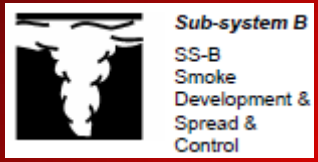


PRELEGEREA 1 ISIC
NOŢIUNI PRIVIND ARDERILE ŞI INCENDIILE

1.1 Fenomenul arderii

1.1.1 Arderea

1.1.2 Aprinderea

1.2 Incendiul fenomen în construcţii

1.2.1 Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise

1.2.2 Dinamica incendiilor în clădiri

1.2.3 Efectele incendiilor

1.2.4 Clasificarea incendiilor

1.3 Aprecierea severităţii incendiului

1.3.1 intensitatea de ardere

1.3.2 Aprecierea căldurii degajate în timpul incendiului (*abordări tradiţionale şi europene în România***)**

1.3.3 Aprecierea căldurii degajate în timpul incendiului (*abordări internaţionale***)**

1.4 Aplicaţii specifice

1.1 Fenomenul arderii

Arderea

- ***Arderea/combustia*** **(eng. *combustion*):**
  - ***fizico-chimic*****: reacţia rapidă de oxidare a unei substanţe aflate în starea gazoasă;**
  - ***tehnic*** **(SR EN ISO 13943): reacţia exotermă a unei substanţe (pe care o vom numi *combustibil*) cu un *comburant* (la care putem adăuga, însoţită, în general, de lumină - care poate fi *incandescenţă* şi/sau *flăcără* - şi/sau *fum*).**
- ***Combustibil*** **(eng. *fuel*) este, în contextul lucrării de faţă, orice substanţă, material, produs pentru construcţii care are proprietatea de *combustibilitate* (de a se *aprinde* şi *arde în continuare*, contribuind la creşterea cantităţii de căldură degajată); combustibilii pot fi grupați în:**
  - ***naturali*****:**
    - **solizi (rumeguş, lemn, cărbune - turbă, huilă, antracit etc.-, şisturi combustibile, paie etc.);**
    - **lichizi (ţiţei);**
    - **gazoși (gaz metan, gaz de sondă etc.);**
  - ***artificiali*****:**
    - **solizi (mangal, cocs, brichete din cărbune, peleţi etc.);**
    - **lichizi (benzină, petrol, păcură, gaze lichefiate etc.);**
    - **gazoși (gaz de cocserie, gaz de furnal, gaz de generator etc.);**

sau după origine în:
  - ***organici*****, dacă conţin carbon și care nu rezistă la o temperatură mai mare de 500^{0}C (lemn, hârtiei, gaz natural etc.);**
  - ***anorganici*****: dacă nu conţin carbon și arderea lor este mai dificilă pentru că necesită o cantitate mai mare de căldură (magneziu, aluminiu, fosfor).**
- ***Comburant/agent oxidant*** **este, uzual, oxigenul, oxigenul din aer (21%) sau oxigenul cedat de o altă substanţă prin reacţia de oxidare (arderea poate avea loc la 14÷18% oxigen >>> creşterea temperaturii la peste 1000^{0}C)**

Arderea

• ***Procesul de ardere***, pentru a avea loc, trebuie să întrunească condiţia prezenţei concomitente, în acelaşi spaţiu:

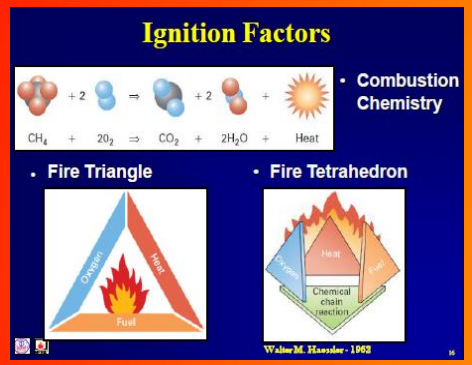
- a combustibilului;
- a comburantului (uzual, oxigenului);
- a sursei de aprindere (care să transfere, din exteriorul sistemului, suficientă căldură pentru atingerea temperaturii de aprindere în vederea iniţierii arderii, *energia de aprindere*).

• ***Triunghiul focului***:

• ***Tetraedrul focului***: consideră că pentru explicarea proceselor de ardere mai trebuie avută în vedere desfăşurarea reacţiilor chimice în lanţ.

• ***Teoria reacţiilor în lanţ*** (eng. *chain reaction*) este concepţia actuală care stă la baza explicării *fenomenului de ardere*: formarea de radicali liberi în timpul reacţiei de oxidare, care în urma reacţiei cu alte molecule formează noi radicali liberi ce reacţionează la rândul lor cu alte molecule >>> arderea propanului

>>> $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$.



Arderea

- ***Mărimi fizice ce caracterizează arderea*:**

- *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; aceasta este dependentă de tipul materialului combustibil şi mărimea suprafeţei ocupate, posibilităţile de ventilare, temperatura dezvoltată în timpul arderii, presiunea aerului etc.; aceasta poate fi măsurată în:

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

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

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

- *intensitatea de ardere*: cantitatea de căldură (energie) degajată în timpul arderii, exprimată în *J*.

Arderea

Tabelul 1.1 Viteza de ardere pentru produse combustibile uzuale

Nr. crt.	*Substanţa 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	*Cărţi 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 (ţiţei)*	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

Arderea

- ***Mărimi fizice ce caracterizează arderea*:**

- *limitele de ardere*:

- *limita inferioară*, dată de concentraţia minimă a gazelor combustibile în aer sub care amestecul 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 substanţă combustibilă pentru propagarea arderii);

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

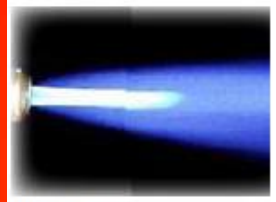
- *intervalul de ardere*: (cuprins între limita inferioară şi cea superioară) este cel în care arderea se poate produce, dimensiunea acestuia putând fi influenţată de creşterea temperaturii (mărirea intervalului) sau de adăugarea unor gaze inerte sau vapori incombustibili (micşorarea intervalului).

Arderea

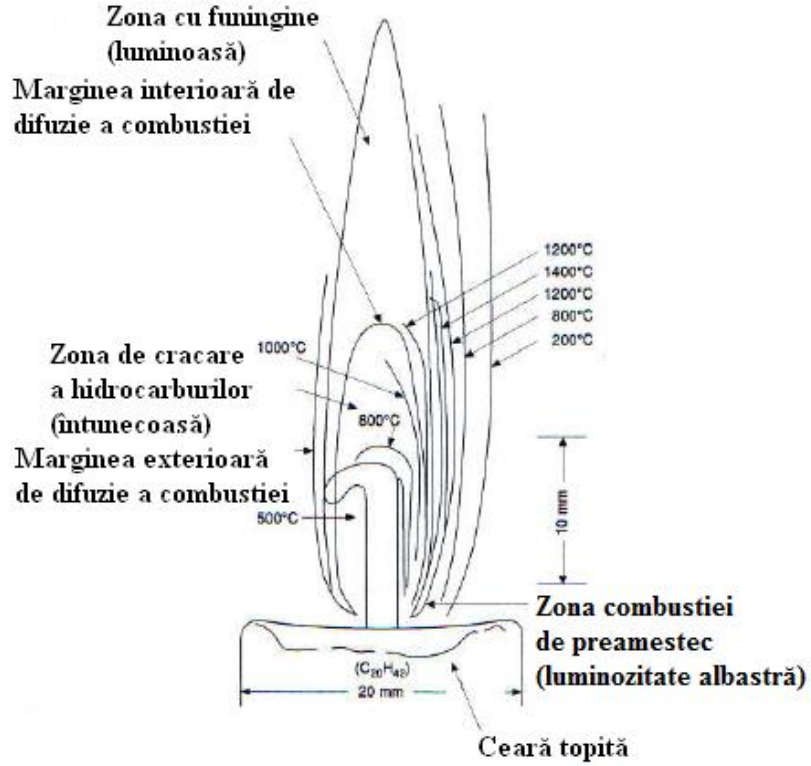
• ***Flacăra*** **(eng. *flame*): este un amestec de aer şi gaz combustibil aflat în reacţie, asociat, deseori, cu emisia de lumină; flacăra poate fi *de difuzie* sau *de preamestec*;**

- caracteristicile flăcării sunt: *emisia de lumină* - 1÷5 μm, *temperatura*, *culoarea*, *radiaţia* - 1,5 Hz÷15,0 Hz.

flacără de difuzie



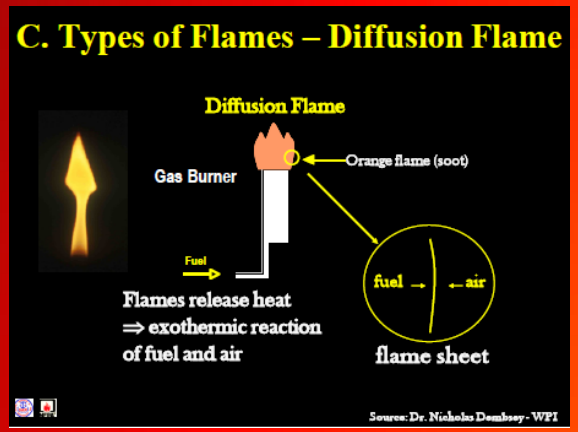
flacără de preamestec

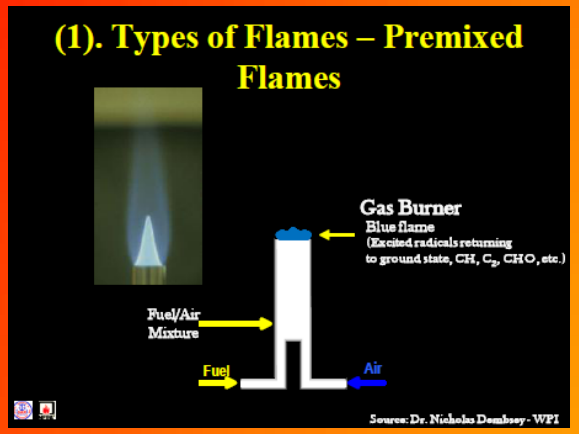


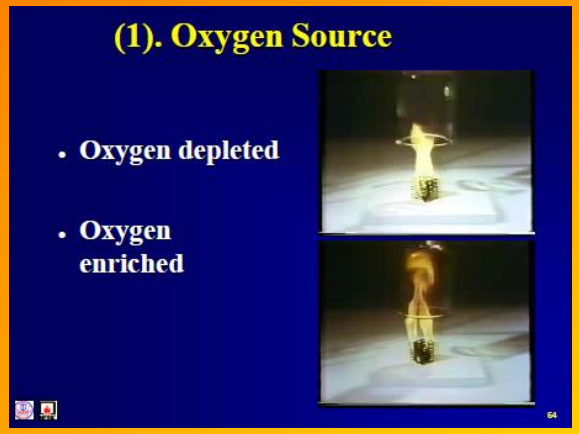
distribuţia temperaturilor în flacăra unei lumânări
(*după Bjorn Karlsson, James G. Quintiere, 2000*)

Arderea

Se face disticţie între
pana focului
şi
pana flăcării







Arderea

Tabel 1.2 Temperatura flăcării pentru combustibili uzuali [9]

Nr. crt.	*Produsul combustibil*		*Temperatura ^0C*
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 răşinoaselor stivuit în aer liber*	1200
12		*huila*	1200
13		*cauciucul natural*	1100
14		*polistirenul*	1350
15		*magneziul*	2000

Arderea

- ***Produsele de ardere***:

  - ***gazele de ardere***, care sunt purtătoarele unei cantităţi mari de ***căldură*** (eng. *heat*) ce poate fi stabilită prin calcul funcţie de compoziţia combustibilului;

  - ***resturile minerale*** sau ***cenuşa*** (eng. *ash*), în cazul substanţelor solide;

  - ***fumul*** (eng. *smoke*) şi ***oxidul de carbon*** (ca produs intermediar care prezintă un pericol deosebit, ce poate provoca intoxicaţii şi asfixieri), în cazul arderilor incomplete; în acest context intoducem şi ***funinginea*** (eng. *soot*).

- ***Fumul*** (eng. *smoke*) este un ansamblu vizibil de *lichide* şi/sau *particule solide* în suspensie; este caracterizat prin *culoare*, *miros* și *gust* și are proprietâți precum *inflamabilitatea* şi *explozivitatea, toxicitatea, opacitatea, radiativitatea, mobilitatea și difuzivitatea.*

Tabelul 1.3 Caracteristicile fumului pentru combustibili uzuali [9]

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

Arderea

- ***Clasificarea arderilor***:

- *<u>după aportul de comburant în focar</u>*:

- *<u>arderea completă</u>*, cazul arderii în întregime a substanţei combustibile, existând cantitatea suficientă de oxigen pentru procesul de oxidare (ca produşi de arderere rezultă: bioxid de carbon, vapori de apă, dioxid de sulf etc.);

- *<u>arderea incompletă</u>*, cazul arderii parţiale a substanţei combustibile, neexistând la dispoziţie cantitatea suficientă de oxigen pentru procesul de oxidare (ca produşi de arderere rezultă: oxid de carbon, alcool, vapori de apă şi compuşi organici complecşi);

- *<u>după percepţia fenomenului</u>*:

- *<u>arderea cu flacără</u>*, cazul arderii combustibilului în faza gazoasă, cu emisie de lumină, arderea cea mai des întâlnită;

- *<u>arderea cu incandescenţă</u>*, cazul arderii combustibilului cu emisie vizibilă de lumină la suprafaţa acestuia (arderea cărbunilor); temperatura suprafeţei depăşeşte 500^0C;

- *<u>arderea mocnită</u>*, cazul arderii combustibilului fără emisie vizibilă de lumină (pusă în evidenţă de creşterea temperaturii mediului ambiant şi apariţia fumului); este o ardere autosusţinută prin căldura reacţiilor interne.

Arderea

- ***Clasificarea arderilor***:

  - *<u>după modul de realizare a reacţiilor de oxidare</u>*:

  - *<u>arderea lentă</u>*, cazul ruginirii fierului, putrezirii lemnului, respiraţiei fiinţelor etc., când se constată o creştere a temperaturii fără atingerea valorii care să conducă la emisia de lumină;

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

  - *<u>arderea neuniformă</u>*, unde se încadrează *deflagraţia* cu viteza de ordinul cm/s (viteză subsonică), *explozia* cu viteza 10÷100 m/s, *detonaţia* (*arderea rapidă*) cu viteza 1000÷4000 m/s (viteză supersonică).

Aprinderea

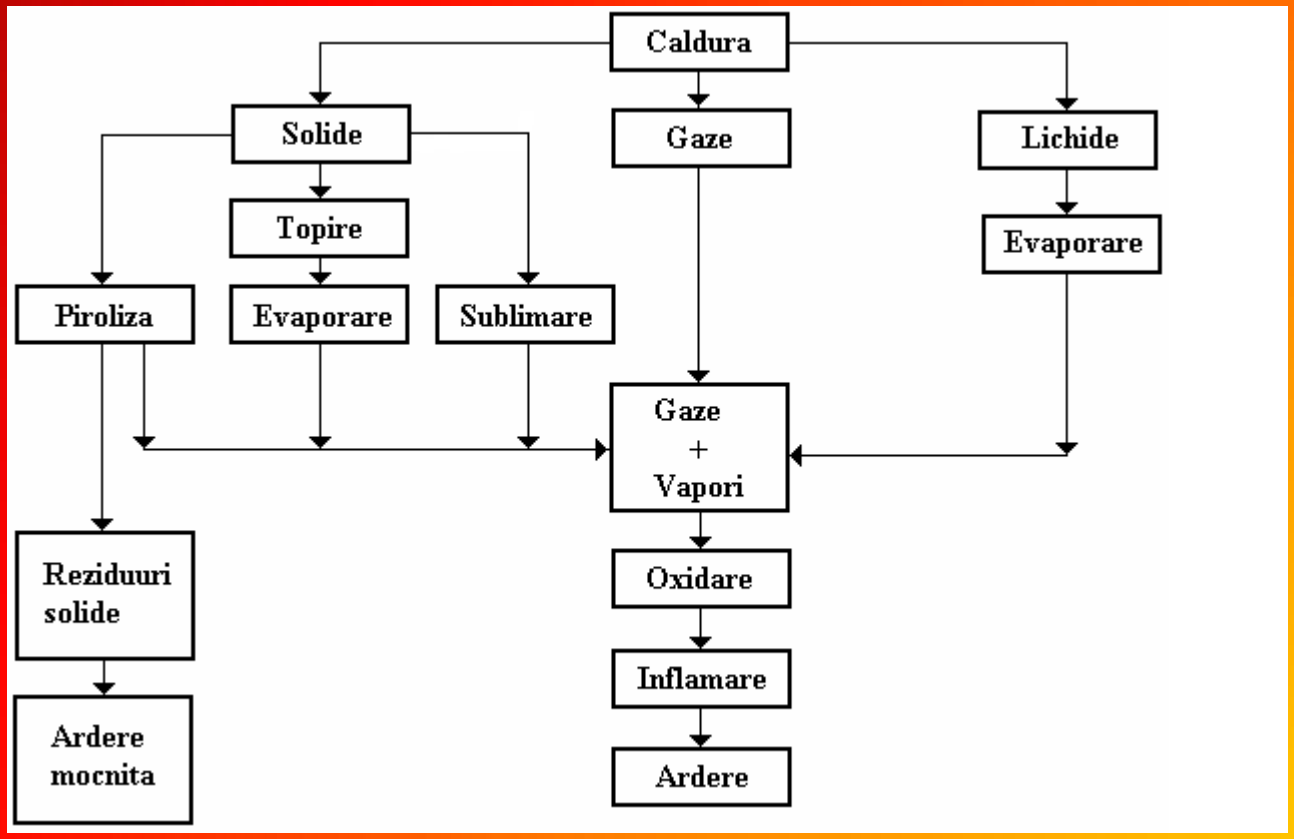
- ***Aprinderea (termică)*: procesul de iniţiere a arderii unui amestec combustibil cu flacără susţinută, ca urmare a accelerării reacţiei de oxidare:**
  - *se produce numai la aducerea combustibilului în faza gazoasă*, cu atât mai uşor cu cât emanarea de vapori şi gaze începe la o temperatură mai mică (funcţie de starea de agregare a substanţei combustibile: gazoasă, lichidă sau solidă);
  - are loc când viteza de generare a căldurii prin reacţii chimice depăşeşte viteza de pierdere a căldurii (pentru sistemele reale, neadiabatice).

- ***Căldura pentru aprindere* poate fi asigurată:**
  - *de un flux de căldură exterior*, cazul *aprinderii normale* şi definim *temperatura de aprindere*;
  - *de o sursă exterioară de căldură* (flacără, scânteie etc.), cazul *aprinderii pilot* şi definim *temperatura de aprindere*;
  - *prin generarea internă de căldură*, cazul *aprinderii spontane/autoaprinderii* şi definim *temperatura de aprindere spontană/de autoaprindere*.

- ***Condiţiile pentru producerea aprinderii*:**
  - *concentraţia amestecului combustibil* (gaz şi/sau vapori de lichid şi/sau praf/solid combustibil cu aerul) *să fie în interiorul limitelor de ardere*;
  - *energia generată sub formă de căldură* (extern sau intern) *să poată menţine temperatura amestecului peste temperatura de aprindere a acestuia*

Aprinderea

- ***Schema generală de producere a aprinderii sau de iniţiere a arderii***



Aprinderea

- ***Aprinderea substanţelor combustibile gazoase***

- ***<u>Inflamabilitatea</u>*** **este caracteristica unei substanţe combustibile, aflată în faza gazoasă, de a se aprinde cu emisie de lumină.**

Aprinderea

- ***Aprinderea substanţelor combustibile gazoase*: procesul de iniţiere a arderii cu flacără într-un anumit punct, prin aducerea acestora la temperatura de aprindere, după care, îndepărtând sursa de aprindere, combustia continuă; este caracterizată de următoarele mărimi fizice:**

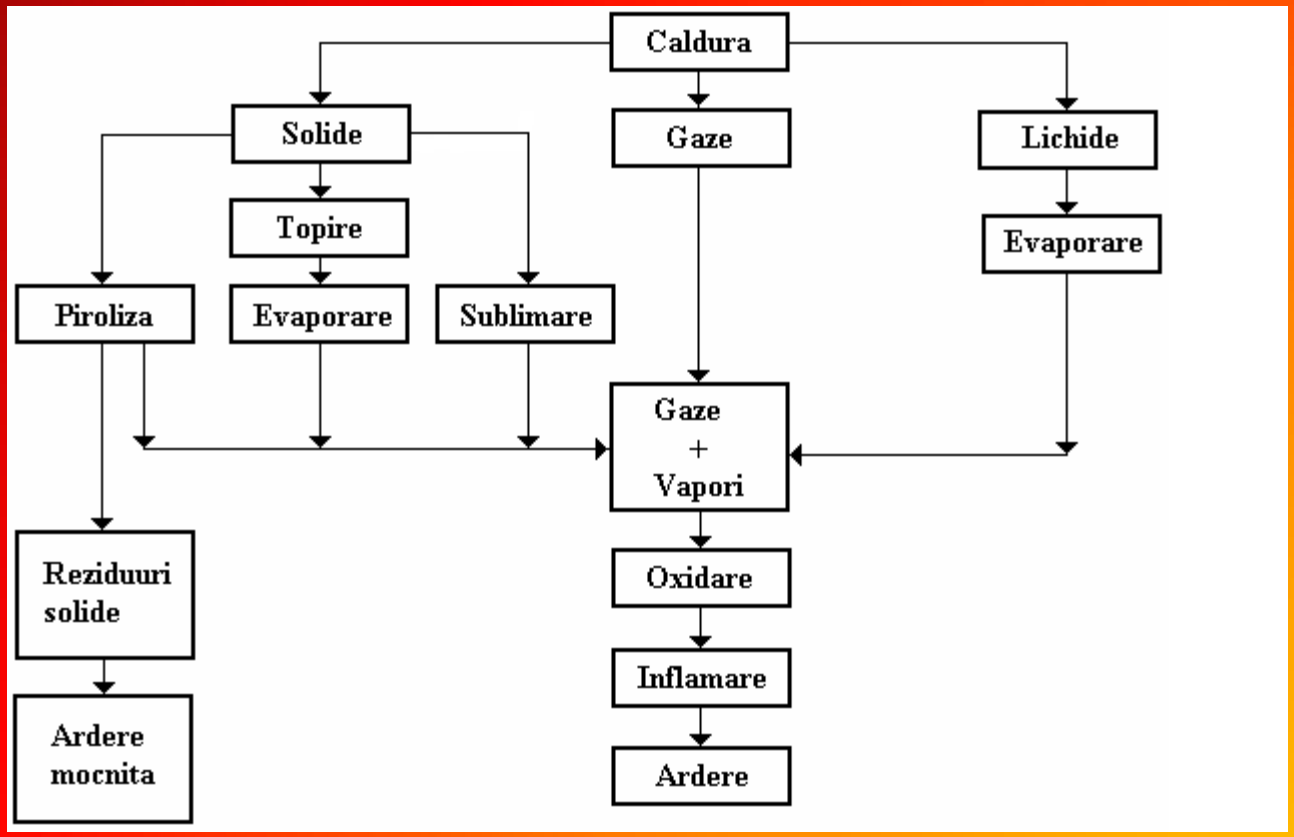
- *temperatura de aprindere*: temperatura minimă până la care trebuie încălzită o substanţă gazoasă combustibilă aflată în prezenţa aerului sau oxigenului pentru a iniţia arderea şi arde în continuare şi după îndepărtarea sursei aprinderii;

- *temperatura de aprindere spontană*/*de autoaprindere*: temperatura minimă până la care trebuie să se încălzească o substanţă gazoasă combustibilă aflată în prezenţa aerului sau oxigenului pentru a iniţia arderea şi arde în continuare şi fără a veni în contact direct cu o sursă de aprindere;

- *energia de aprindere*: mărimea minimă a energiei unei scântei electrice sau mecanice suficientă pentru aprinderea unui amestec de gaz-aer la o anumită concentraţie; este funcţie de parametrii amestecului gazos (compoziţie, presiune, temperatură etc.) şi dispozitivul determinării;

- *limitele de ardere ale gazele combustibile*.

Aprinderea


Caldura
Solide
Gaze
Lichide
Topire
Evaporare
Piroliza
Evaporare
Sublimare
Gaze
+
Vapori
Reziduuri solide
Oxidare
Inflamare
Ardere mocnita
Ardere

Aprinderea

Tabelul 1.4 Temperatura de autoaprindere pentru gaze combustibile uzuale [8]

Nr. crt.	*Substanţa*	*Temperatura (^0C)*	*Nr. crt.*	*Substanţa*	*Temperatura (^0C)*
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

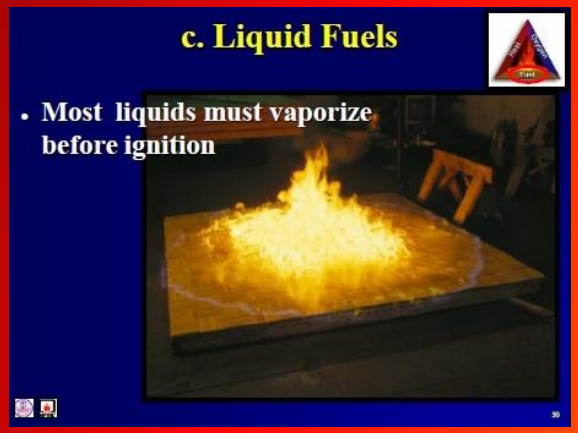
Tabelul 1.5 Energia de aprindere, minimă, pentru gaze combustibile uzuale [8]

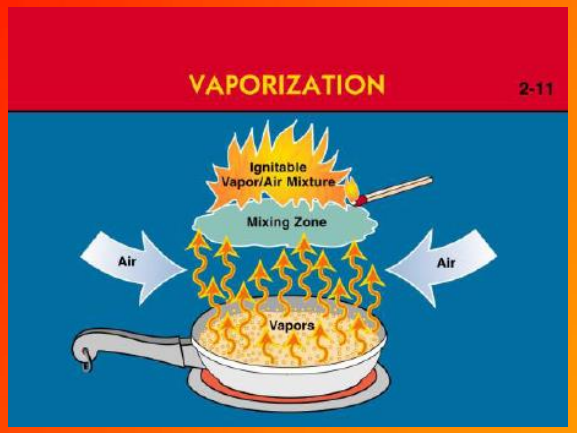
Nr. crt.	*Substanţa*	*Energia minimă (MJ)*	*Nr crt.*	*Substanţa*	*Energia minimă (MJ)*
1	*Acetilenă*	0,02	*9*	*Hidrogen*	0,01
2	*Acetonă*	1,10	*10*	*Metan*	0,26
3	*Alcool etilic*	0,14	*11*	*Metanol*	0,14
4	*n-Butan*	0,26	*12*	*Metilacetonă*	0,28
5	*Benzen*	0,22	*13*	*n-Pentan*	0,22
6	*Ciclohexan*	0,24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

Aprinderea

- ***Aprinderea substanţelor combustibile lichide***

- ***Vaporizarea*** **este procesul trecerii unui lichid în stare de vapori, prin *evaporare* (care se produce numai la suprafaţa lichidului şi la orice temperatură) sau *fierbere*; vaporizarea este cu atât mai intensă cu cât aria suprafaţei lichidului este mai mare, temperatura mai ridicată şi vaporii emanaţi de lichid îndepărtaţi mai repede.**





(NAFI/NFPAFire, Arson & Explosion Investigation Training ProgramAugust 2-4, 2010Enclosure)

Aprinderea

• ***Aprinderea substanţelor combustibile lichide***: **procesul de iniţiere a arderii prin degajarea vaporilor şi aprinderea acestora; este caracterizată de următoarele mărimi fizice:**

- *temperatura de inflamabilitate* (eng. *flash-point*): temperatura minimă, în condiţii de presiune atmosferică normală, la care vaporii degajaţi de un lichid combustibil formează cu aerul (deasupra suprafeţei acestuia) un amestec de o anumită concentraţie ce se aprinde la contactul cu o sursă de aprindere (la această temperatură un lichid combustibil nu arde); temperatura de inflamabilitate constituie un parametru de bază care poate fi folosit pentru indicarea, cu aproximaţie, a temperaturii la care un lichid combustibil prezintă pericol la incendiu (poate fi utilizată ca temperatură pentru siguranţa tehnică la proiectarea clădirilor destinate depozitării lichidelor combustibile);

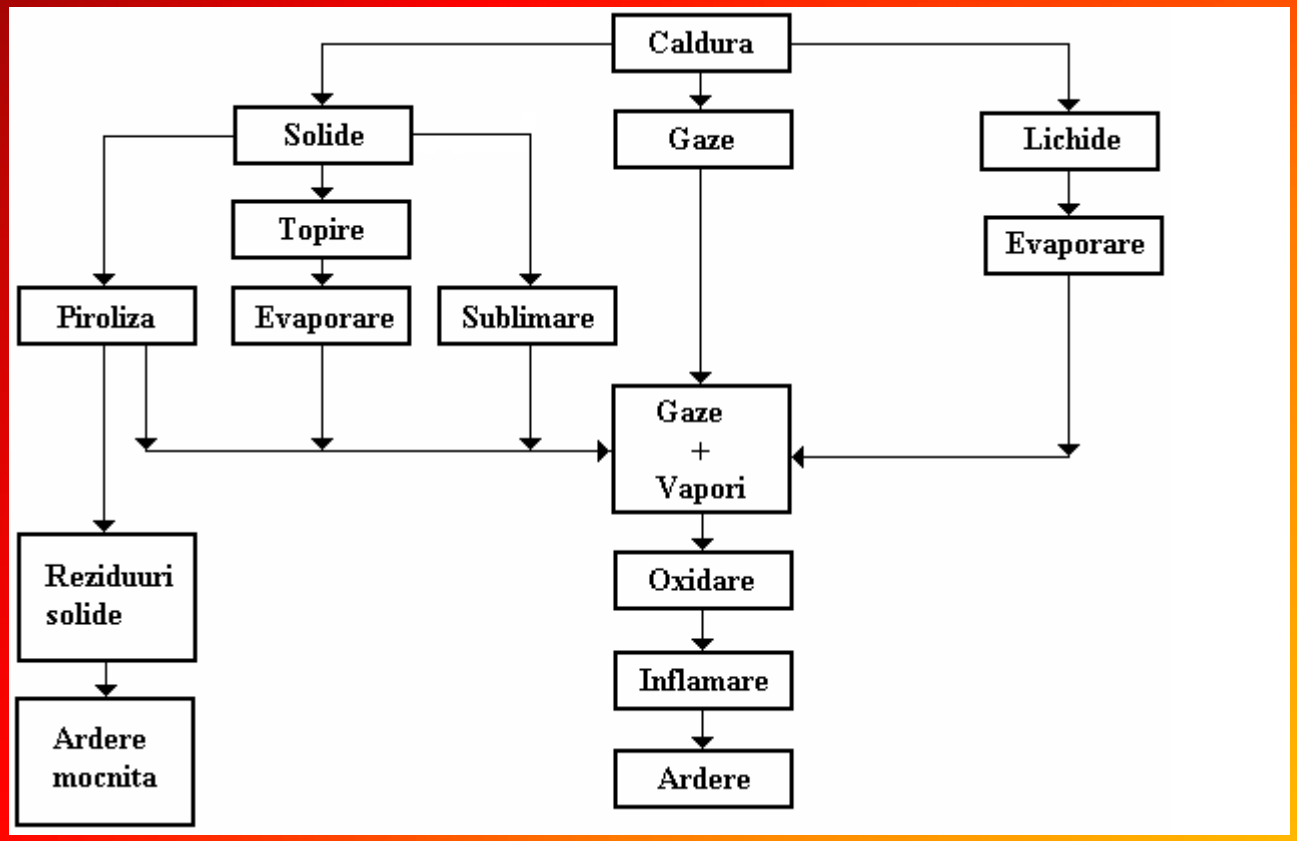
- *temperatura de aprindere*: temperatura minimă la care un lichid combustibil, după *ce s-au aprins vaporii, arde în continuare (prin evaporare continuă);*

- *temperatura de aprindere spontană/de autoaprindere*: temperatura până la care trebuie să se încălzească un lichid combustibil, în prezenţa aerului sau oxigenului şi 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 ale vaporilor*;

- *densitatea vaporilor*.

Aprinderea


Caldura
Solide
Gaze
Lichide
Topire
Evaporare
Piroliza
Evaporare
Sublimare
Gaze
+
Vapori
Reziduuri solide
Oxidare
Inflamare
Ardere mocnita
Ardere

Aprinderea

Tabelul 1.6 Temperatura de inflamabilitate şi aprindere pentru lichide combustibile uzuale [8]

Nr. crt.	*Substanţa*	*Temperatura de inflamabilitate (^0C)*	*Temperatura de aprindere (^0C)*
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	*Ţiţei*	-35÷35	380÷531
21	*Ulei de in*	205	340
22	*Ulei de maşină*	181	355
23	*Ulei de transformator*	147	300
24	*Xilen*	25	144

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

Aprinderea

- ***Aprinderea substanţelor combustibile solide***

- ***Piroliza*** **este procesul descompunerii chimice ireversibile a unui material prin creşterea temperaturii şi în lipsa reacţiei cu oxigenul.**

Aprinderea

- ***Aprinderea substanţelor combustibile solide*:**

  - *care ard cu flacără* (în stare gazoasă): este iniţierea arderii *prin transformarea în vapori fără descompunere* sau *prin sublimare* (cazul camforului) sau *prin topire urmată de vaporizare* (cazul parafinei) şi aprinderea acestora;

  - *care ard mocnit* (în stare solidă fără flacără): este iniţierea arderii *prin creşterea, la început lentă, a căldurii degajate* (abia perceptibilă) *şi, în continuare, proporţional cu temperatura* (depinzând de numeroşi factori ce ţin de material şi mediul ambiant: starea suprafeţei, forma şi granulometria materialelor, prezenţa unor corpuri străine, ventilaţia etc.);

  - *care ard mixt* (în stare solidă cu flacără): este iniţierea arderii *prin descompunerea chimică a substanţei sub acţiunea căldurii* (pirolizâ), *cu degajarea amestecurilor de gaze şi aerosoli* (incluzând şi particule suspendate, *efluenţii arderii*) şi aprinderea acestora;

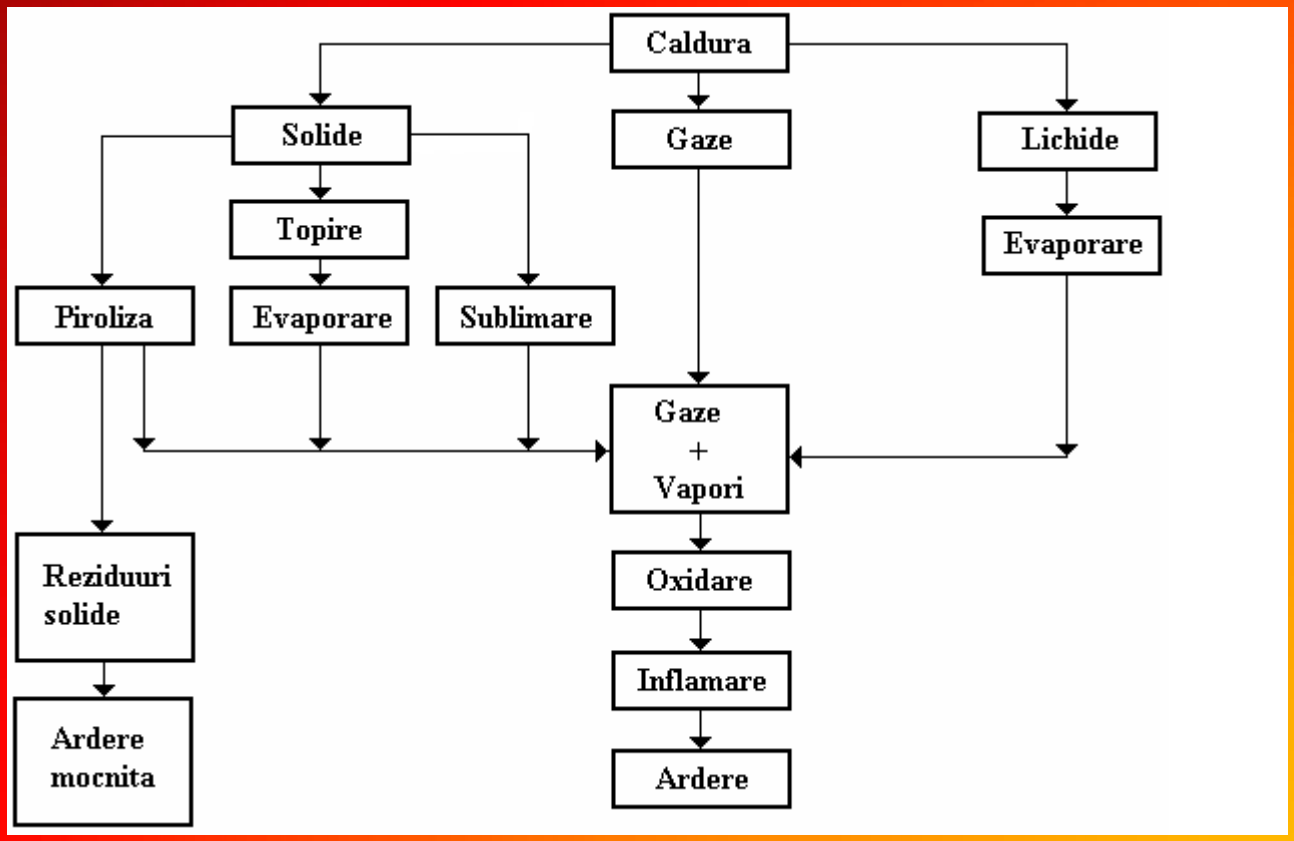
- ***Aprinderea substanţelor combustibile solide* este caracterizată de următoarele mărimi fizice:**

  - *temperatura de aprindere*: temperatura minimă de suprafaţă la care debitul volatilelor este suficient pentru a asigura o flacără susţinută;

  - *inerţia termică*: ce caracterizează aprinzibilitatea substanţelor solide, definită prin produsul dintre conductivitatea termică (λ), densitate masică (ρ) şi căldura specifică (c) (materialele cu inerţie termică mică pot fi aprinse de surse cu energie termică redusă: mucul ţigarii, flacăra chibritului etc.);

  - *căldura de arderel puterea calorifică*.

Aprinderea


Caldura
Solide
Gaze
Lichide
Topire
Evaporare
Piroliza
Evaporare
Sublimare
Gaze
+
Vapori
Reziduuri solide
Oxidare
Inflamare
Ardere mocnita
Ardere

Aprinderea

Tabelul 1.7 Temperatura de aprindere pentru solide combustibile uzuale

Nr. crt.	*Substanţa*	*Temperatura (^0C)*	*Nr. crt.*	*Substanţa*	*Temperatura (^0C)*
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 ţesături*	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	*Coşuri nuiele*	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 roşu*	240	*44*	*Polistiren*	340÷345
19	*Funingine*	900	*45*	*Poliuretan spumă*	310
20	*Grăsimi animale*	340÷450	*46*	*Rumeguş fag*	396
21	*Hamei*	250÷300	*47*	*Rumeguş 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

Aprinderea

Tabelul 1.8 Inerţia termică pentru solide combustibile uzuale

Nr. crt.	*Substanţa*	*Conductivitatea termică (W/m ^{0}C)*	*Densitatea masică (kg/m^3)*	*Căldura specifică (kJ/kg ^{0}C)*	*Inerţia termică (W/m ^{0}C)*
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

• ***Aprinderea spontană/autoaprindera substanţelor combustibile solide*: procesul bazat pe autoîncălzirea substanţei combustibile solide în masă; aceasta poate fi:**

- *chimică*, produsă în masa substanţelor ce au capacitate intensă de combinare cu *oxigenul din aer* (substanţele pirofore, precum fosforul, metalele alcaline etc.), *cu apa* (carbura de calciu, metalele alcaline etc.) sau cu *alte substanţe* (oxidanţii şi peroxizii, precum cloratul de potasiu în contact cu acidul oxalic, acidul azotic şi sulfuric în contact cu materiale celulozice etc.);

- *fizico-chimică*, stimulată de factori fizici şi procese chimice, precum suprafaţa specifică, gradul de aerare, izolarea termică faţă de mediul exterior, prezenţa impurităţilor etc. (cărbunele, bumbacul, azotatul de amoniu, lacurile din ulei, seminţele şi turtele din floarea soarelui);

- *biologică*, stimulată de acţiunea microorganismelor care în urma propriilor procese fiziologice generează substanţe chimice ce conduc la reacţii chimice capabile să producă cantitatea de căldură necesară iniţierii procesului de ardere (*produse vegetale*, precum furaje, borhot, rumeguş din lemn, tutun, tăiţei din sfeclă etc. sau *animale*, precum lână, păr etc.).

Bibliografie

1. Apahidean B., Mreneş M., Combustibili şi 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. şi alţii, Noţiuni de fizică şi chimie pentru pompieri, Comandamentul Pompierilor, Bucureşti, 1971.
4. Bălulescu P., Stingerea incendiilor, Editura Tehnică, Bucureşti, 1981.
5. Bălulescu P., Popescu I.., Ciucă Şt., Îndrumătorul pompierului civil, Oficiul de informare documentară pentru Industria Construcţiilor de Maşini, Bucureşti, 1987.
6. Bălulescu P., Crăciun I., Agenda pompierului, EdituraTehnică, Bucureşti, 1993.
7. Calotă S., Lencu V., Şerban T., Protecţia împotriva incendiilor, vol. 1 şi vol. 2, Bucureşti, 1998.
8. Calotă S., Temian G., Ştirbu 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-Şotropa D., Burlacu L., Fenomene de ardere, Review AICPS nr. 1/2007 Ediţie nouă, Bucureşti, 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.

1.2 Incendiul fenomen în construcţii

(*Incendiu în Massueville Quebec Canada, Wikipedia*)

Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise

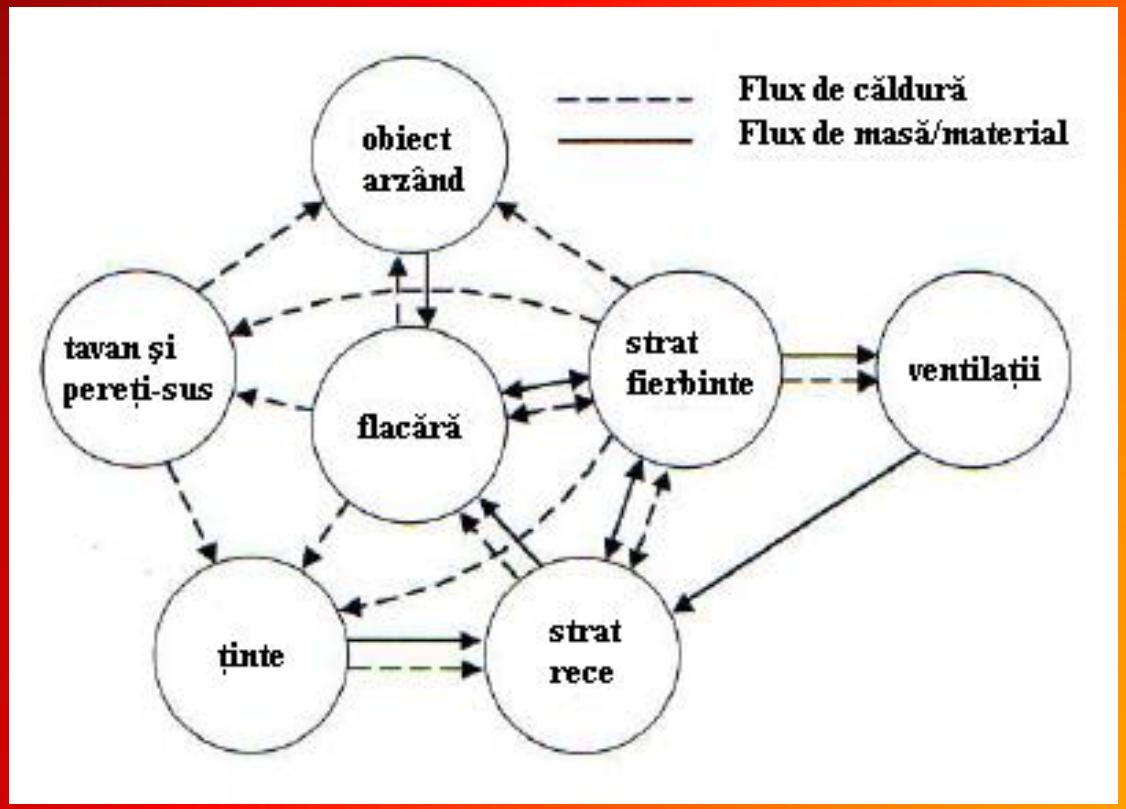
- Terminologie, *SR EN ISO 13943*:
  - *focul* este ardere autoîntreţinută, organizată, cu producere de efecte utile şi a cărei propagare, în timp şi spaţiu, este limitată (*ardere controlată*);
  - *incendiul* este ardere autoîntreţinută, neorganizată, cu producere de efecte dăunătoare şi a cărei propagare, în timp şi spaţiu, este nelimitată dacă nu se intervine (*ardere necontrolată*).

- Incendiul, cu conotaţie juridică, este arderea scăpată de sub control, iniţiată de o cauză bine precizată (voită sau nu), care produce pierderi de vieţi şi/sau de bunuri materiale şi necesită o acţiune de stingere pentru întreruperea ei.

- Incendiul este un proces complex bazat în apariţia şi evoluţia sa pe *procesele de ardere* (incluzând *formarea flăcărilor*), pe *schimbul de căldură* şi *gaze cu mediul adiacent*, precum şi pe *transformările din materialele elementelor construcţiei*; acestea pot fi:
  - incendii în spaţii închise sau
  - incendii în spaţii deschise.

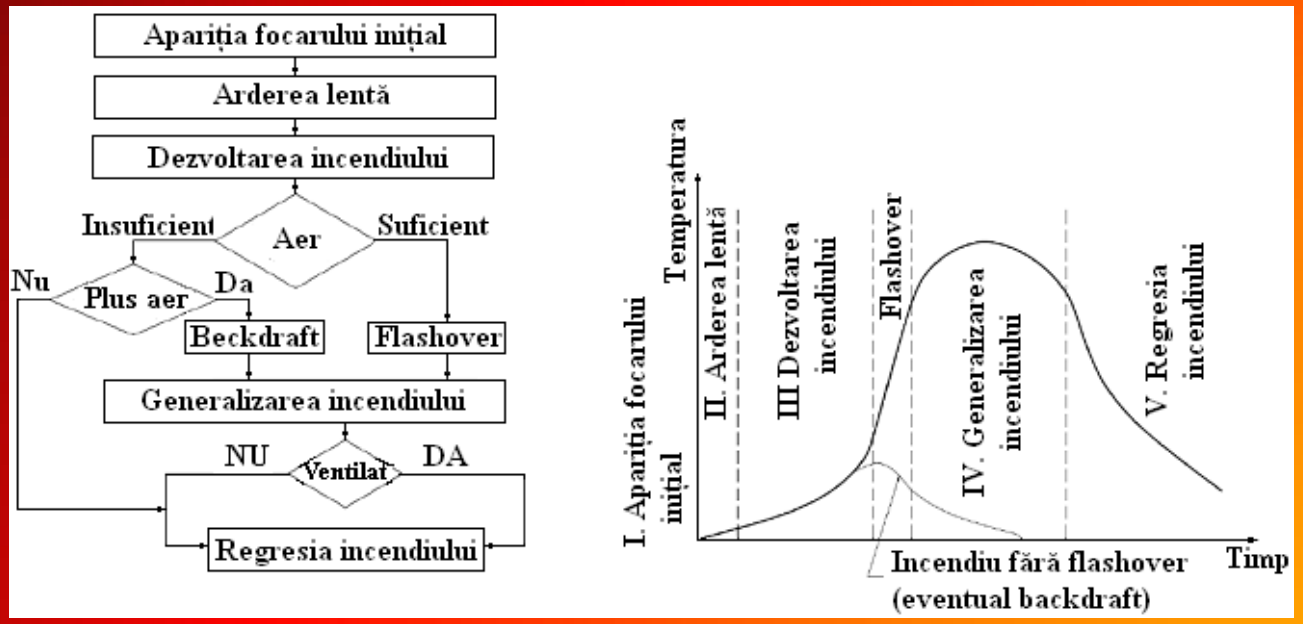
Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise

- **Procesele de ardere specifice incendiilor produse în clădiri (cazul *incendiilor în spaţii închise*) implică fluxuri de căldură şi de masă între combustibil şi mediu.**



Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise

• ***Fazele incendiului produs într-un spaţiu închis*** **şi** ***asupra căruia nu se intervine*****, aşa cum rezultă din analiza evoluţiei lui, sunt cinci:**

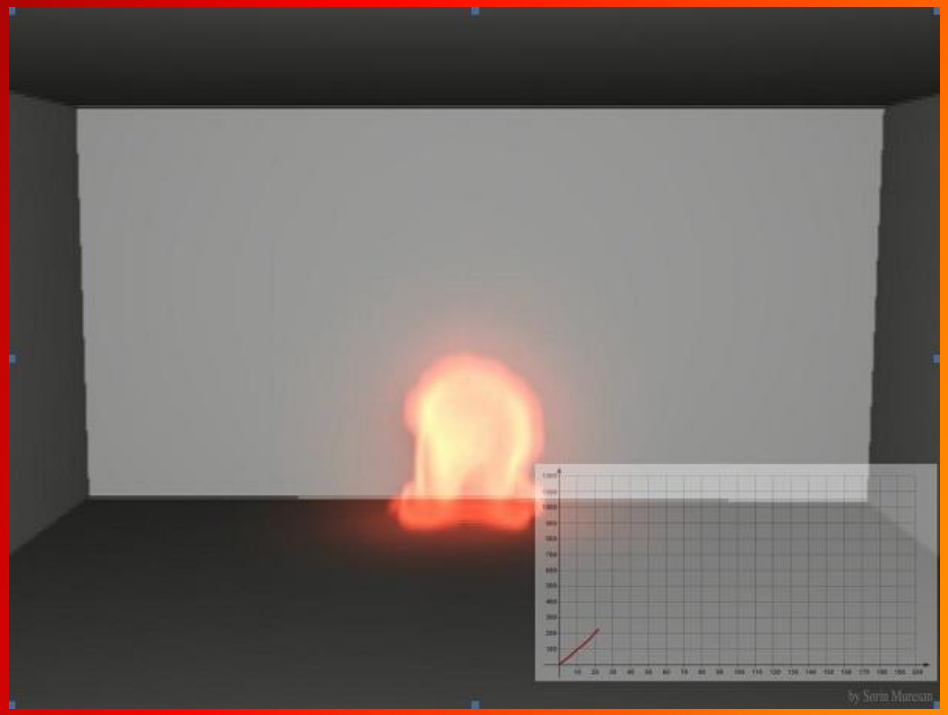


Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise

• ***Faza 1*, *apariţia focarului iniţial al arderii***, **faza în care, datorită unor împrejurări favorizante, sunt puse în contact unul dintre materialele combustibile cu sursa de aprindere a cărei energie, transferată în timpul perioadei de contact, duce la iniţierea incendiului:**

- caracteristic fazei sunt: *temperatura* şi *energia de aprindere*;

- simularea incendiului aflat în această fază este efectuată, acoperitor, prin aprinderea unui produs orientat vertical, de la o flacără mică (vezi scenariul de referinţă pentru testarea reacţiei la foc a produselor de construcţii, SR EN ISO 11925-1).

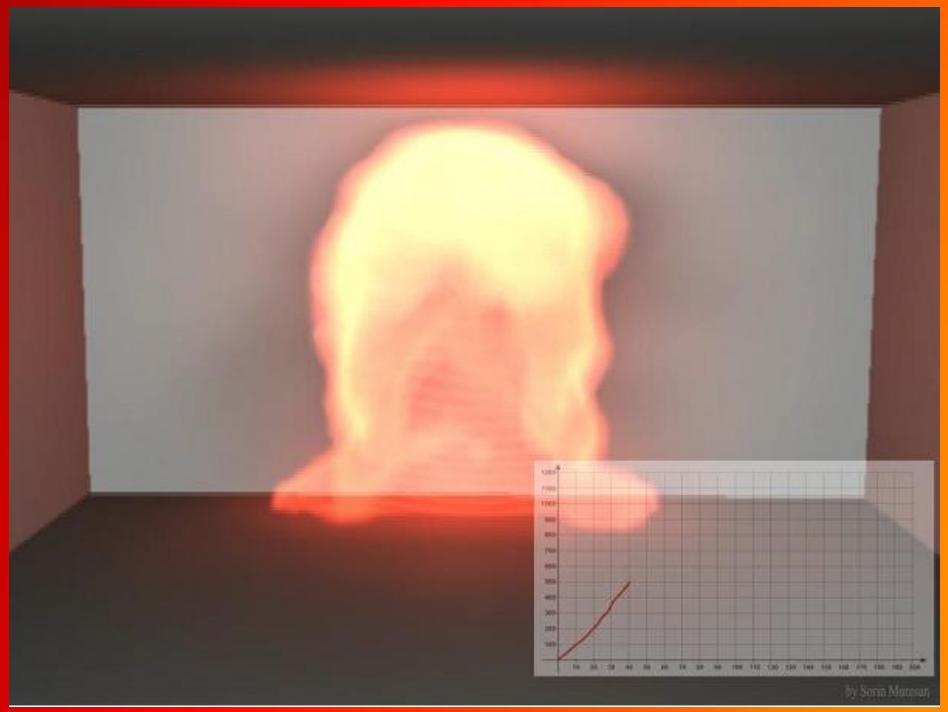


Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise

• ***Faza 2***, ***arderea lentă***, **faza în care arderea este limitată strict la materialele combustibile care constituie focarul iniţial (statistic, peste trei sortimente), termodegradându-le profund, fără distrugerea lor totală:**

- caracteristic fazei sunt *flacăra ascendentă* (*cu înălţimea şi temperatura ei*) şi *debitul de căldură degajat de flacără* (similar incendiului în aer liber fără vânt);

- modelele matematice urmăresc să determine *evoluţia înălţimii* şi *temperaturii flăcării funcţie de timp* (ISO 16734÷16736) în vederea amplasării optime a sistemelor pentru detectarea şi stingerea incendiului.



Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise

- **După stabilizarea arderii, incendiul poate evolua pe una din următoarele căi:**
  - *calea 2.1*, *rămânerea ca incendiu local*, dacă materialul combustibil este izolat;
  - *calea 2.2*, *autostingerea* sau *arderea cu viteză mică*, dacă ventilarea spaţiului este insuficientă;
  - *calea 2.3*, *arderea activăldezvoltarea incendiului* (faza 3).

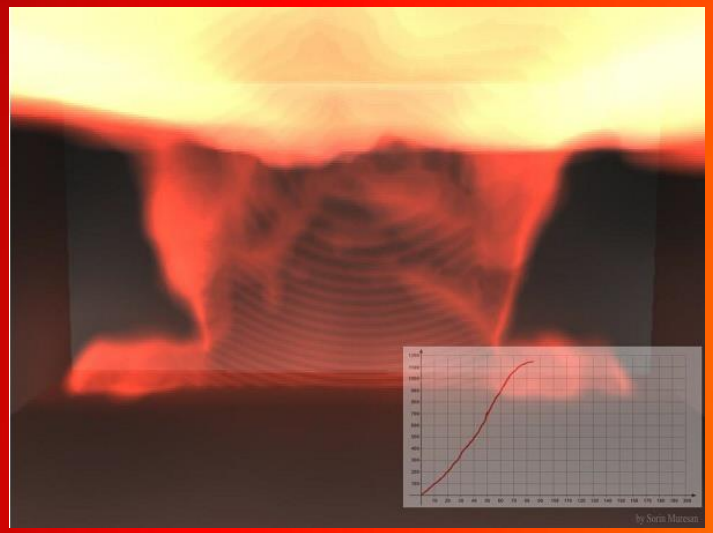
Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise

• ***Faza 3***, ***arderea activă*** **sau** ***dezvoltarea incendiului***, **faza în care arderea se propagă la toate obiectele combustibile învecinate cu focarul, având aerul necesar arderii în cantitate suficientă:**

- caracteristic fazei sunt: ***temperatura*** **(fluctuantă) şi** ***radiaţia fumului şi gazelor fierbinţi acumulate sub tavan*****;**

- simularea incendiului aflat în această fază este efectuată, acoperitor, de arderea unui singur produs, amplasat în colţul camerei (vezi scenariul de referinţă pentru testarea reacţiei la foc a produselor de construcţii, metoda SBI, SR EN ISO 13823);

- modelele matematice elaborate pentru această fază urmăresc ***determinarea evoluţiei debitului de căldură degajat, Q, la timpul t de la începerea incendiului*** **şi** ***la timpul corespunzător stării staţionare a incendiului*** **(pentru evaluarea stabilităţii la foc a elementelor structurale).**



Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise

- **Din această fază, incendiul poate evolua pe una din următoarele căi:**

- *calea 3.1*, *către producerea fenomenului flashover* (termen intraductibil în limba română dar acceptat în literatura de specialitate europeană şi românească prin SR EN ISO 13943 şi SR ISO 8421/1), fenomen tranzitoriu de instalare bruscă a arderii la nivelul tuturor suprafeţelor combustibile din incintă (dacă aerul necesar arderii este în cantitate suficientă); se caracterizează prin scăderea rapidă a cantităţii de oxigen din aer şi creşterea procentului de oxid de carbon (cu până la 20%), precum şi prin creşterea rapidă, exponenţială, a temperaturii şi creşterea masivă şi rapidă a cantităţii de fum genereat, în special, de finisajul cobustibil al pereţilor (este momentul cel mai periculos pentru pompierii care asigură intervenţia la incendiu); urmează evoluţia către faza 4, *arderea generalizată*;

(*Flashover la o discotecă,*
Jean-Baptist Schleilih, Handbook 5, 2005)

Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise

- *calea 3.2*, *către producerea regresiei incendiului*, focul putându-se stinge spontan dacă aerul necesar arderii devine insuficient (în cazul unei incinte închise) sau dacă sunt distanţe relativ mari între masele combustibile (fenomenul conducţiei neproducându-se);
- *calea 3.3*, *către producerea fenomenului backdraft* (termen intraductibil), similar celui de flashover, manifestat în condiţiile existenţei insuficiente a aerului pentru ardere la interiorul spaţiului, dar alimentat cu aer din exterior (cu un conţinut sporit de oxigen) prin spargerea accidentală a unui geam şi/sau deschiderea unei uşi şi/sau apariţia crăpăturilor într-un perete; se caracterizează prin scăderea rapidă a cantităţii de oxigen din aer şi creşterea procentului de oxid de carbon, precum şi prin creşterea rapidă a temperaturii şi creştere masivă şi rapidă a cantităţii de fum.

Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise

• ***Faza 4, arderea generalizată*** **sau** ***generalizarea incendiului*****, faza în care arderea are loc la nivelul întreagii incinte:**

- caracteristic fazei sunt *temperatura* (care se uniformizează spre valori maxime, peste 1100^{0}C) şi *radiaţia* (care devine preponderentă);

- regimul de ardere se stabilizează şi *viteza de ardere*, *m*, este condiţionată:

- în cazul *incendiului ventilat* (de scurtă durată), de *suprafaţa materialelor combustibile* (de existenţa aerului în exces raportat la suprafaţa de contact cu combustibilul), caz în care se calculează cu relaţia $m = K_l \times A_c$

- în cazul *incendiului neventilat*, de *dimensiunile deschiderilor* (de regimul admisiei aerului), caz în care se calculează cu relaţia (după Kawagoe) $m = 5{,}5 \times A_v \times h_v^{0,5}$

unde:

***m* este viteza de ardere, în *kg/min*;**

k_l **- constanta depinzând de materialul combustibil şi viteza de creştere a temperaturii în incintă;**

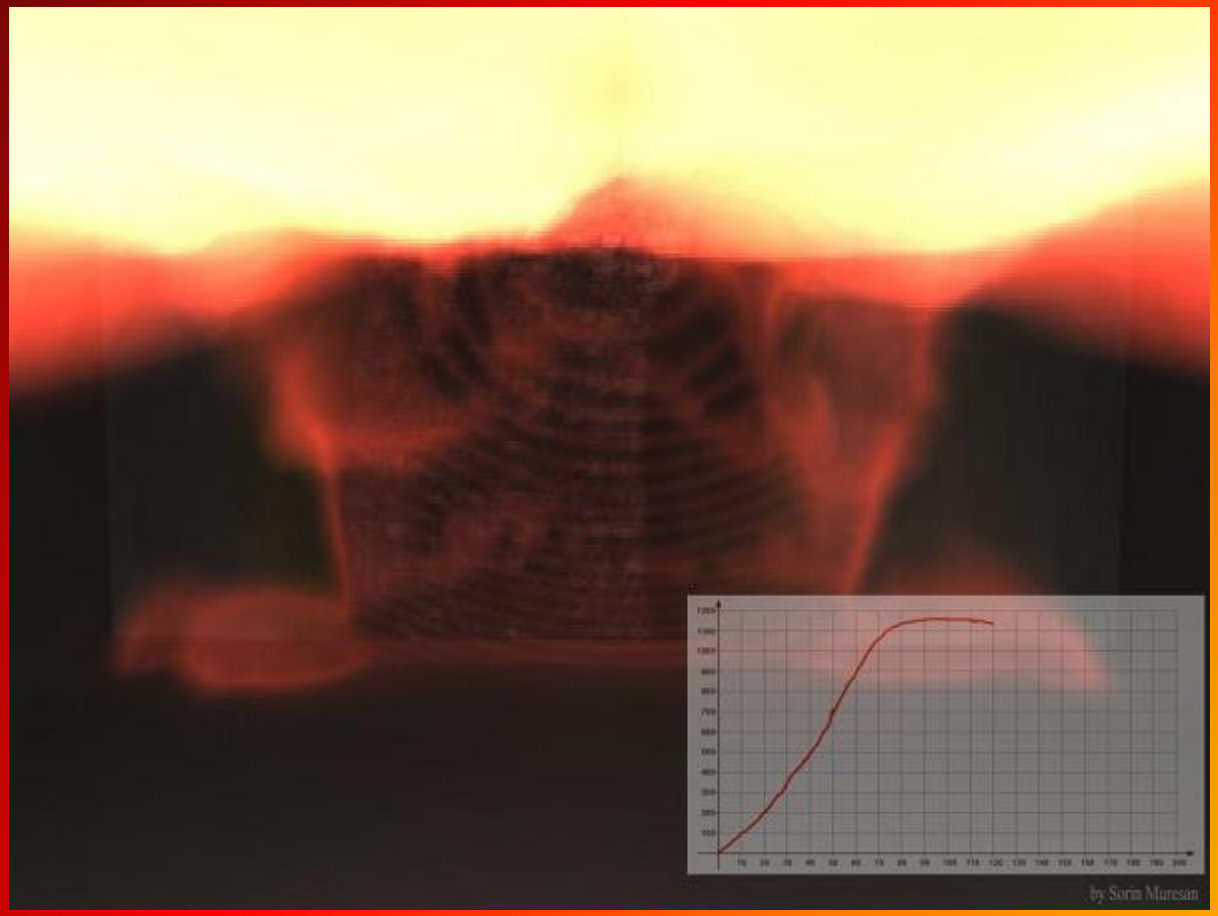
A_c **- suprafaţa de contact materiale combustibile-aer, în m^2;**

A_v **- aria deschiderii pentru ventilare, în m^2;**

h_v **- înălţimea deschiderii pentru ventilare, în *m*;**

- la determinarea performanţei produselor pentru construcţii în condiţiile acestei faze (vezi *Regulamentul privind clasificarea şi încadrarea produselor pentru construcţii cu rol în securitatea la incendiu*) se efectuează *testele privind reacţia la foc* (metoda de încercare pentru determinarea incombustibilităţii, SR EN ISO 1182, şi căldurii de ardere brute (fostă putere calorifică superioară), SR EN ISO 1716), şi *rezistenţa la foc* (metoda testării în cuptor, SR EN 1363/1, 2, 3).

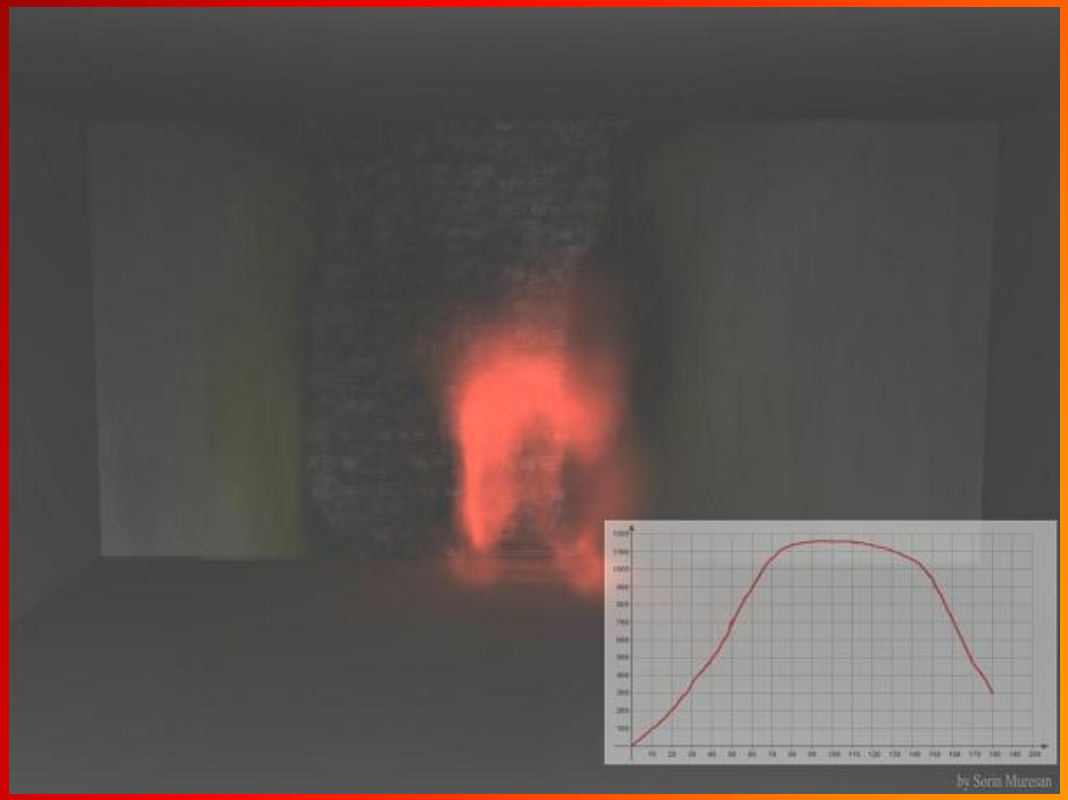
Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise



Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise

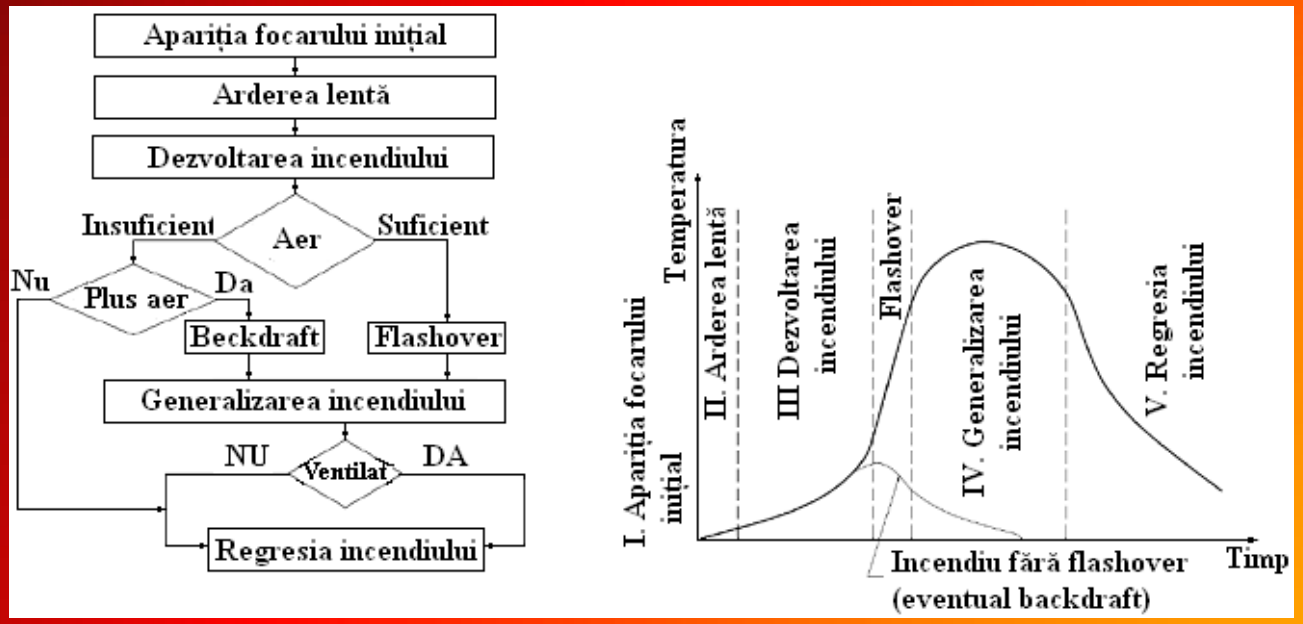
• ***Faza 5, regresia arderii*** **sau** ***regresia incendiului*****, faza în care temperatura şi flăcările se atenuează mult din cauza epuizării combustibilului, în final rămânând jarul şi cenuşa:**

- caracteristice sunt ***temperatura*** **(care încetează să mai crească, chiar scade) şi** ***reinstalarea mediului gazos între flăcări şi elementele construcţiei*****.**



Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise

• ***Fazele incendiului produs într-un spaţiu închis*** **şi** ***asupra căruia nu se intervine*****, aşa cum rezultă din analiza evoluţiei lui, sunt cinci:**

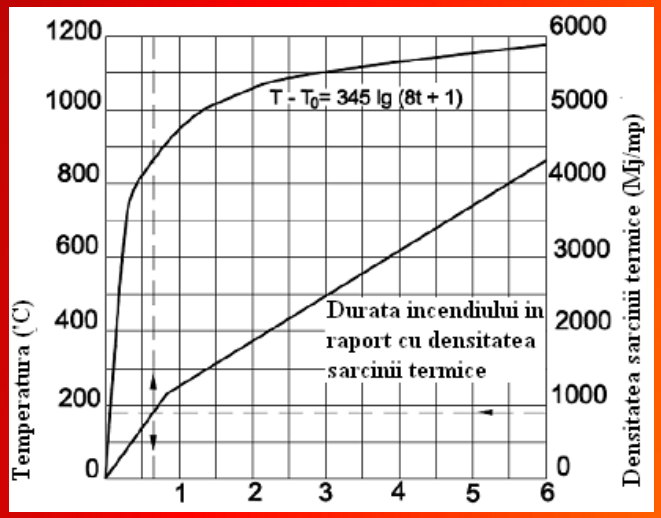


Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise

• *Modelul incendiului*, *curba standard temperatură-timp ISO 834* (introdusă în 1981 de American Society for Testing and Materials (*ASTM*) şi, ulterior, de International Standards Organisation (*ISO*), precum şi de Comitetul pentru Standardizare European (*CEN*), caracterizează creşterea temperaturil funcţie de timpul producerii arderii:

$$T - T_0 = 345 \times \log_{10}(8 \times t + 1)$$

unde: T_0 este temperatura iniţială, în ^0C,
T - temperatura la timpul t de la începerea evoluţiei focului standard, în *min*.



Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise

• ***Principiile arderii,*** **avute în vedere la studiile teoretice ale incendiilor, se referă la:**

- realizarea condiţiei aprinderii şi arderii, prin prezenţa simultană, în timp şi spaţiu, a:

- combustibilului;

- comburantului (oxigenului din aer sau substanţelor care pot ceda oxigenul);

- sursei de aprindere, cu energia capabilă realizării aprinderii;

- realizarea temperaturii de aprindere, prin încălzirea care iniţiază arderea şi susţine propagarea flăcării;

- dezvoltarea în continuare a arderii, pe baza reacţiilor chimice în lanţ, indiferent de sursa iniţială;

- arderea în continuare a combustibilului, prin căldura disipată de flăcări care menţine procesul vaporizării sau pirolizei la nvelul combustibilului;

- posibilitatea arderii până când:

- combustibilul este consumat;

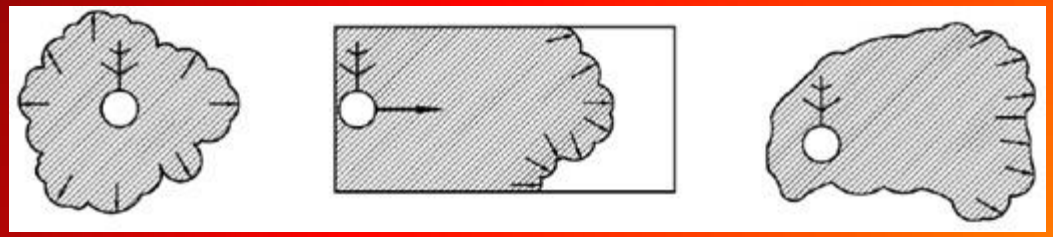
- concentraţia comburantului devine mai mică decât minimul necesar arderii;

- pierderile de căldură sunt atât de mari încât nu mai asigură necesarul pentru desfăşurarea procesului de piroliză a materialului combustibil;

- flăcările sunt inhibate chimic sau suficient răcite pentru a împiedica desfăşurarea, în continuare, a reacţiilor.

Procesul şi evoluţia incendiului în spaţii închise

- ***Forma de dezvoltare a unui incendiu*** **poate fi:**
  - **circulară;**
  - **frontală;**
  - **unghiulară.**



Dinamica incendiilor în clădiri

• ***Factorii care influențează propagarea incendiului*:**

- *în cazul incendiului în spaţii închise* (*cazul clădirilor*), este funcţie de *compoziţia chimică şi viteza de ardere a produsului aprins*, de *sursa potenţială de aprindere*, de *densitatea sarcinii termice*, de *temperatura mediului ambiant*, de *curenţii atmosferici existenţi şi/sau care se formează*, de *obstacolele întâlnite* (pereţi, planşee etc.); aceasta se produce în plan vertical şi orizontal, un rol hotărâtor avându-l *viteza de ardere*, *alimentarea cu aer, precum* şi *temperatura* şi *mărimea flăcărilor*;

- *în cazul incendiului în spaţii deschise* (*exterioare*), se face orizontal (la nivelul solului, focul propagându-se circular şi, de regulă, relativ încet); direcţia propagării este influenţată de *configuraţia terenului* (spre exemplu, în cazul existenţei denivelărilor, focul se propagâ spre partea superioară a pantei), de *curenţii de aer creaţi de foc şi/sau vânt* (spre exemplu, vântul poate crea o direcţie de propagare privilegiată şi, în cazul existenţei unui teren denivelat, poate impune o propagare spre baza pantei), precum şi de *reciprocitatea dintre factori*.

Dinamica incendiilor în clădiri

Tabelul 1.9 Temperatura flăcărilor pentru combustibili uzuali

Nr. crt.	*Provenienţa flăcării*	*Temperatura (^0C)*
1	*Chibrit*	700
2	*Lanuri cereale*	1400÷1500
3	*Benzină*	1200
4	*Motorină*	1100
5	*Ţiţei brut*	1100
6	*Păcură*	1000
7	*Acetilenă*	2500÷3000
8	*Amoniac*	1700
9	*Oxid de carbon*	2100
10	*Propan*	1925
11	*Cherestea*	1200

Tabelul 1.10 Viteza propagării incendiului produsă de materiale/substanţe combustibile uzuale

Nr. crt.	*Materialele, substanţlee sau obiectele combustibile aprinse*	*Viteza medie (m/min)*
1	*Lemn rotund în stive*	0,35÷0,70
2	*Scânduri din lemn (2÷4 cm grosime) în stive:*	
	- la un conţinut de umiditate de 8÷12%	4,00
	- la un conţinut de umiditate de 16÷18%	2,30
	- la un conţinut de umiditate de 18÷20%	1,60
	- la un conţinut de umiditate de 20÷30%	1,20
	- la un conţinut de umiditate de 30%	1,00
3	*Produse textile în depozite închise la o încărcare de 140 kg/m²*	0,33
4	*Suluri din hârtie în depozite închise la o încărcare de 140 kg/m²*	0,27
5	*Cauciuc sintetic în depozite închise la o încărcare de 290 kg/m²*	0,40
6	*Incendiu la iarbă uscată în condiţii de vânt puternic*	400,00÷500,00
7	*Acoperişuri la hale pentru ateliere cu suprafaţă mare*	1,70÷3,20
8	*Produse tehnice din cauciuc în stive aflate în aer liber*	1,10
9	*Case pentru locuit şi magazine, construcţii din lemn, mobilă etc.*	1,00÷1,20
10	*Complexe la păduri cu plantaţii mijlocii la viteze ale vântului de 7÷19 m/s şi umiditate relativă a aerului pe timp de zi de 39%*	22,00
11	*Pădure cu brad-molid şi brazi*	până la 4,20
12	*Pădure cu pini, brazi, tufişuri*	până la 14,20
13	Pădure cu molid	până la 18,00

Dinamica incendiilor în clădiri

• ***Schimbul de gaze***: în faza de început a oricărui incendiu, gazele încălzite se dilată, presiunea creşte şi o parte a fumului şi gazelor fierbinţi generate sunt ridicate în aer, ca în continuare:

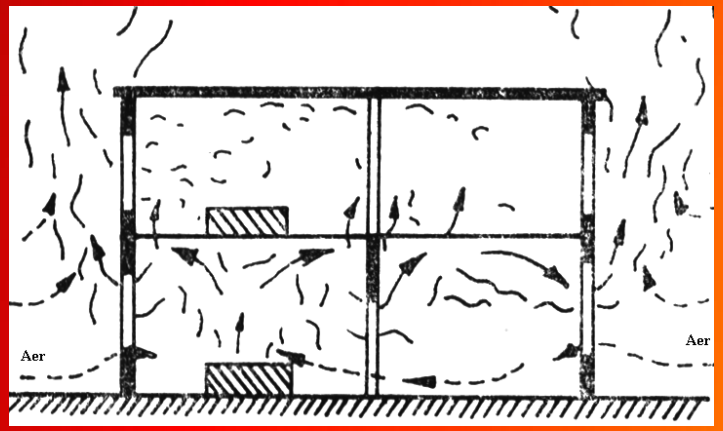
- **în cazul incendiului în spaţii închise**, gazele de ardere, fiind mai uşoare decât aerul, generează o forţă ascensională care pune în mişcare fumul, mai întâi pe verticală, către plafon, şi, apoi, pe orizontală în planul acestuia, acumulându-se într-un strat din ce în ce mai gros; viteza curentului de gaze ascendente este proporţională cu diferenţa dintre temperatura fumului de la partea superioară a încăperii şi tempeatura gazelor mediului ambiant de la partea inferioară a încăperii;
- **în cazul incendiului în spaţii deschise**, pe măsura îndepărtării fumului şi gazelor fierbinţi de zona arderii, scade atât temperatura, cât şi viteza de circulaţie a gazelor pe verticală; viteza curentului de gaze ascendente influenţează dezvoltarea incendiului, materializată prin antrenarea particulelor de materiale solide aprinse; materialele aprinse şi ridicate în aer pierd treptat din viteza mişcării ascendente şi, sub efectul gravitaţiei, cad din curent, împrăştiindu-se pe teritoriul înconjurător, favorizând apariţia unor focare noi; viteza curentului ascendent de fum şi gaze fierbinţi duce la creşterea cantităţii de aer care intră în zonele de ardere şi cauzează intensificarea arderii şi creşterea temperaturii; odată cu accelerarea schimbului de gaze se reduce arderea incompletă - **în cele din urmă, se stabileşte un echilibru între viteza de ardere şi schimbul de gaze**;

Dinamica incendiilor în clădiri

• ***Deplasarea fumului în cazul unui incendiu într-o clădire*** **(pe verticală şi/sau orizontală)** ***este influenţată de tirajul care se creează în caz de incendiu***, **de** ***funcţionarea instalaţiei pentru ventilare sau condiţionare***, **de** ***presiunea curenţilor de aer existenţi***, **astfel:**

- ***în zona arderii*****: fumul se deplasează către partea superioară a încăperii şi, întâlnind un planşeu, se deplasează pe sub acesta în toate direcţiile, iar în cazul unor deschideri iese în exterior, pe la partea superioară a acestora;**

- ***în restul construcţiei*****: depinde de diferenţele de presiune ce se creeză, precum şi de existenţa posibilităţilor de deplasare a gazelor, pe verticală de jos în sus şi de la un nivel la altul: pe orizontală, începând de la ultimul nivel în jos, fumul se propagă pe la casa scării în lungul coridoarelor pentru evacuare, la partea superioară a acestora, cu viteza mersului normal, sau de la o încăpere la alta, când există goluri de legătură între ele (semnificativ în cazul canalelor pentru ventilare, chiar şi în cazul nefuncţionării ventilatoarelor, acestea constituie căi de propagare uşoară a fumului).**



Efectele incendiilor

• ***Incendiile***, **aproximativ 75000 pe an, *produc victime omeneşti*, rezultând mulţi morţi şi răniţi, precum și pierderi materiale care sunt uriaşe, mai mult decât în cazul oricărei alte calamităţi naturale.**

• **Statisticile recente cu privire la incendiile din diferite ţări arată că, în medie, numărul deceselor la 100000 de locuitori variază între 0,54 (Elveţia) şi 2,50 (S.U.A.) şi şansa morţii într-un incendiu este estimată la 1:60000 pe an.**

Tabelul 1.11 Victimele incendiilor la 100000 locuitori (2004÷2008)

Nr. crt.	*Ţara*	*Victime în incendii la 100000 locuitori*	*Nr. crt.*	*Ţara*	*Victime în incendii la 100000 locuitori*
1	*Elveţia*	0,54	*11*	*Norvegia*	1,45
2	*Olanda*	0,59	*12*	*Japonia*	1,56
3	*Austria*	0,96	*13*	*Suedia*	1,68
4	*Iugoslavia*	1,15	*14*	*Franţa*	1,70
5	*Spania*	1,20	*15*	*Finlanda*	1,92
6	***România***	**1,22**	*16*	*Regatul Unit (U.K.)*	2,02
7	*Noua Zeelandă*	1,25	*17*	*Statele Unite ale Americii (S.U.A.)*	2,50
8	*Danemarca*	1,37			
9	*Norvegia*	1,45			
10	*Japonia*	1,56			

Efectele incendiilor

• O situaţie a victimelor la incendii pentru România poate fi urmărită în tabelul următor:

Tabelul 1.12 Victimele incendiilor în România pe grupe de vârstă (2004÷2008)

Nr. crt.	*Categoria de victime*	*Categoria de vârstă (ani)*					
		0÷6	*7÷14*	*15÷25*	*26÷55*	*56÷70*	*>70*
1	*Decedaţi (proporţia cauzei din numărul total, după EURALARM: - fum şi gaze 62,4% - arsuri 26,0% - răniri 10,2% - crize cardiace 0,6% - alte cauze 0,8%)*	6	2	2	51	31	47
2	*Răniţi*	19	17	52	192	72	54

• Numărul persoanelor care prezintă leziuni în urma unui incendiu este mult mai mare decât cel al persoanelor decedate (leziunile sunt efectele incendiilor care necesită asistarea medicală şi/sau tratamentul persoanelor implicate); în multe cazuri, persoanele rănite necesită spitalizare, crescând efectele şi costurile incendiilor.

Efectele incendiilor

- ***Efectele flăcărilor***

Tabelul 1.14 Efectele principale ale incendiilor

Flăcări	*acţiune directă*	- asupra oamenilor: arsuri prin atingere directă (pericol mare pentru aprinderea hainelor: cele sintetice se topesc pe piele, cele din bumbac se aprind repede)
		- prin propagarea incendiului la produsele din apropiere (ardere, explozie)
	efect termic - prin radiaţie	- prin propagarea incendiului la vecinătăţi
		- asupra produselor de construcţii: dilatări, transformări chimice, modificări ale caracteristicilor mecanice şi termice
		- asupra construcţiei: deformarea şi cedarea în timp a elementelor care asigură rezistenţa construcţiei şi/sau a celor pentru compartimentare etc.

Efectele incendiilor

- ***Efectele fumului, gazelor arse şi reziduurilor solide***

Fum, gaze arse	*efect termic - prin radiaţie, convecţie*	- prin propagarea incendiului la distanţe mari de focar, prin tubulaturi, ghene etc.
		- asupra oamenilor: arsuri
		- asupra construcţiei: deformarea şi cedarea în timp a elementelor care asigură rezistenţa construcţiei şi/sau a celor pentru compartimentare etc.
	opacitate	- prin întârzierea evacuării ocupanţilor (ca urmare a reducerii vizibilităţii pe căile evacuării şi/sau instalarea panicii)
		- prin întârzierea intervenţiei (ca urmare a împiedicării localizării precise a focarului şi/sau a victimelor etc.)
	toxicitate	- asupra oamenilor şi animalelor (ca urmare a asfixierii: dată de lipsa oxigenului consumat prin ardere, degajarea oxidului de carbon şi formarea carboxihemoglobinei ce provoacă moartea, degajarea gazelor toxice ca fosgenul, acidul cianhidric, amoniacul etc., având efect letal în anumite concentraţii
	coroziune	- asupra construcţiei: prin atacarea suprafeţelor metalice, armăturilor, betonului, lemnului, din cauza componentelor acide (precum acidul clorhidric, acetic, sulfuric etc.)
		- asupra bunurilor (maşini-unelte şi/sau dispozitive electronice, electrotehnice sensibile la coroziune)
Reziduuri solide (cenuşă, particule incandescente, funingine)	*efect termic*	- asupra oamenilor: arsuri - prin propagarea incendiului la vecinătăţi
	toxicitate	- prin stimularea cancerului

Clasificarea incendiilor

• ***Clasificarea incendiilor*** **după natura substanţelor combustibile implicate în procesul arderii și alte considerente (ISO 3941-87 şi STAS 11841-83, SR EN 2-2004), determină incadrarea incendiilor în:**

- *clasa A*, incendii care implică combustibili solizi a căror ardere are loc cu formare de jar: lemn, hârtie, materiale textile, rumeguş, piele, produse din cauciuc şi mase plastice care nu se topesc la căldură;

- *clasa B*, incendii care implică combustibili lichizi sau solizi ce ard în stare topită: benzină, petrol, alcooli, toluen, lacuri, vopsele, uleiuri, gudroane, ceară, parafină, materiale plastice care se topesc uşor la căldură;

- *clasa C*, incendii care implică combustibili gazoşi: hidrogen, metan, acetilenă, butan, gaz de sondă;

- *clasa D*, incendii care implică metale: sodiu, potasiu, litiu, magneziu, zinc, titan, aluminiu;

- *clasa E*, incendii având cauze de natură electrică;

- *clasa F*, incendii localizate în spaţii pentru gătit care implică, prin procesul tehnologic, utilizarea uleiurilor, grasimilor animale şi/sau vegetale etc..

1.3 Aprecierea severităţii incendiului

Intensitatea de ardere

• ***Intensitatea de ardere*: este dată de căldura degajată în timpul arderii, exprimată în *J* (*Jouli*); cantitatea de căldură produsă de cantitatea unitară de combustibil (*1 kg* în cazul substanţelor lichide şi solide sau *1* m^3_N (*N* indicând condiţii normale) în cazul substanţelor gazoase) defineşte *căldura de ardere* (sau *puterea calorifică*), *Q*, exprimată în *J/kg* sau *J/*m^3_N.**

• ***Căldura de ardere*: (termen care înlocuieşte *puterea calorifică*, vezi SR EN ISO 13943) este direct proporţională cu viteza de ardere, dar invers proporţională cu timpul de ardere şi poate fi utilizată la evaluarea potenţialului distructiv al incendiului; aceasta, după modul condensării vaporilor de apă rezultaţi în procesul de testare, poate fi:**

- *căldura de ardere brută* (*puterea calorifică superioară*, Q_s sau *PCS*) *importantă pentru clasificarea produselor pentru construcţii din punctul de vedere al reacţiei la foc*, SR EN ISO 1716;

- *căldura de ardere netă*, H_u după (*puterea calorifică inferioară*, Q_i sau *PCI*), *importantă pentru calculul sarcinii termice*, SR EN 1991-1-2;

$$Q_s = Q_i + 2510 \times (9h + w)$$

unde:

***2510* este căldura latentă medie de vaporizare a apei, în *KJ/kg*;**

***9h* - cantitatea de apă rezultată din arderea celor *h* kilograme de hidrogen pe care le conţine 1 kg de combustibil;**

***w* - umiditatea din combustibil, în *kg*.**

Intensitatea de ardere

Tabelul 1.15 Puterea calorifică a unor produse combustibile uzuale (*SR EN ISO 1716*)

Nr. crt.	*Substanţa combustibilă*	*PCS (MJ/kg)*	*PCI (MJ/kg)*	*Nr. crt.*	*Substanţa combustibilă*	*PCS (MJ/kg)*	*PCI (MJ/kg)*
1	*Amidon*	17,6	-	*23*	*Lână*	20,7÷26,6	-
2	*Antracit*	30,9÷34,6	30÷34,2	*24*	*Plăci aglomerate*	19,9	-
3	*Benzină*	46,8	43,7	*25*	*Lemn rumeguş*	19,8	-
4	*Bumbac*	16,5÷20,4	-	*26*	*Mangal*	33,7÷34,7	33,2÷34,2
5	*Cauciuc natural*	44,9	42,3	*27*	*Mătase artificială*	13,6÷19,5	-
6	*Cauciuc spumă latex*	33,9÷40,6	-	*28*	*Paie*	15,6	-
7	*Cauciuc anvelope*	32,6	-	*29*	*Păcură*	42,0÷46,1	-
8	*Celuloid*	17,5÷20,6	16,4÷19,2	*30*	*Piele*	18,2÷19,8	-
9	*Celuloză acetat fibre*	17,8÷18,4	16,4÷17,0	*31*	*Plută*	26,1	-
10	*Cox*	28,0÷31,0	28,0÷31,0	*32*	*Policarbonat*	30,9	29,78
11	*Epoxi*	32,8÷33,5	31,1÷31,4	*33*	*Polistiren*	41,4÷42,5	39,7
12	*Fibre acrilice*	30,6	-	*34*	*Polistiren spumă*	39,7	35,6÷40,8
13	*Grăsimi animale*	39,8	-	*35*	*Poliuretan*	23,9	22,7
14	*Grâu*	15,0	-	*36*	*Poliuretan spumă*	26,1÷31,6	23,2÷28,0
15	*Hârtie reviste*	12,7	-	*37*	*Silicon spumă*	14,0÷19,5	-
16	*Hârtie ziar*	19,7	-	*38*	*Ulei de in*	39,2÷39,4	-
17	*Hârtie cerată*	21,5		*39*	*Ulei mineral*	45,8÷46,0	-
18	*Lemn fag*	20,0	18,7	*40*	*Unt*	38,5	-
19	*Lemn brad*	21,0	19,6	*41*	*Untură*	40,1	-
20	*Lemn stejar*	20,2	18,7	*42*	*Uree formaldehidă*	15,9	14,61
21	*Lemn molid*	21,8	20,4	*43*	*Tutun*	15,8	-
22	*Lemn pin*	19,2	17,8	*44*	*Ţiţei*	43,0÷47,1	40,9÷43,9

Intensitatea de ardere

a.

b.

a. bomba calorimetrică pentru combustibilii solizi (şi lichizi grei, care nu se evaporă)
b. calorimetrul cu circulaţie de apă pentru combustibilii gazoşi (şi lichizi volatili)

Instalaţii pentru determinarea căldurii de ardere a combustibililor (wikipedia.org)

Aprecierea căldurii degajate în timpul incendiului

- **Pentru asocierea nivelului de risc la incendiu în construcţii**
  Conform STAS 10903/2-79

- *Sarcina termică*, S_Q, în *MJ*: căldura pe care o poate degaja, prin combustie completă, totalitatea materialelor şi elementelor de construcţii (finisaje, pereţi, pardoseli şi plafoane etc.) combustibile, existente în spaţiul incendiat:

$$S_Q = \Sigma (M_i \times Q_i)$$

unde:

***M_i* este masa materialului combustibil curent din tot spaţiul considerat, în *kg*;**

***Q_i* - puterea calorifică inferioară a materialului combustibil curent (SR EN 1716: 2002 în viguare), în *MJ/kg*.**

- *Densitatea sarcinii termice*, q_s, în *MJ/m²*: sarcina termică aferentă unui spaţiu raportată la aria pardoselii de referinţă:

$$q_s = S_Q / A_s$$

unde:

***A_s* este aria secţiunii orizontale a spaţiului incendiat (pardoseala de referinţă), în *m²*.**

Aprecierea căldurii degajate în timpul incendiului

- **Pentru asocierea nivelului de risc la incendiu în construcţii**
  Conform SR EN 1991-1-2, Anexa E

- *Valoarea de proiectare a densităţii sarcinii termice*, $q_{fi,d}$, în *MJ/m²*:

$$q_{fi,d} = q_{fi,k} \times m \times \delta_{q1} \times \delta_{q2} \times \delta_n$$

unde:

m **este *coeficientul de ardere* şi este funcţie de destinaţia spaţiului şi de tipul sarcinii termice (pentru materiale preponderent celulozice m=0,8);**

$q_{fi,k}$ **- *valoarea caracteristică a densităţii sarcinii termice*, stabilită sau pe baza clasificării sarcinilor termice după tipuri de destinaţii (cazul clădirilor obişnuite/uzuale/tipice) sau pe baza materialelor combustibile adăpostite efectiv (cazul clădirilor atipice), în *MJ/m²*;**

Tabelul 1.16 Densitatea sarcinii termice caracteristică $q_{f,k}$ pentru clădiri obişnuite/uzuale/tipice

Nr. crt.	*Destinaţia*	*Medie (MJ/m²)*	*80% cuantilă (MJ/m²)*
1	*Locuinţe*	780	948
2	*Spitale (camere)*	230	280
3	*Hoteluri (camere)*	310	377
4	*Biblioteci*	1500	1824
5	*Birouri*	420	511
6	*Clase de şcoală*	285	347
7	*Centre comerciale*	600	730
8	*Teatre, cinema*	300	365
9	*Transport (spaţiu public)*	100	122

Note:
1. Distribuţia de tip Gumbel este aplicabilă pentru 80% cuantilă.
2. Valorile indicate în tabel se aplică pentru un coeficient $\delta_{q,2}$=1

Aprecierea căldurii degajate în timpul incendiului

- **Pentru asocierea nivelului de risc la incendiu în construcţii**
  Conform SR EN 1991-1-2, Anexa E

$q_{fi,k}$ **- *valoarea caracteristică a densităţii sarcinii termice*, stabilită pe baza materialelor combustibile adăpostite efectiv (cazul clădirilor atipice), în *MJ/m²***

- valoarea caracteristică a sarcinii termice (*căldurii eliberate*), în *MJ*:

$$Q_{fi,k} = \Sigma(M_{k,i} \times H_{ui} \times \Psi) = \Sigma Q_{fi,k,i}$$

unde:

$M_{k,i}$ **este masa materialului combustibil curent, în *kg*;**

H_{ui} **- căldura de ardere netă (puterea calorifică inferioară) a materialului combustibil curent, în *MJ/kg*;**

Ψ **- coeficientul facultativ care permite evaluarea sarcinii termice de incendiu protejate.**

- obs.: conţinutul în umiditate al materialelor poate fi luat în considerare:

$$H_u = H_{u0} \times (1 - 0{,}01 \times u) - 0{,}025 \times u$$

unde:

u **este conţinutul de umiditate, în % din masa uscată;**

H_{u0} **- căldura de ardere netă (puterea calorifică inferioară) a materialului uscat, în *MJ/kg*.**

- valoarea caracteristică a densităţii sarcinii termice, în *MJ/m²*:

$$q_{fi,k} = Q_{fi,k} / A$$

unde:

A **este aria de referinţă, care poate fi aria planşeului compartimentului (şi în acest caz se notează cu *A_f*) sau aria desfăşurată la interiorul compartimenului (şi în acest caz se notează cu *A_t*), în *m²*.**

Aprecierea căldurii degajate în timpul incendiului

- **Pentru asocierea nivelului de risc la incendiu în construcţii**
  Conform SR EN 1991-1-2, Anexa E

Tabelul 1.17 Valoarea puterii calorifice inferioare H_u pentru combustibili uzuali

Materiale combustibile		H_u *(MJ/kg)*
Materiale solide	*Lemn*	17,5
	Alte materiale celulozice (îmbrăcăminte, plută, bumbac, hârtie, carton, mătase, pai, lână)	20
	Carbon (antracit, cărbune de lemn, cărbune)	30
Produse chimice	*Seria parafinelor (metan, etan, propan, butan)*	50
	Seria olefinelor (etilena, propilenă, butenă)	45
	Seria aromaticelor (benzen, toluen)	40
	Seria alcoolurilor (metanol, etanol, alcool etilic)	30
	Carburanţi (benzină, petrol-gaz lampant, motorină- diesel)	45
	Hidrocarbonaţi plastici puri (polietilenă, polistiren, polipropilenă)	40
Alte produse	*ABS-alchilbenzensulfonat (material plastic)*	35
	Poliester (plastic)	30
	Poliizocianurat şi poliuretan (material plastic)	25
	PVC Policlorură de vinil (material plastic)	20
	Bitum, asfalt	40
	Piele	20
	Linoleum	20
	Anvelope de cauciuc	30

Aprecierea căldurii degajate în timpul incendiului

- **Pentru asocierea nivelului de risc la incendiu în construcţii**
  Conform SR EN 1991-1-2, Anexa E

  - *Valoarea de proiectare a densităţii sarcinii termice*, $q_{fi,d}$, în *MJ/m²*:

  $$q_{fi,d} = q_{fi,k} \times m \times \delta_{q1} \times \delta_{q2} \times \delta_n$$

unde:

δ_{q1} este coeficientul care apreciază riscul de iniţiere a incendiului şi este funcţie de mărimea spaţiului analizat;

δ_{q2} - coeficientul care apreciază riscul de iniţiere a incendiului şi este funcţie de destinaţia spaţiului analizat;

Tabelul 1.18 Riscul de iniţiere al incendiului datorat mărimii compartimentului

A (m²)	δ_{q1}
25	1,10
250	1,50
2500	1,90
5000	2,00
10000	2,13

Notă:
1. Valorile intermediare se determină prin interpolare.

Tabelul 1.19 Riscul de iniţiere al incendiului datorat destinaţiei compartimentului

Destinaţia	δ_{q2}
Galerii de artă, muzee, piscine	0,78
Birouri, locuinţe, hoteluri, industria de papetărie	1,00
Industria construcţiilor de maşini şi motoare	1,22
Laboratoare de chimie, atelier de vopsitorie	1,44
Fabrică de artificii sau de vopsele	1,66

Aprecierea căldurii degajate în timpul incendiului

- **Pentru asocierea nivelului de risc la incendiu în construcţii**
  Conform SR EN 1991-1-2, Anexa E

- *Valoarea de proiectare a densităţii sarcinii termice*, $q_{fi,d}$, în *MJ/m²*:

$$q_{fi,d} = q_{fi,k} \times m \times \delta_{q1} \times \delta_{q2} \times \delta_n$$

unde:

$\delta_n = \Pi\delta_{ni}$ (i=1 posibil până la 10) - coeficientul care apreciază măsurile de protecţie activă aplicate.

Tabelul 1.20 Coeficienţi specifici pentru măsurile de protecţie activă

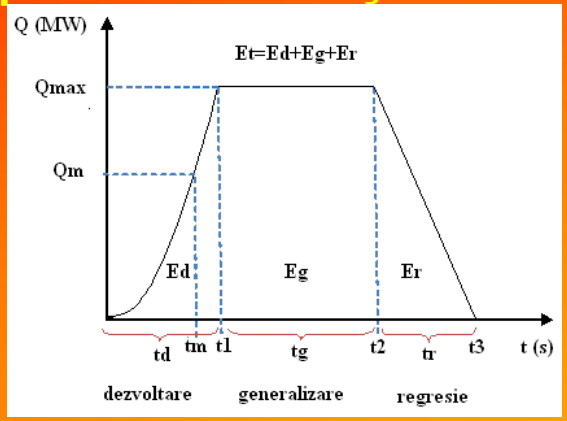
Stingere automată a incendiului				*Detecţia automată a incendiului*			*Stingerea manuală a incendiului*				
Sistem automat de stingere cu apă	*Surse independente de apă*			*Detecţie şi alarmare automate*		*Alarmare automată pompieri*	*Serviciu propriu pompieri*	*Fără serviciu propriu pompieri*	*Căi de acces libere*	*Echipamente de luptă împotriva incendiului*	*Sisteme de desfumare*
	0	1	2	*prin căldură*	*prin fum*						
δ_{n1}	δ_{n2}			δ_{n3}	δ_{n4}	δ_{n5}	δ_{n6}	δ_{n7}	δ_{n8}	δ_{n9}	δ_{n10}
0,61	1,00	0,87	0,70	0,87 / 0,73		0,87	0,61 / 0,78		0,90 / 1,00 / 1,50	1,00 / 1,50	1,00 / 1,50

- *Valoarea de proiectare a sarcinii termice ($Q_{fi,d}$) sau energia totală înmagazinată de combustibil (E_t)*, respectiv valoarea ariei limitată de graficul debitului de căldură eliberată pe parcursul evoluţiei unui incendiu şi axa timpului, în *MJ*:

$$Q_{fi,d} = E_t = q_{fi,d} \times A$$

Aprecierea căldurii degajate în timpul incendiului

- **Pentru aprecierea performanţelor la foc a produselor pentru construcţii**
  Conform SR EN 1991-1-2, Anexa E



- ***Debitul de căldură eliberată*, *Q*, în *MW*:**

  Variaţia debitului de căldură eliberată pe parcursul evoluţiei unui incendiu interior asupra căruia nu se intervine >>>>>> şi etapele evoluţiei incendiului

  - *pentru etapa creşterii incendiului*:

  $Q = (t/t_a)^2$, iar pentru $Q=Q_{max}$ ---> $t_1 = t_a \times (Q_{max})^{0,5}$ ---> $t_d = t_1$ ---> $E_d = (t_1 \times Q_{max}) / 3$

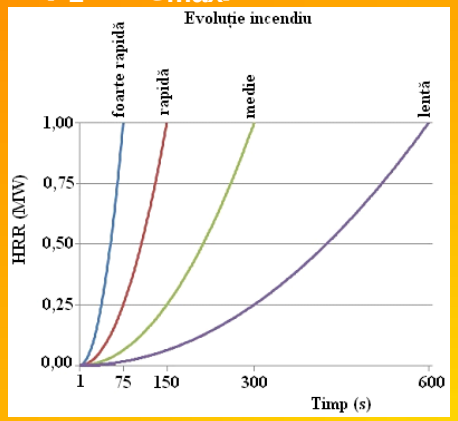
unde:

***t* este timpul măsurat de la declanşarea incendiului, în *s*;**

***t_a* - timpul necesar atingerii unui debit de căldură de 1MW, în *s*.**

Tabelul 1.21 Viteza de dezvoltare a incendiului corelată cu tipul destinaţiei

Destinaţia	*Viteza de dezvoltare a incendiului*	*t_a (s)*
Mobilier capitonat sau din lemn subţire, depozite pentru produse chimice, materiale plastice sau alcool	*Foarte rapidă*	75
Biblioteci , Centre comerciale, Teatre (cinema)	*Rapidă*	150
Locuinţe, Spitale (camere), Hoteluri (camere), Birouri, Clase de şcoală	*Medie*	300
Transport (spaţiu public)	*Lentă*	600



Variaţia debitului de căldură eliberată în metoda t^2

Aprecierea căldurii degajate în timpul incendiului

- **Pentru aprecierea performanţelor la foc a produselor pentru construcţii**
  Conform SR EN 1991-1-2, Anexa E

- *pentru etapa generalizării incendiului*,

- când acesta este controlat prin combustibil:

$$Q = Q_{max} = RHR_f \times A_{fi}$$

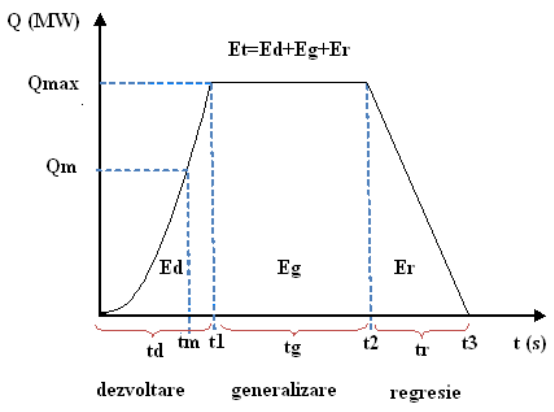
Tabelul 1.22 Debitul maxim de căldură degajată pe 1 m²

Viteza de dezvoltare a incendiului	*RHR_f (MW/m^2)*
Rapidă	0,50
Medie, Lentă	0,25

unde:

RHR_f **este debitul maxim de căldură degajată de 1 m² incendiat, în *MW/m²* (a se vedea SR EN 1991-1-2: 2004, E.4 (8), (9));**

A_{fi} **- aria de referinţă a incendiului, care poate fi identică cu aria compartimentului de incendiu (pentru $q_{fi,d}$ distribuţie uniformă) sau mai mică (pentru incendiu localizat), în *m²* ;**



- când acesta este controlat prin ventilaţie:

$$Q = Q_{max} = 0{,}10 \times m \times H_u \times A_v \times (h_{eq})^{0,5}\, q_{fi,d}$$

unde:

m **este factorul de ardere, acceptat ca fiind m = 0,8;**

H_u **- puterea calorifică inferioară a lemnului, *H_u = 17,5 Mj/kg*;**

A_v **- aria suprafeţelor deschise, în *m²* ;**

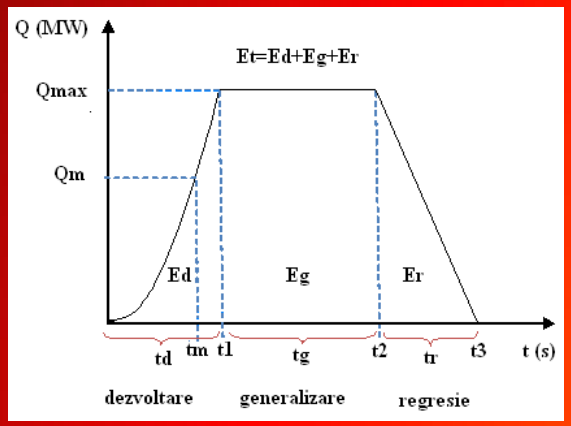
h_{eq} **- înălţimea medie ponderată a deschiderilor, în *m*;**

$$E_g = (0{,}7 \times E_t) - E_d \text{ și } t_g = E_g / Q_{max} \text{ ---> } t_2 = t_d + t_g$$

Aprecierea căldurii degajate în timpul incendiului

- **Pentru aprecierea performanţelor la foc a produselor pentru construcţii**
  Conform SR EN 1991-1-2, Anexa E

- *pentru etapa regresiei incendiului*, etapă care se considerată că începe când 70% din totalul sarcinii termice este consumat:
Q variază liniar până la valoarea zero.



$E_r = 0{,}3 \times E_t$ și $t_r = (2 \times E_r) / Q_{max}$ ---> $t_3 = t_d + t_g + t_r$

Aplicaţii specifice

Studiul de caz 1: stabilirea densităţii sarcinii termice pentru o încăpere tip birou

***Enunţarea problemei*: să se calculeze densitatea sarcinii termice pentru o încăpere tip birou cunoscându-se următoarele date:**

- **aria încăperii: 25 m^2;**
- **conţinutul încăperii:**
  - **1 uşă intrare (1 m × 2,10 m × 0,03 m) din lemn de brad;**
  - **3 birouri de 30 kg fiecare, din lemn de brad 80% şi metal 20%, cu:**
    - **1 corp mobil 22 kg din lemn de brad 80%,**
    - **2 scaune tapiţate conţinând fiecare 2 kg lemn de brad şi 0,5 kg poliuretan,**
    - **hârtie pentru scris 5 kg;**
  - **1 calculator complet echipat de 10,65 kg conţinând 50% material plastic;**
  - **3 dulapuri pentru documente de 57 kg fiecare, din lemn de brad 80%;**
  - **3×3 m cabluri, tuburi etc. cu o greutate de 0,5 kg/m din material plastic;**

***Rezolvarea problemei*: ... .**

- **puterea calorifică, Q_i, a materialelor combustibile:**
  - **lemn: 19,60 MJ/kg,**
  - **hârtie: 16,30 MJ/kg;**
  - **poliuretan: 22,70 MJ/kg;**
  - **material plastic: 33,50 MJ/kg.**

Aplicaţii specifice

Studiul de caz 2: stabilirea focului de calcul pentru o încăpere tip birou

***Enunţarea problemei*: să se stabilească focul de calcul pentru o încăpere tip birou având o suprafaţă de 4,5 m^2, pentru care q_{fk}=420 MJ/m2 (tabelul 1.16) şi RHR=0,25 MW/m^2 (pentru un incendiu cu o viteză de dezvoltare medie, t_a=300 s, talelele 1.21 şi 1.22, şi controlat de combustibil).**

***Rezolvarea problemei*: ... .**

Bibliografie

1. Apahidean B., Mreneş M., Combustibili şi 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. şi alţii, Noţiuni de fizică şi chimie pentru pompieri, Comandamentul Pompierilor, Bucureşti, 1971.
4. Bălulescu P., Stingerea incendiilor, Editura Tehnică, Bucureşti, 1981.
5. Bălulescu P., Popescu I.., Ciucă Şt., Îndrumătorul pompierului civil, Oficiul de informare documentară pentru Industria Construcţiilor de Maşini, Bucureşti, 1987.
6. Bălulescu P., Crăciun I., Agenda pompierului, EdituraTehnică, Bucureşti, 1993.
7. Calotă S., Lencu V., Şerban T., Protecţia împotriva incendiilor, vol. 1 şi vol. 2, Bucureşti, 1998.
8. Calotă S., Temian G., Ştirbu V., Duduc G., Golgojan I. P., Manualul pompierului, Editura Imprimeriei de Vest, Oradea, 2009.
9. Diaconu-Şotropa D., Burlacu L., Fenomene de ardere, Review AICPS nr. 1/2007 Ediţie nouă, Bucureşti, 2007.
10. Drysdale D., An Introduction to Fire Dynamics (Second Edition), John Wiley & Sons, 2008
11. Spearpoint M., Fire Engineering Design Guide (Third Edition), New Zealand Center for Advanced Engineering, 2008.