turtele din floarea soarelui;

- *biologică*, specifică unor produse vegetale (furaje, borhot, rumeguș din lemn, tutun, tăiței din sfeclă etc.) sau animale (lână, păr etc.), stimulată de acțiunea microorganismelor, care în urma propriilor procese fiziologice, generează substanțe chimice ce conduc la reacții chimice care produc cantitatea de căldură necesară inițierii procesului de ardere.

Temperatura autoaprinderii în cazul solidelor are un rol foarte important în propagarea incendiului; creșterea nivelului termic, de exemplu prin radiație, determină aprinderea solidului respectiv la atingerea temperaturii de autoaprindere și apariția de focare de incendiu.

Fenomenul autoaprinderii poate genera incendii instantanee sau mocnite (în stare ascunsă), apariția și dezvoltarea acestora fiind favorizată de factori aleatori (umiditatea, aerarea, prezența impurităților, gradul concasării etc.).

1.2 Explozia

Explozia este cazul particular al arderii, la nivelul *amestecurilor explozive* de gaze combustibile și/sau de vapori combustibili și/sau de prafuri combustibile cu aerul, în care reacțiile oxidării se produc rapid și violent, cu degajare de căldură, lumină și generare de presiuni mari.

Termenul explozie folosit pentru spargerea unui recipient presurizat, cauzată de suprapresiunea interioară (eventual, combinată cu defecte de fabricație) este impropriu folosit.

Producerea exploziei are loc în momentul în care amestecul exploziv are o anumită concentrație de gaze combustibile și/sau vapori combustibili și/sau prafuri combustibile în aer (exprimată în % din volum sau g/m^3) și vine în contact cu o sursă de aprindere.

Limitele de explozie sunt:

- *limita inferioară*, concentrația minimă a gazelor și/sau vaporilor și/sau prafurilor combustibile în aer sub care nu se poate produce explozia, din cauza excesului de aer;

- *limita superioară*, concentrația maximă a gazelor și/sau vaporilor și/sau prafurilor combustibile în aer peste care nu se poate produce explozia, din cauza lipsei de aer;

- *intervalul de explozie* (cuprins între limita inferioară și superioară) este cel în care explozia se poate produce, având un rol determinant în stabilirea *pericolului de explozie* la gaze, lichide și prafuri combustibile (pericolul cel mai mare pentru inițierea unor explozii îl prezintă gazele cu intervalul de explozie exploziei mare, precum acetilena cu limitele de explozie 4÷80%).

Limita inferioară/superioară de explozie a unui amestec format din mai multe substanțe se poate calcula cu relația 1.2 (a lui *Le Chatelier*),

$$L = \frac{100}{\frac{a}{A} + \frac{b}{B} + \frac{c}{C} + \dots + \frac{n}{N}} \quad (1.2)$$

unde: L este concentrația care definește limita inferioară/superioară de explozie a amestecului, în %;

a, b, c, \dots, n - conținutul componentului în amestecul considerat, în %;

A, B, C, \dots, N - limita inferioară/superioară de explozie pentru fiecare component din amestecul considerat.

Limitele de explozie, inferioară și superioară, publicate în literatura de specialitate sunt determinate pentru temperatura normală ($20^{\circ}C$) și presiunea atmosferică. În unele situații reale, în special la obiectivele industriale, se poate depăși temperatura și presiunea la care au fost determinate limitele de explozie pentru unele substanțe indicate în literatura de specialitate. În acest caz, limitele de explozie se pot calcula cu relațiile 1.3,

$$L_{inf\ t} = L_{inf\ 20} - \frac{L_{inf\ 20} \times 10}{100} \times \frac{t - 20}{100} \quad (1.3)$$

$$L_{sup\ t} = L_{sup\ 20} + \frac{L_{sup\ 20} \times 15}{100} \times \frac{t - 20}{100}$$

unde: L_{inf}/L_{sup} este limita inferioară/superioară de explozie la temperatura t ;

L_{inf20}/L_{sup20} - limita inferioară/superioară de explozie la temperatura $20^{\circ}C$;

t - temperatura amestecului, în $^{\circ}C$.

Limitele de ardere includ limitele de explozie; în multe cazuri, limitele de ardere și limitele de explozie sunt aproape identice. La început, orice amestec gazos arde cu flacără stabilă, după care, în anumite condiții, au loc reacții care conduc la explozie.

Limitele de explozie nu au o valoare constantă, deoarece amestecurile explozive sunt supuse acțiunii unor factori ca: temperatura mediului ambiant, presiunea la care este supus amestecul exploziv etc..

Creșterea temperaturii peste cea normală ($20^{\circ}C$) mărește intervalul de explozie. Temperatura mediului înconjurător exercită o influență mai mare asupra limitei superioare de explozie decât asupra celei inferioare. Pentru determinarea practică, cu ușurință, a limitelor de

explozie în cazul creșterii temperaturii, se poate aplica următoarea regulă: la creșterea temperaturii cu fiecare 100°C , limita inferioară de explozie scade cu 10% și limita superioară crește cu 15%.

Pentru majoritatea substanțelor, temperatura de explozie este cuprinsă între 1000°C și 3000°C ; la explozia amestecurilor cu prafuri combustibile, aceasta este mai scăzută.

Între temperaturile de inflamabilitate și limitele de explozie există o strânsă legătură; de aceea, gradul de pericolozitate al amestecului exploziv se poate caracteriza fie prin concentrațiile limită, fie prin temperaturile limită (când sunt prezente substanțe aflate în faza lichidă).

Variația presiunii la care sunt supuse amestecurile explozive modifică limitele de ardere sau de explozie ale acestora. Creșterea presiunii, chiar și până la 20 atm, nu influențează prea mult valoarea limitelor de explozie, dar scăderea presiunii face ca intervalul de explozie să se reducă considerabil; la o presiune mult scăzută, indiferent de compoziția amestecului, inițierea exploziei devine imposibilă.

Factorii de care depinde explozia amestecurilor praf-aer sunt:

- compoziția chimică a prafului; cantitatea mai mare de substanțe volatile conținute de praf face ca pericolul de explozie să fie mai accentuat;

- concentrația prafului; cele două limite de explozie (ca și în cazul vaporilor și gazelor) sunt funcție de gradul de dispersie al prafului, precum și de umiditatea, temperatura și conținutul substanțelor volatile; pentru majoritatea prafulilor combustibile prezintă interes limita inferioară de ardere, existând riscul aprinderii și exploziei în special pentru cele la care aceasta nu depășește 65 g/m^3 , limita superioară fiind destul de ridicată și practic de neatins;

- starea fizică a prafului; pericolul la explozie este mai mare cu cât praful dispersat este mai fin;

- compoziția și temperatura mediului; umiditatea, în principiu, micșorează pericolul la explozie, în afara cazului substanțelor cu care umiditatea intră în reacție; prezența, în anumite cantități, a unor gaze inerte în aer micșorează sau chiar înlătură pericolul la explozie.

Printre prafulile cu cel mai mare pericol la explozie și la incendiu se pot enumera: praful de zahăr, amidonul, textilele, lemnul, cerealele și făina, materialele plastice, pulberile metalice (de zirconiu, titan, magneziu, aluminiu etc.).

Exploziile pot fi cauze ale unor incendii, după cum, în unele cazuri, și incendiile pot fi cauze ale unor explozii.

Dilatarea gazelor rezultate din explozie, cauzată de cantitatea mare de căldură degajată, provoacă solicitări dinamice de tip șoc, pentru care se pot preciza:

- *presiunea maximă de explozie*, presiunea maximă care s-ar produce în cazul în care nu ar exista schimb de căldură între produsele arderii și pereții incintei; aceasta poate fi calculată cunoscând compoziția în substanțe și concentrația lor, starea inițială a sistemului și cantitatea substanțelor volatile (în cazul prafulilor);

- *timpul de explozie*, timpul cât se manifestă solicitarea dinamică din explozie; acesta variază de la sutimi de secundă (cazul amestecului de hidrogen-aer) până la zecimi de secundă.

În urma exploziilor amestecurilor, în clădirile industriale închise se produc presiuni semnificative, capabile să provoace distrugerii clădirii. Cu cât efectul presiunii durează mai puțin în urma exploziei, cu atât este redusă distrugerea.

Bibliografie

1. Apahidean B., Mreneș M., Combustibili și teoria proceselor de ardere, Editura U. T. Press, Cluj-Napoca, 1997.
2. B. Karlsson, J. G. Quintiere, Enclosure Fire Dynamics, CRC Press LLC, 2000.
3. Bălulescu P., Călinescu V. și alții, Noțiuni de fizică și chimie pentru pompieri, Comandamentul Pompierilor, București, 1971.
4. Bălulescu P., Stingerea incendiilor, Editura Tehnică, București, 1981.

5. Bălulescu P., Popescu I., Ciucă Șt., Îndrumătorul pompierului civil, Oficiul de informare documentară pentru Industria Construcțiilor de Mașini, București, 1987.
6. Bălulescu P., Crăciun I., Agenda pompierului, Editura Tehnică, București, 1993.
7. Calotă S., Lencu V., Șerban T., Protecția împotriva incendiilor, vol. 1 și vol. 2, București, 1998.
8. Calotă S., Temian G., Știrbu V., Duduc G., Golgojan I. P., Manualul pompierului, Editura Imprimeriei de Vest, Oradea, 2009.
9. Cercetarea cauzelor de incendii, Calotă S., Popa Gh., Sorescu G., Dolha S., Editura Universul Juridic, 2010.
10. Diaconu-Șotropa D., Burlacu L., Fenomene de ardere, Review AICPS nr. 1/2007 Ediție nouă, București, 2007.
11. Drysdale D., An Introduction to Fire Dynamics (Second Edition), John Wiley & Sons, 2008.
12. Spearpoint M., Fire Engineering Design Guide (Third Edition), New Zealand Center for Advanced Engineering, 2008.
13. ***, SR EN ISO 13943:2011 Siguranța la foc. Vocabular, ASRO, București, 2011.

