

## PRELEGAREA 2

### NOȚIUNI DESPRE INCENDIU

#### 2.1 Incendiul ca fenomen în construcții

##### 2.1.1 Procesul și evoluția incendiului în spații închise

Standarde privitoare la terminologia din domeniu (*SR EN ISO 13943*) fac diferența între noțiunile *foc* și *incendiu*, astfel:

- *focul* este ardere autoîntreținută, organizată, cu producere de efecte utile și a cărei propagare, în timp și spațiu, este limitată (*ardere controlată*);

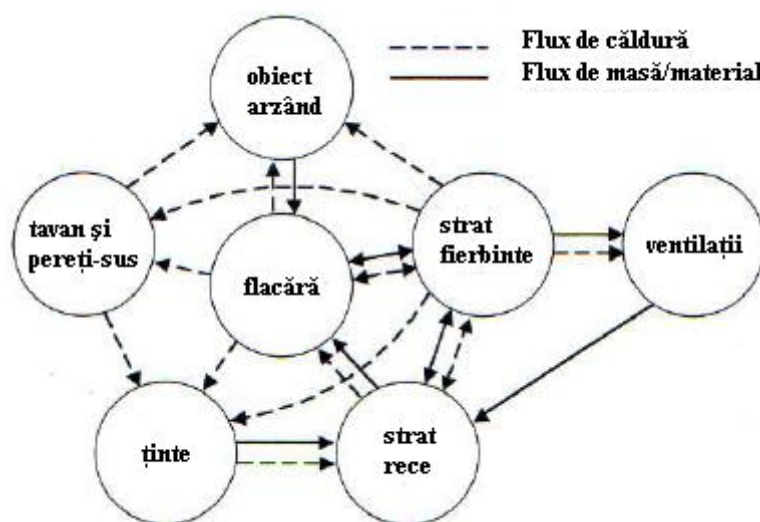
- *incendiul* este ardere autoîntreținută, neorganizată, cu producere de efecte dăunătoare și a cărei propagare, în timp și spațiu, este nelimitată dacă nu se intervine (*ardere necontrolată*).

Incendiul, cu conotație juridică, este arderea scăpată de sub control, inițiată de o cauză bine precizată (voită sau nu) care produce pierderi de vieți și/sau de bunuri materiale și necesită, în vederea întreruperii, o acțiune pentru stingere.

Incendiul este un fenomen complex bazat în apariția și evoluția sa pe *procesele de ardere* (incluzând, când este cazul, *formarea flăcărilor*), pe *schimbul de căldură și gaze cu mediul adiacent*, precum și pe *transformările din materialele elementelor construcției*.

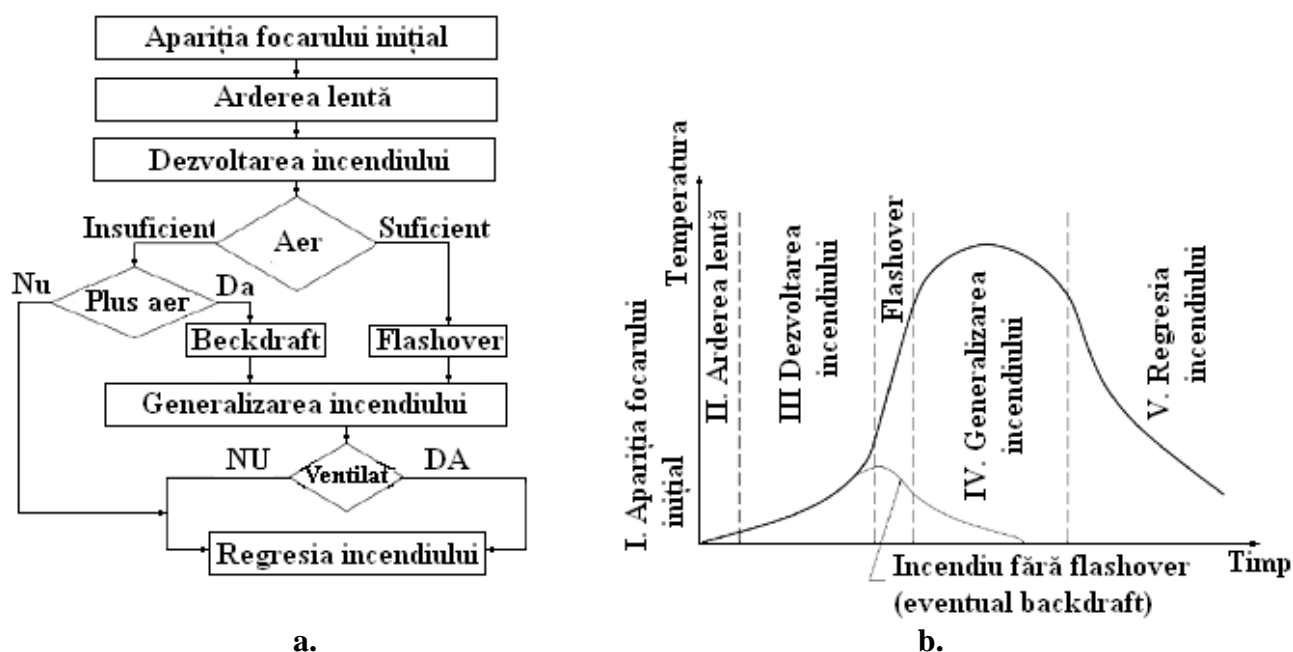
Incendiul (fenomen fizic și chimic complex) este puternic influențat de mediu. Interacțiunile dintre *flacără*, *combustibil* și *mediu* pot fi puternic neliniare și estimarea cantitativă a proceselor implicate este adesea dificilă; incendiile pot fi: *incendii în spații închise* sau *incendii în spații deschise*.

*Procesul de ardere specific incendiilor produse în clădiri* (cazul *incendiilor în spații închise*) implică apariția fluxurilor de căldură și de masă între combustibil și mediu (figura 2.1).



**Figura 2.1** Schema fluxurilor de căldură și de masă în spațiile închise incendiate (după Bjorn Karlsson, James G. Quintiere, 2000)

Fazele incendiului produs într-un spațiu închis și asupra căruia nu se intervine, așa cum rezultă din analiza evoluției lui, sunt cinci (figura 2.2).



**Figura 2.2** Evoluția incendiului produs în spațiu închis și asupra căruia nu se intervine

Faza 1, apariția focarului inițial al arderii, este 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 inițierea incendiului; caracteristice sunt temperatura și energia aprinderii.

Modelarea fizică a focului pentru această fază este efectuată, acoperitor, prin aprinderea unui produs, orientat vertical, de la o flacără mică (vezi scenariul de referință pentru testarea reacției la foc a produselor de construcții, SR EN ISO 11925-1).

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

Cu o durată variabilă ca timp (absentă în numeroase cazuri), poate fi de ordinul minutelor, orelor și, în unele situații, zilelor și săptămânilor (cazul arderilor mocnite); durata acestei faze depinde de natura, cantitatea și modul de distribuire a materialelor combustibile în incintă, precum și de dimensiunile, amplasarea surselor de aprindere și cantitatea de căldură transmisă de acestea (cu cât materialul combustibil se aprinde mai ușor, cu atât căldura degajată este mai mare și propagarea are loc mai rapid).

În această fază, radiația este neglijabilă iar temperatura crește relativ lent, fără a atinge valori importante și fără a modifica esențial temperatura mediului din încăpere. Din descompunerea materialelor rezultă gaze care se acumulează în atmosfera înconjurătoare și formează cu aerul un amestec combustibil, precum și gudroane care vor contribui la propagarea incendiului. Caracteristice fazei sunt flacăra ascendentă (cu înălțimea și temperatura ei) și debitul de căldură degajat de flacără (similar incendiului în aer liber fără vânt). Modelele matematice elaborate pentru această fază urmăresc să determine evoluția înălțimii și temperaturii flăcării funcție de timp (ISO 16734 ... 16736) în vederea amplasării optime a sistemelor pentru detectarea și stingerea incendiului.

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 spațiului este insuficientă;
- calea 2.3, arderea activă/dezvoltarea incendiului (faza 3).

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

Din cauza variației densității și formării curenților de convecție, gazele calde, mai ușoare, se acumulează sub tavan și ies din incintă pe la partea superioară a deschiderilor, fiind înlocuite de un curent de aer rece care pătrunde pe la partea inferioară; caracteristice sunt *temperatura* (care, în diferite puncte ale incintei, este mult diferită, suferind importante și rapide fluctuații) și *radiația* (care devine principalul factor al transferului de căldură, ca urmare a formării stratului gazelor fierbinți și fumului acumulat sub tavan și care propagă incendiul și în zone mai îndepărtate de foc prin încălzirea materialelor până la temperatura de aprindere), natura și finisajul pereților având un rol esențial dat de aportul suplimentar, însemnat, al radiației termice (radiația reciprocă între pereți).

Modelarea fizică a focului este efectuată, pentru această fază, acoperitor, prin arderea unui singur produs amplasat în colțul camerei (vezi scenariul de referință pentru testarea reacției la foc a produselor de construcții, metoda SBI, SR EN ISO 13823).

Modelarea matematică a focului, pentru această fază, urmărește *determinarea evoluției debitului de căldură degajat,  $Q$ , la timpul  $t$  de la începerea incendiului și la timpul corespunzător stării staționare a incendiului* (important pentru evaluarea stabilității la foc a elementelor structurale).

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

- *calea 3.1, producerea fenomenului flashover* (termen intraductibil în limba română dar acceptat în literatura de specialitate europeană și română prin SR EN ISO 13943 și SR ISO 8421/1), fenomen tranzitoriu de instalare bruscă a arderii la nivelul tuturor suprafețelor combustibile din incintă (dacă aerul necesar arderii este în cantitate suficientă); se caracterizează prin scăderea rapidă a cantității de oxigen din aer și creșterea procentului de oxid de carbon (cu până la 20%), precum și prin creșterea rapidă, exponențială, a temperaturii și creșterea masivă și rapidă a cantității de fum generat, în special, de finisajul combustibil al pereților (este momentul cel mai periculos pentru pompierii care asigură intervenția la incendiu); *urmează evoluția către faza 4, arderea generalizată*;

- *calea 3.2, producerea regresiei incendiului*, focul putându-se stinge spontan dacă aerul necesar arderii devine insuficient (în cazul unui spațiu închis) sau dacă distanțele sunt relativ mari între masele combustibile (fenomenul conducției nemaiputându-se produce);

- *calea 3.3, producerea fenomenului backdraft* (termen intraductibil), similar celui de flashover, manifestat în condițiile existenței insuficiente a aerului pentru ardere la interiorul spațiului, dar alimentat cu aer din exterior (cu un conținut sporit de oxigen) prin spargerea accidentală a unui geam și/sau deschiderea unei uși și/sau apariția crăpăturilor în pereți; se caracterizează prin scăderea rapidă a cantității de oxigen din aer și creșterea procentului de oxid de carbon, precum și prin creșterea rapidă a temperaturii și creșterea masivă și rapidă a cantității de fum.

*Faza 4, arderea generalizată sau generalizarea incendiului* este faza în care arderea are loc în întreaga incintă; caracteristic fazei sunt *temperatura* (care se uniformizează spre valori maxime, peste 1100°C) și *radiația* (care devine preponderentă).

În cursul acestei faze, structurile care asigură rezistența construcției sunt cele mai afectate de incendiu, fisurează și se dislocă pereți, se largesc deschideri etc., având loc propagarea incendiului în incintele alăturate și apoi în întreaga clădire.

Regimul de ardere se stabilizează și viteza de ardere,  $m$ , este condiționată:

- în cazul *incendiului ventilat* (de scurtă durată), de *suprafața materialelor combustibile* (de existența aerului în exces raportat la suprafața de contact cu combustibilul), caz în care se calculează cu relația 2.1a:

$$m = K_1 \times A_c \quad (2.1a)$$

- în cazul *incendiului neventilat*, de *dimensiunile deschiderilor* (de regimul admisiei aerului), caz în care se calculează cu relația 2.1b (după Kawagoe):

$$m = 5,5 \times A_v \times h_v^{0,5} \quad (2.1b)$$

unde:  $m$  este viteza de ardere, în  $kg/min.$ ;

$k_l$  - constanta depinzând de materialul combustibil și de viteza de creștere a temperaturii în incintă;

$A_c$  - suprafața de contact materiale combustibile-aer, în  $m^2$ ;

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

$h_v$  - înălțimea deschiderii pentru ventilare, în  $m$ .

La determinarea performanței produselor de construcții în condițiile acestei faze (vezi *Regulamentul privind clasificarea și încadrarea produselor de construcții cu rol în securitatea la incendiu*) se efectuează testele privind reacția la foc (metoda determinării incombustibilității, SR EN ISO 1182, și a căldurii de ardere brute/puterii calorifice superioare, SR EN ISO 1716) și testele privind rezistența la foc (metoda testării în cuptor, SR EN 1363/1, 2, 3).

*Faza 5, regresia arderii sau regresia incendiului*, este faza în care temperatura și flăcările se atenuează mult, din cauza epuizării combustibilului, în final rămânând jarul și cenușa; caracteristice sunt *temperatura* (care încetează să mai crească, chiar scade) și *reinstalarea mediului gazos între flăcări și elementele construcției*.

Importanța acestei perioade nu trebuie subestimată din punctul de vedere al măsurilor de securitate; temperatura scade, dar nu brusc, rămânând mult timp foarte mare, acțiunea ei distructivă asupra structurii care asigură rezistența construcției neputând fi neglijată. Uneori, chiar în această fază, incendiul se poate transmite încăperilor și/sau clădirilor vecine (obstacolul reprezentat de pereți nemale rezistând în timp).

Având în vedere fazele descrise, evoluția unui incendiu într-un spațiu închis poate fi reprezentată sub forma unei scheme logice (figura 2.2a) sau unui grafic (figura 2.2b).

*Modelul incendiului*, stabilit pe baza experimentelor și măsurării temperaturilor la incendii reale, devenit clasic, cunoscut ca și *curba standard temperatură-timp ISO 834* (introdusă în 1981 de American Society for Testing and Materials-ASTM și ulterior de International Standards Organisation-ISO, precum și de Comitetul pentru Standardizare European-CEN), caracterizează creșterea temperaturii funcție de timpul producerii arderii (figura 2.3); expresia matematică a curbei este dată de relația 2.2 (acest model standardizat al incendiului este acceptat pe plan mondial):

$$T - T_0 = 345 \times \log_{10}(8 \times t + 1) \quad (2.2)$$

unde:  $T_0$  este temperatura inițială, în  $^{\circ}C$ ;

$T$  - temperatura la timpul  $t$  de la începerea evoluției focului standard, în *minute*.

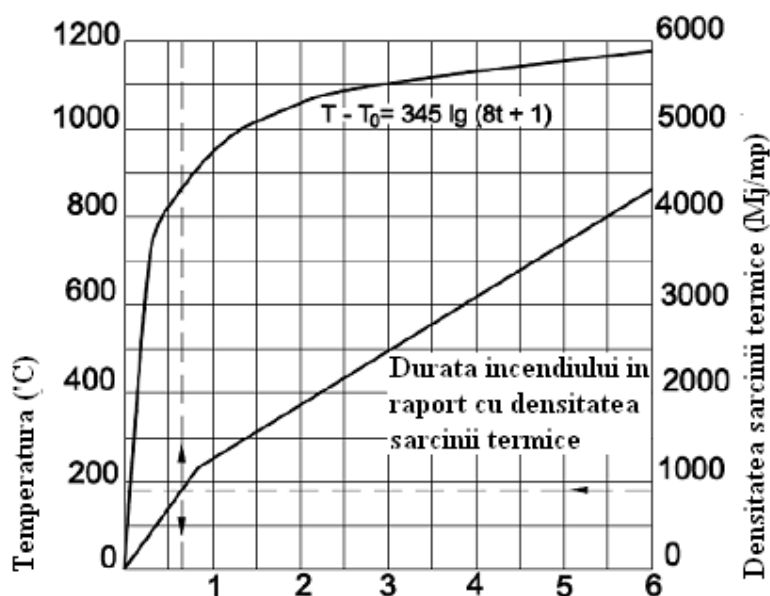
Documentul normativ SR EN 1991-1-2 paragraful 2.3(3) precizează că, în cazul structurilor pentru care se specifică cerințe pentru rezistența la foc, se poate considera *curba standard temperatură-timp ISO 834* ca focul de calcul relevant (dacă nu se fac alte precizări).

Curba din figura 2.3 este utilizată ca *program termic la cuptorul pentru determinarea rezistenței la foc a elementelor de construcții* (pereți, stâlpi, grinzi, planșee etc.).

Pentru că evoluția focului, pe timpul unui incendiu, este aleatoare (intervenind numeroși factori, precum sarcina termică a incendiului, forma și dimensiunile încăperii, aria și poziția deschiderilor spre exterior, natura și poziționarea materialelor combustibile, locul și modul de inițiere a incendiului, dispunerea încăperii în clădire etc.), nu pot exista două incendii identice; din acest motiv au fost dezvoltate modele diverse menite să aprecieze cât mai corect realitatea acestuia.

*Incendiul convențional izbucnit în spațiu deschis* evoluează similar cu cel în spațiu închis, cu următoarele particularități:

- se dezvoltă, de la început, pe întreaga suprafață a materialului atins de flăcări;
- mărimea flăcărilor depinde de condițiile meteorologice și dinamica curenților care afluiască către locul incendiului;
- produsele arderii sunt bogate în particule din cărbune.

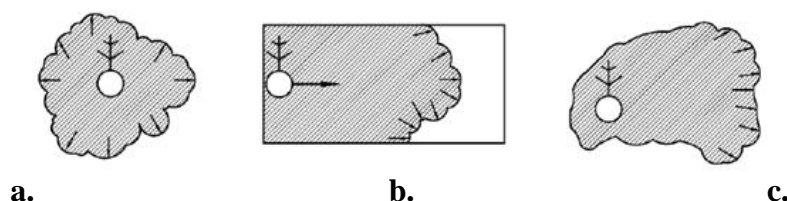


**Figura 2.3** Curba standardizată temperatură-timp, ISO 834, model de incendiu și program termic pentru cuptorul de testarea la foc

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

- realizarea condiției aprinderii și arderii, prin prezența simultană, în același spațiu, a:
  - combustibilului;
  - comburantului (oxigenului din aer sau substanțelor care pot ceda oxigenul);
  - sursei de aprindere, cu energia necesară;
- realizarea temperaturii de aprindere, prin încălzirea care inițiază arderea și susține propagarea flăcării;
- dezvoltarea în continuare a arderii prin reacțiile chimice în lanț, indiferent de sursa inițială;
- arderea în continuare a combustibilului prin căldura disipată de flăcări, procesul vaporizării sau pirolizei în combustibilului;
- posibilitatea arderii până când:
  - combustibilul este consumat;
  - concentrația comburantului devine mai mică decât minimul necesar arderii;
  - pierderea căldurii este atât de mare încât nu mai asigură necesarul desfășurării, în continuare, a procesului pirolizei materialului combustibil;
  - posibilitatea inhibării chimice sau răcirii suficiente a flăcării pentru împiedicarea desfășurării, în continuare, a reacțiilor.

*Forma de dezvoltare a incendiului*, figura 2.4, poate fi: circulară (a), frontală (b) sau unghiulară (c).



**Figura 2.4** Forme de dezvoltare a unui incendiu [3]

## 2.1.2 Dinamica incendiilor în clădiri

### Propagarea incendiilor

*Propagarea incendiului în spații închise (cazul clădirilor)* este funcție de compoziția chimică și viteza de ardere a produsului aprins, de densitatea sarcinii termice, de sursa potențială de aprindere, de temperatura mediului ambiant, de curenții atmosferici existenți și/sau care se formează, de obstacolele întâlnite (pereți, planșee etc.); aceasta se produce în plan vertical și orizontal, un rol hotărâtor avându-l viteza arderii și alimentarea cu aer, precum și temperatura flăcărilor (tabelul 2.1) și mărimea acestora.

**Tabelul 2.1** Temperatura flăcărilor pentru combustibili uzuali

Nr. crt.	Proveniența flăcării	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	Chibrit	700
2	Lanuri cereale	1400÷1500
3	Benzină	1200
4	Motorină	1100
5	Țiței brut	1100
6	Păcură	1000
7	Acetilenă	2500÷3000
8	Amoniac	1700
9	Oxid de carbon	2100
10	Propan	1925
11	Cherestea	1200

Înălțimea flăcărilor,  $H_{fl}$ , poate fi apreciată utilizând diverse modele pentru foc.

Vitezele de propagare a incendiilor produse de combustibili uzuali sunt date în tabelul 2.2.

Propagarea incendiului în clădire, din spațiul unde s-a inițiat (încăpere, compartiment de incendiu) către alte spații ale clădirii, se face și prin:

- transmiterea conductivă a căldurii la interiorul elementelor delimitatoare ale spațiului adiacent celui incendiat;
- penetrarea directă a flăcărilor în spațiul adiacent celui incendiat prin crăparea sau prăbușirea elementelor despărțitoare ale construcției.

*Propagarea incendiului în spații deschise (exterioare)* se face orizontal (la nivelul solului, focul propagându-se circular și, de regulă, relativ încet). Direcția propagării este influențată de configurația terenului (spre exemplu, în cazul existenței denivelărilor, focul se propagă spre partea superioară a pantei), de curenții de aer creați de foc și vânt (spre exemplu, vântul poate crea o direcție de propagare privilegiată și, în cazul existenței unui teren denivelat, poate impune o propagare spre baza pantei), precum și de reciprocitatea dintre factori.

### Schimbul de gaze

În faza de început a oricărui incendiu, gazele încălzite se dilată, presiunea crește și o parte a fumului și gazelor fierbinți generate sunt ridicate în aer.

În cazul incendiului în spații închise, gazele de ardere, fiind mai ușoare decât aerul, generează o forță ascensională care pune în mișcare fumul, mai întâi pe verticală, către plafon și, apoi, pe orizontală în planul acestuia, acumulându-se într-un strat din ce în ce mai gros.

Creșterea vitezei curenților de gaze ascendente este proporțională cu diferența dintre temperatura fumului de la partea superioară a încăperii și temperatura gazelor mediului ambiant de la partea inferioară a încăperii.

**Tabelul 2.2** Viteza propagării incendiului produsă de materiale/substanțe combustibile uzuale

Nr. crt.	Materialele, substanțele 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 conținut de umiditate de 8÷12% - la un conținut de umiditate de 16÷18% - la un conținut de umiditate de 18÷20% - la un conținut de umiditate de 20÷30% - la un conținut de umiditate de 30%	4,00 2,30 1,60 1,20 1,00
3	Produse textile în depozite închise la o încărcare de 140 kg/m <sup>2</sup>	0,33
4	Suluri din hârtie în depozite închise la o încărcare de 140 kg/m <sup>2</sup>	0,27
5	Cauciuc sintetic în depozite închise la o încărcare de 290 kg/m <sup>2</sup>	0,40
6	Incendiu la iarbă uscată în condiții de vânt puternic	400,00÷500,00
7	Acoperișuri la hale pentru ateliere cu suprafață mare	1,70÷3,20
8	Produse tehnice din cauciuc în stive aflate în aer liber	1,10
9	Case pentru locuit și magazine, construcții din lemn, mobilă etc.	1,00÷1,20
10	Complexe la păduri cu plantații mijlocii la viteze ale vântului de 7÷19 m/s și umiditate relativă a aerului pe timp de zi de 39%	22,00
11	Pădure cu brad-molid și brazi	până la 4,20
12	Pădure cu pini, brazi, tușișuri	până la 14,20
13	Pădure cu molid	până la 18,00

În cazul incendiului în spații deschise, pe măsura îndepărtării fumului și gazelor fierbinți de zona arderii, scade atât temperatura, cât și viteza circulație a gazelor pe verticală. Mărimea vitezei curentului gazelor ascendente influențează dezvoltarea incendiului, materializată prin antrenarea particulelor din materialele solide aprinse. Materialele aprinse și ridicate în aer pierd treptat din viteza mișcării ascendente și, sub efectul gravitației, cad din curent, ele împrăștiindu-se pe teritoriul înconjurător, favorizând apariția unor focare noi.

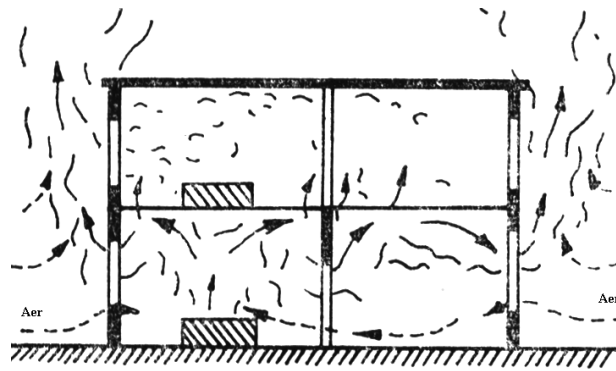
Creșterea vitezei curentului ascendent de fum și gaze fierbinți duce la creșterea cantității de aer care intră în zonele de ardere și cauzează intensificarea arderii și creșterea temperaturii. Odată cu accelerarea schimbului de gaze se reduce arderea incompletă; în cele din urmă, se stabilește un echilibru între viteza de ardere și schimbul de gaze.

### Deplasarea fumului în interiorul clădirilor

Deplasarea fumului generat de un incendiu la interiorul unei clădiri, pe verticală și/sau orizontală, este influențată de *tirajul care se creează, de funcționarea instalației pentru ventilare sau condiționare și de presiunea curenților de aer existenți.*

În zona arderii, fumul se deplasează către partea superioară a încăperii (figura 2.5) și, întâlnind un planșeu, se deplasează pe sub acesta în toate direcțiile, iar în cazul deschiderilor iese în exterior, pe la partea superioară a acestora.

În restul construcției, mișcarea fumului depinde de diferența de presiune ce se creează și de existența posibilităților deplasării gazelor pe verticală de jos în sus și 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 pentru realizarea legăturii între ele (semnificativ în cazul canalelor pentru ventilare, chiar și în cazul nefuncționării ventilatoarelor, acestea constituind căi pentru propagarea ușoară a fumului).



**Figura 2.5** Împrăștierea fumului și gazelor fierbinți în cazul incendiilor în clădiri [5]

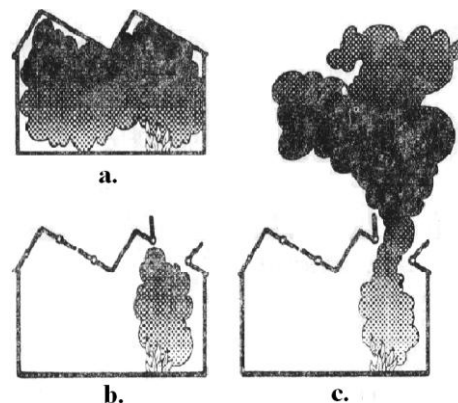
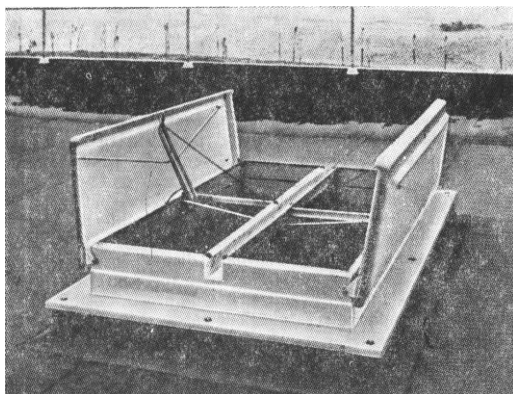
### Ventilarea spațiilor incendiate

*Ventilarea naturală a încăperii influențează viteza de ardere*, care este proporțională cu raportul dintre suprafața deschiderilor și suprafața pardoselii, astfel:

- când raportul este mare, situația este caracterizată de sporirea vitezei de ardere și reducerea arderii incomplete (cazul incendiilor ventilate, când schimbul de gaze crește pe măsură ce suprafața golurilor și/sau deschiderilor este mai mare);
- când raportul este mic, situația este caracterizată de reducerea vitezei de ardere și creșterea arderii incomplete, cu mult fum conținut în produsele de ardere (cazul incendiilor neventilate la subsoluri).

Ventilarea naturală se poate face:

- ușor, prin deschiderea ferestrelor care permite căldurii și fumului să iasă pe la partea superioară, în timp ce aerul proaspăt pătrunde pe la partea inferioară a acestora;
- când este rațional, prin realizarea unor trape pentru ventilare (din construcția clădirii) amplasate, în general, pe acoperiș, funcție de particularitățile constructive și poziția punctelor periculoase (figura 2.6);
- când incendiul ia proporții mari, încât clădirea nu mai poate fi salvată, și pentru menținerea acestuia sub control în limitele clădirii, prin introducerea țevilor pentru refularea și ventilarea incendiului sau prin practicarea unor deschideri în anvelopa construcției de către pompierii aflați la intervenție (figura 2.7).



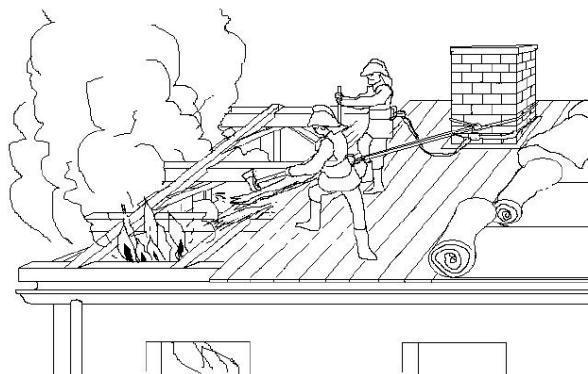
Trapă pentru ventilare în funcțiune a. efectul lipsei trapelor: inundarea cu fum (minute)  
b.,c. efectul prezenței trapelor: evacuarea fumului (secunde)

**Figura 2.6** Dispozitive pentru ventilare la clădiri [5]

*Ventilarea artificială a încăperii* (existența unui sistem pentru ventilare) influențează direcția și viteza schimbului de gaze, rolul acesteia accentuându-se mai ales în perioada de



dezvoltare a incendiului, când schimbul de gaze care se produce în urma arderii este mic în comparație cu puterea curenților de aer din sistemul pentru ventilare. Aceasta duce la intensificarea arderii și abaterea ei în direcția curenților de aer din sistemele pentru ventilare.



**Figura 2.7** Intervenții de urgență la acoperiș, pentru realizarea ventilării incendiului

Schema curenților de aer nu este fixă, din cauza condițiilor în care are loc incendiul; pentru fiecare incendiu există și o anumită schemă a curenților de aer.

Într-o clădire, în cazul unui incendiu se acumulează căldură și fum în cantitate mare, putând provoca pierderi importante dacă nu se recurge la o ventilare adecvată.

### 2.1.3 Cauzele incendiilor

Stabilirea cauzelor incendiilor permite realizarea unor statistici reale, cu consecințe importante la nivelul macro- și/sau micro-social. Evidențierea corectă a celor mai frecvente cauze la incendii, a dinamicii acestora, asigură perfecționarea permanentă a legislației, elaborarea unor norme eficiente pentru apărare împotriva incendiilor, cu măsuri specifice în domenii specifice, și crearea unei culturi pentru prevenirea incendiilor prin informarea publicului asupra riscurilor existente și dezvoltarea unor programe educaționale adecvate.

Cercetarea cauzelor incendiilor impune o abordare științifică și este un domeniu specializat cu o terminologie specifică. Sunt necesare cunoștințe temeinice despre arderea materialelor, termodinamica incendiului, transferul căldurii. Cunoașterea legităților și principiilor generale, reproductibile, permite studierea aspectelor specifice fiecărui incendiu.

Cercetarea cauzelor incendiilor presupune, în același timp, o abordare criminalistică modernă, dar și de o specificitate deosebită (*după Sorin Calotă, Gheorghe Popa, George Sorescu, Simion Dolha, 2010*).

*Componentele cauzei incendiului* sunt: *primul material aprins, sursa, mijlocul, împrejurarea*; trebuie remarcat că anumite circumstanțe (înlăturarea urmelor pentru reluarea rapidă a activității, numărul redus de indicii determinat de distrugerile masive, producerea în zone izolate și lipsa personalului calificat) nu permit identificarea certă și univocă a fiecăreia din cele patru componente ale cauzei incendiului și, ca urmare, concluzia formulată poate avea două sau mai multe variante probabile, iar pe cale de consecință sunt situații la care cauza incendiului rămâne nedeterminată (în curs de stabilire) o perioadă mai mare sau mai mică de timp, în orice statistică națională un procent variabil (5% ÷ 30%) revenind incendiilor cu cauză nedeterminată.

*Interesul investigatorului* cauzei incendiului este, mai întâi, identificarea particularităților primei faze a incendiului, respectiv determinarea focarului și ampretei incendiului (*identificarea produselor care se aprind primele*) și, ulterior, evidențierea sursei de aprindere și împrejurărilor în care a izbucnit și s-a propagat incendiul.

*Tipurile surselor de aprindere*, așa cum apar ele în rapoartele la intervenții și analiza statistică la pompierii români, sunt: *arcul sau scânteia electrică, efectul termic al curenților*

*electric, scurtcircuitul electric, electricitatea statică, flacăra deschisă, flacăra închisă, efectul termic (căldura prin contact sau radiație), frecarea, scânteia mecanică, jarul sau scânteia (inclusiv țigara), autoaprinderea, reacția chimică, explozia, substanța incendiară, trăsnetul, precum și alte surse (radiația solară, energia nucleară, căderea unor corpuri din atmosferă etc.).*

*Mijloacele producerii surselor de aprindere, grupate, pot fi identificate cu:*

- *sisteme electrice*: aparatele electrocasnice, corpurile pentru iluminatul electric, aparatele pentru întrerupere și control, conductorii și alte echipamente;

- *sisteme care produc electricitate statică*: destinate depozitării, vehiculării și transportului lichidelor sau pulberilor combustibile, incluzând curele pentru transmiterea mișcării, pentru spălare în lichide combustibile, precum echipamentele, uneltele și sculele care se încarcă electrostatic;

- *sisteme cu flacăra deschisă*: brichetele, chibriturile, lămpile, spirtierele, lumânările, torțele, făcliile;

- *foc în aer liber*;

- *țigară*;

- *aparate pentru încălzit*: cazanele, cuptoarele, aparatele pentru gătit, sobele, uscătoarele, dispozitivele pentru sudură, tăiere sau lipire cu gaz sau lichide combustibile;

- *utilaje și sisteme pentru acționare*: motoarele, locomotivele, mașinile;

- *metale (materiale) care ard sau care produc scurgeri topite*;

- *conducte (canalele) pentru agenți termici, ventilare sau produse ale arderii*: burlanele și coșurile pentru fum, conductele pentru încălzire sau tehnologice cu abur sau alte fluide calde;

- *produse care se pot aprinde spontan*;

- *produse și substanțe care pot produce explozii*;

- *trăsnet*;

- *corpuri supraîncălzite de soare*;

- *reactoare sau arme nucleare*.

*Împrejurările determinante care intervin ca parametru și în evaluarea riscului la incendiu, grupate, pot fi identificate cu:*

- *instalațiile electrice defecte*;

- *echipamentele electrice improvizate*;

- *aparatele electrice sub tensiune*;

- *sistemele pentru încălzire defecte*;

- *mijloacele pentru încălzire improvizate*;

- *mijloacele pentru încălzire nesupravegheate*;

- *coșurile, burlanele pentru fum defecte sau necurățate*;

- *cenușa, jarul sau scânteia de la sistemele pentru încălzire*;

- *jocul copiilor cu focul*;

- *fumatul*;

- *focul deschis*;

- *aprinderea spontană/autoaprinderea sau reacțiile chimice*;

- *scânteile mecanice, electrostatice sau din frecare*;

- *scurgerile (scăpările) de produse inflamabile*;

- *defecțiunile tehnice la construcții montaj*;

- *neregulile organizatorice*;

- *defecțiunile tehnice în exploatare*;

- *explozia urmată de incendiu*;

- *accidentul tehnic*;

- *trăsnetul și alte fenomene naturale*;

- *acțiunea intenționată (arsonul)*;

- *alte împrejurări*;

- *nedeterminate*.

*Clasificarea incendiilor după cauzele care le-au produs* se poate face în funcție de elementele obligatorii pentru producerea acestuia, dar, în cele mai multe cazuri, se optează pentru analiza naturii surselor aprinderii; astfel, deosebim *categoriile de incendii după sursa de aprindere*:

- *cu flacără*:
  - focuri în aer liber;
  - flacără (chibrit, lumânare);
  - flăcări de la aparatele termice;
- *de natură termică*:
  - obiecte incandescente (țigară, topituri metalice, becuri și proiectoare electrice, jar, cenușă, zgură de la aparatele de încălzit, particule incandescente de la sudură etc.);
  - căldură degajată de aparate termice (casnice, industriale);
  - efect termic al curentului electric;
  - coșuri defecte și necurățate (fisuri, scânteii etc.);
- *de natură electrică*:
  - arcuri și scânteii electrice;
  - scurtcircuit (echipamente, cabluri etc.);
  - electricitate statică;
- *prin aprindere spontană*:
  - aprindere spontană de natură chimică (inclusiv reacții chimice exoterme);
  - aprindere spontană de natură fizico-chimică;
  - aprindere spontană de natură biologică;
- *de natură mecanică*:
  - scânteii mecanice;
  - frecare;
  - *naturale*:
    - căldură solară;
    - trăsnet;
- *datorate explozivilor și materialelor incendiare*;
- *indirecte* (radiația unui focar de incendiu, flacăra unui amestec exploziv etc.).

*Incendiile provocate* (incendii tip *arson*) sunt tratate separat, din cauza particularităților deosebite, deși sursele de aprindere utilizate, de regulă, de incendiatori se regăsesc în categoriile anterioare.

Explozia, ca fenomen tehnic distinct, trebuie tratată ca împrejurare declanșatoare a incendiului și nu ca sursă de aprindere. Pe de o parte, explozia, ca orice ardere, poate genera sau nu un incendiu iar pe de altă parte, sursele de inițiere ale unei explozii nu sunt întotdeauna identice cu cele ale incendiului rezultat (de exemplu: comprimarea adiabată între anumite limite), fiind necesară o evidență clară, distinctă a cauzelor la explozii și la incendii, pentru a evita confuzii și paralelisme. În principal, o explozie poate genera un incendiu prin flacăra amestecului exploziv care se propagă în spațiu, întâlnind alte materiale combustibile, sau prin scânteii mecanice rezultate din șocuri.

## **2.1.4 Efectele incendiilor**

### **Efectele asupra ocupanților**

*Incendiile*, aproximativ 75000 pe an în toată lumea, *produc victime omenești*, rezultând morți, de ordinul zecilor de mii, și răniți, de ordinul sutelor de mii, iar pierderile materiale sunt mai mari decât în cazul oricărei alte calamități naturale.

Statisticile recente cu privire la incendiile din diferite țări arată că, în medie, numărul deceselor la 100 000 de locuitori variază între 0,54 (Elveția) și 2,50 (S.U.A.), tabelul 2.3, și că șansa morții într-un incendiu este estimată la 1: 60 000 pe an [13].

**Tabelul 2.3** Victimele incendiilor la 100000 locuitori (2004÷2008)

Nr. crt.	Țara	Victime în incendii la 100000 locuitori	Nr. crt.	Țara	Victime în incendii la 100000 locuitori
1	Elveția	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	Franța	1,70
5	Spania	1,20	15	Finlanda	1,92
6	<b>România</b>	<b>1,22</b>	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			

O situație a victimelor incendiilor pentru România poate fi urmărită în tabelul 2.4.

**Tabelul 2.4** Victimele incendiilor în România pe grupe de vârstă (2004÷2008)

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

Cea mai mică rată a deceselor într-un incendiu o are grupa de vârstă 15÷25 ani, tabelul 2.4 [13], deoarece acest grup este capabil a se evacua rapid în caz de incendiu.

Riscurile la incendiu în clădirile etajate sunt cele mai mari și, adesea, produc un număr crescut de decese.

Decesele în clădiri protejate cu ajutorul instalațiilor cu sprinklere sunt surprinzător de mici și demonstrează că principala funcție a sprinklerelor, protecția vieții, este dovedită.

Există numeroase încercări de a corela decesele la incendii cu diferiți factori; o astfel de corelație, pozitivă, este cea referitoare la consumul de alcool și fumat. Fumatul este cauza principală de deces în multe incendii din România (43%).

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 și/sau tratamentul persoanelor implicate). În multe cazuri, persoanele rănite necesită spitalizare, crescând efectele și costurile incendiilor.

## Efectele asupra bunurilor

Incendiile provoacă pierderi enorme de bunuri. Pierderile în domeniul imobiliar în țările industrializate sunt de 1,0÷1,5% din produsul național brut [13]. Aproximativ 20% din această valoare reprezintă pierderi directe de bunuri iar 80% reprezintă costurile cu intervenția la incendiu. Indirect, pierderile din incendii sunt greu de evaluat, cum ar fi pierderea autorității, a încrederii clienților, precum și pierderea unor persoane instruite etc. (de multe ori nu pot fi măsurate în termeni monetari).

## Efectele fumului

Fumul la incendii apare ca rezultat al arderii non-stoichiometrice a combustibililor. În plus față de produșii finali de oxidare,  $\text{CO}_2$  și  $\text{H}_2\text{O}$ , produsele de ardere conțin o serie de gaze și compuși parțial oxidați și reduși, cum ar fi metanul ( $\text{CH}_4$ ), metanolul ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), formaldehida ( $\text{HCHO}$ ), acidul formic ( $\text{HCOOH}$ ), acidul acetic ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), precum și picăturile inflamabile de gudron, vaporii condensați și particulele solide foarte fine [13]. Prezența acestora generează un produs vizibil al arderii, cunoscut sub numele de fum. Fumul în incendii este prezent la toate temperaturile. Condițiile fizice de ardere, cum ar fi rata de ardere, modul de ardere, temperatura, au mai multă influență în compoziția fumului decât felul materialului care arde.

Caracteristicile fumului interesante pentru persoanele implicate într-un eventual incendiu sunt: *opacitatea* (reducerea vizibilității), *toxicitatea*, *densitatea* și *culoarea*.

Statisticile și cercetările privind incendiile arată că cele mai multe decese cauzate de incendiu sunt datorate inhalării fumului [13].

În situația de incendiu, materialele moderne de construcții eliberează mulți compuși toxici pe unitatea de masă comparativ cu cele tradiționale. Cu toate acestea, compoziția fumului este destul de constantă, iar rata răspândirii incendiului și emisiilor de fum se majorează. Aceste două elemente sunt cele mai importante cauze în creșterea ratei de deces în timpul incendiilor. *Fumul inhalat* provoacă iritații și leziuni ale sistemului respirator, în timp ce *fumul din aer* afectează ochii, determinând lăcrimare și, în multe cazuri, chiar și leziuni grave ale ochilor.

Culoarea fumului variază în funcție de materialul ars, de la albastru deschis, în cazul unei bune arderi, la negru închis în timpul arderii unor hidrocarburi de mare greutate moleculară. Fumul de culoare neagră reduce semnificativ vizibilitatea, obturând vizibilitatea semnelor pentru ieșire și inducând panică în rândul persoanelor [13].

Este bine cunoscut faptul că fumul dens obturează vizibilitatea și pune în pericol viața, atât a persoanelor care se evacuează, cât și a pompierilor aflați la intervenție.

Reducerea vizibilității poate provoca accidente la evacuarea pe scări etc., depinzând nu numai de compoziția și concentrația fumului, dar și de starea psihică a ocupanților și natura iluminatului.

Cu privire la efectele letale ale fumului [13], acesta prezintă un real potențial de pericol, inhalarea lui reprezentând cel mai mare factor în decesele la incendii; pericolul generat de fum este funcție de:

- puterea toxică a fumului (adesea exprimată prin  $LC_{50}$ , concentrația necesară pentru a se determina efectul asupra a jumătate din populația expusă);
- expunerea unei persoane la diferite concentrații de fum și/sau stres termic la intervale de timp,  $IC(t)dt$ ;

Unele dintre aceste efecte ale fumului cresc la o expunere continuă, altele apar instantaneu. Supraviețuirea unei persoane depinde de factori precum: gradul de expunere, tipul de efect, persoanele care vor să se evacueze, intervenția altor persoane etc.. Din păcate, singurele date care există cu privire la efectele reale ale fumului la incendii sunt în caz de deces sau spitalizare imediat după eveniment.

A durat mult până când s-a demonstrat că efectele subletale ale fumului pot afecta supraviețuirea în incendii; foarte rar au existat date disponibile pe care să se bazeze deciziile de securitate la incendiu.

Statisticile din anii '90 arată că aproximativ trei sferturi din victimele incendiilor din România sunt cauzate de inhalarea fumului [13]. Două treimi din acestea apar în afara camerei unde este focarul incendiului și în care s-a propagat cu ușurință. Noile statistici au demonstrat contrariul, anume că cei mai mulți oameni au murit în camera focarului, prin inhalarea fumului. Acest lucru sugerează faptul că incendiile mocnite, cu persoana în imediata apropiere a arderii, sunt relativ mai răspândite, probabil și din cauza obiectelor aflate în încăperi care, acum, au compoziții chimice mai periculoase.

Impactul pe care fumul îl poate avea asupra persoanelor vizează:

- colapsul fizic (incapacitatea);
- acuitatea mentală scăzută;
- acuitatea vizuală redusă;
- viteza de evacuare redusă;
- iritațiile senzoriale (la plămâni, ochi etc.);
- arsurile produse de căldura transmisă, inclusiv prin radiație;
- reducerea necesarului de aer pentru respirație, cauzat de reducerea capacității de funcționare a motoarelor ventilatoarelor etc..

Proiectul de standard internațional ISO DIS 13571 (DIS 13571) a fost pregătit de ISO în subcomisia *SC3 Toxic Hazards in Fire* (actualmente *Fire Threat to People and the Environment*) a *TC92*. Acesta oferă ecuații generice de evaluare a pericolelor fumului, inhalării de gaze toxice, expunerii la gaze iritante, obturării vizuale și căldurii. Standardul DIS 13571 oficializează includerea efectelor subletale, inclusiv varietatea efectelor fumului pe cele mai sensibile segmente ale populației.

Acest standard impune constrângeri cu privire la proiectarea produsului, resurselor, precum și funcționalitatea constructivă. O alegere importantă ca acest DIS să devină un standard internațional a fost încheiată, dar în momentul acesta rezultatele nu au fost verificate; există diverse neajunsuri:

- DIS 13571 limitează efectele fumului prin stabilirea *nivelului fără efect* bazat pe o oră de expunere considerată sigură; aceste niveluri sunt de 10 ori mai mici față de expunerile grave, tabelul 2.5 [13]; simple calcule arată că, pentru o cameră de 30 m<sup>3</sup>, expunerea peste 1 minut la fumul produs de arderea mocnită a 150 g de lemn ar fi intolerabilă. Mai mult, a fost estimat că niveluri de CO ar conduce la sânge cu niveluri de carboxihemoglobină comparabile cu ale unui fumător moderat;

- prezumția că efectele iritante ale gazelor sunt instantanee rămâne a fi verificată;
- ecuațiile de combinare a gazelor de ardere pentru a produce efecte subletale sunt generice și nu au fost validate.

**Tabelul 2.5** Limitele expunerii pentru diferite gaze

<i>Gazul folosit la expunere</i>	<i>Expunerea sigură</i>	<i>Expunerea periculoasă</i>
<i>CO</i>	3,500 ppm-min	35,000 ppm-min
<i>HCl</i>	100 ppm	1,000 ppm

Față de cercetările incendiilor din anii 1970, numeroase echipamente pentru laborator au fost construite pentru a măsura letalitatea fumului [13]. Exemplele includ furnalul tip ceașcă NBS, cuptorul tub DIN (de origine germană) și metoda UPITT (adoptată de statul New York). Nici unul dintre aceste echipamente nu reflectă condițiile relevante ale incendiului și nici unul nu a fost testat la incendii reale pentru a se stabili efectul fumului produs.

La sfârșitul anilor '80, un laborator pentru testarea letalității fumului a fost dezvoltat la NIST, bazat pe un aparat construit la Institutul de Cercetare Southwest [13]. Metoda constă în expunerea la un produs arzând radiant de energie. O ecuație algebrică (ecuația N-gaz) este

utilizată pentru a anticipa potența toxică mortală la diferite concentrații ale unui număr redus de gaze (CO, CO<sub>2</sub>, HCN, HCl, HBr, oxigen redus) care sunt emise în timpul arderii. Această ecuație se bazează pe date preluate prin expunerea șobolanilor la aceste tipuri de gaze, în mod individual și/sau în combinație.

Rezultatele de la aceste aparate au fost obținute în urma testării pe animale a fumului provenit din incendii produse de combustibili precum lemnul, PVC-ul și spuma poliuretanică [13]. Pentru incendiile post-flashover, ecuația N-gaz este corectată pentru cantități mari de CO rezultate din slaba ventilație a camerei incendiate. Acuratețea nivelului este adecvată pentru a fi utilizată în analiza riscurilor.

### **Efectele gazelor fierbinți**

Principalul efect al gazelor fierbinți este toxicitatea, când sunt inhalate chiar și în concentrații foarte mici. Toxicitatea este sporită când gazele sunt inhalate, în general, la o temperatură ridicată și, adesea, cu un deficit de oxigen. Cu toate acestea, în caz de deces este foarte dificil să se indice un singur gaz ca fiind responsabil de tragicul eveniment. Gazele fierbinți apar în amestecuri de gaze, iar posibilitatea intensificării acțiunii prin asocierea acestora este întotdeauna prezentă. În mai multe țări sunt în curs de desfășurare cercetări cu privire la toxicitatea fumului și gazelor fierbinți.

Cu toate acestea, ceea ce este cunoscut cu siguranță, pe baza a numeroase experimente biologice și chimice, este faptul că multe gaze fierbinți, luate individual, sunt toxice pentru om. Toxicitatea depinde de mai mulți factori, cum ar fi concentrația de gaz în aer, durata de expunere, starea fizică individuală etc..

### **Efectele căldurii și flăcărilor**

În timpul incendiilor sunt eliberate, adesea, cantități enorme de energie termică. Dacă pentru orice motiv (inconștiență, ebrietate, incapacitate fizică sau psihică, droguri etc.) oamenii nu sunt capabili să iasă din atmosfera incendiată, efectele căldurii produc de la disconfort termic până la deces. Creșterea temperaturii aerului poate fi tolerată într-o anumită măsură în funcție de umiditatea aerului, prin efectele de scut termic al îmbrăcămintei și activității psihice [13].

Arsurile pot fi provocate fie prin *contact direct cu focul*, fie *prin radiație de la foc*. În cazul în care temperatura pe suprafața pielii umane crește la 45<sup>0</sup>C, stratul exterior al pielii se deteriorează, în timp ce, la o temperatură de 75<sup>0</sup>C, țesutul pielii este imediat distrus. Aceste extreme, împreună cu niveluri intermediare de arsuri ale pielii, sunt clasificate în grade de arsuri (I-IV). Arsuri la o zonă relativ mică a pielii pot fi foarte dureroase, iar dacă este afectată o zonă mai mare (50% pentru tineri, 20% pentru bătrâni), rata decesului poate să ajungă la 50% din cei care prezintă arsuri [13].

Sângele cu deficit de apă devine dens, încetinește circulația și provoacă o creștere a ritmului cardiac. Bărbații apti fizic sunt capabili să suporte temperaturi ale aerului între 80÷100<sup>0</sup>C timp de 10 minute, fără consecințe grave. La temperaturi ușor mai ridicate (110÷120<sup>0</sup>C), ritmul respirației și inimii devin crescute, ca după o perioadă scurtă de timp cu temperatură mai mare să se instaleze colapsul total.

Pielea poate fi deteriorată când este expusă doar câteva minute la un flux de căldură. La unele persoane, chiar și o expunere severă la soare poate provoca un șoc termic. Toleranța la radiația termică este drastic redusă la intervalul 1,7÷2,2 kW/m<sup>2</sup>. De exemplu, o încălzire produsă de un flux de 1,7 kW/m<sup>2</sup> poate fi tolerată timp de 30 de minute, pe când o încălzire produsă de un flux de 2,2 kW/m<sup>2</sup> poate fi tolerată numai 5 minute. Expunerea la un flux de energie termică tot mai mare provoacă arsuri grave pielii. O secundă de expunere la 20 kW/m<sup>2</sup> duce la roșeață a pielii, în timp ce radiații de 28 kW/m<sup>2</sup> duc la arsuri ale pielii. Fluxul de căldură de 37 kW/m<sup>2</sup> produce serioase arsuri la nivelul pielii corpului omenesc [13].

Oamenii prezintă instinctiv frică la incendii și arsuri, care pot fi determinante numai în cazul în care nu există mijloace de ieșire din incendiu sau se află în incapacitatea de a se evacua. În consecință, copiii mici și bătrânii sunt victimele cele mai probabile. Viața oamenilor care sunt victime ale incendiilor, în cazul în care supraviețuiesc, le este pusă în pericol din cauza posibilelor infecții.

O centralizare a efectele nocive ale incendiilor este făcută în tabelul 2.6.

**Tabelul 2.6** Efectele principale ale incendiilor

<i>Flăcări</i>	<i>acțiune directă</i>	- 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)
	<i>efect termic - prin radiație</i>	- prin propagarea incendiului la vecinătăți - asupra produselor de construcții: dilatări, transformări chimice, modificări ale caracteristicilor mecanice și termice - asupra construcției: deformarea și cedarea în timp a elementelor care asigură rezistența construcției și/sau a celor pentru compartimentare etc.
<i>Fum, gaze arse</i>	<i>efect termic - prin radiație, convecție</i>	- prin propagarea incendiului la distanțe mari de focar, prin tubulaturi, ghene etc. - asupra oamenilor: arsuri - asupra construcției: deformarea și cedarea în timp a elementelor care asigură rezistența construcției și/sau a celor pentru compartimentare etc.
	<i>opacitate</i>	- prin întârzierea evacuării ocupanților (ca urmare a reducerii vizibilității pe căile evacuării și/sau instalarea panicii) - prin întârzierea intervenției (ca urmare a împiedicării localizării precise a focarului și/sau a victimelor etc.)
	<i>toxicitate</i>	- asupra oamenilor și animalelor (ca urmare a asfixierii: dată de lipsa oxigenului consumat prin ardere, degajarea oxidului de carbon și formarea carboxihemoglobinei ce provoacă moartea, degajarea gazelor toxice ca fosgenul, acidul cianhidric, amoniacul etc., având efect letal în anumite concentrații)
	<i>coroziune</i>	- asupra construcției: prin atacarea suprafețelor metalice, armăturilor, betonului, lemnului, din cauza componentelor acide (precum acidul clorhidric, acetic, sulfuric etc.) - asupra bunurilor (mașini-unelte și/sau dispozitive electronice, electrotehnice sensibile la coroziune)
<i>Reziduuri solide (cenușă, particule incandescente, funingine)</i>	<i>efect termic</i>	- asupra oamenilor: arsuri - prin propagarea incendiului la vecinătăți
	<i>toxicitate</i>	- prin stimularea cancerului



### 2.1.5 Clasificarea incendiilor

După natura substanțelor combustibile implicate în procesul arderii (ISO 3941-87 și STAS 11841-83, SR EN 2-2004), incendiile pot fi încadrate în:

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

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

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

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

- *clasa E*, incendii a căror cauze sunt de natură electrică;

- *clasa F*, incendii localizate în spațiile pentru gătit care implică, prin procesul tehnologic, utilizarea uleiurilor, grăsimilor animale și/sau vegetale etc..

### 2.1.6 Stingerea incendiilor

Stingerea unui incendiu este posibilă prin *eliminarea* sau *izolarea elementelor fundamentale ale arderii*: combustibilul și/sau comburantul (oxigenul din atmosferă în majoritatea cazurilor) și/sau căldura.

*Procedeele întreruperii procesului de ardere* se bazează pe:

- răcirea zonei de ardere;

- izolarea produselor combustibile de aerul atmosferic;

- reducerea conținutului minim de oxigen;

- folosirea substanțelor explozive;

- introducerea inhibitorilor în spațiul producerii reacțiilor de ardere;

- reducerea temperaturii substanțelor lichide aprinse, prin amestecarea maselor acestora;

- îndepărtarea substanțelor combustibile din zona arderii.

*Clasificarea substanțelor stingătoare* (naturale sau de sinteză), după procedeul întreruperii arderii în care se folosesc se grupează în:

- *substanțe stingătoare care acționează prin răcire*; reprezentativă este apa în stare naturală sau îmbunătățită chimic, refulată sub formă de jet compact, dispersată, pulverizată (recomandată, în special, pentru stingerea incendiilor din clasa A);

- *substanțe stingătoare care acționează prin izolare*, precum:

- spuma chimică (recomandată pentru stingerea incendiilor din clasa B);

- spuma aeromecanică (recomandată pentru stingerea incendiilor din clasa B);

- apa ușoară/light water (recomandată pentru stingerea incendiilor din clasa B).

- *pulberile stingătoare* (recomandate în special pentru incendiile din clasele A, B, C); pulberile stingătoare uzuale nu se utilizează la stingerea metalelor pirofore dar există totuși și pulberi stingătoare indicate pentru incendii din clasa D, pentru celelalte clase fiind considerate ineficiente);

- *substanțe stingătoare care acționează prin reducerea conținutului de oxigen*, precum:

- bioxidul de carbon, azotul, apa foarte fin pulverizată (particule sub 100 μm), aburul (recomandate, cu unele restricții, pentru stingerea incendiilor din clasele A, B, C);

- *substanțe stingătoare care acționează prin inhibare chimică*, precum:

- halonii (hidrocarburi halogenate) folosite sub formă de jet compact, jet pulverizat sau sub formă de aerosoli (recomandate pentru incendii din clasele A, B, C).

În ultima perioadă, din cauza toxicității halonilor și a efectului negativ asupra stratului de ozon, s-a trecut la producerea unor înlocuitori ai halonilor, care au toxicitate redusă și influență nulă asupra stratului de ozon. Eficiența stingerii cu înlocuitori este mai scăzută decât cu haloni, necesitând concentrații și volume de 1,1÷1,6 ori mai mari.

La intervenții, toți acești agenți stingători folosesc instalații fixe, semifixe și mobile sau stingătoare portative și/sau transportabile care echipează curent clădirile civile și industriale.

## 2.2 Aprecierea severității incendiului

### 2.2.1 Intensitatea de ardere

*Intensitatea de ardere* este dată de căldura (energia) degajată în timpul arderii, exprimată în  $J$  (*Jouli*); cantitatea de căldură produsă de cantitatea unitară de combustibil ( $1\text{ kg}$  în cazul substanțelor lichide și solide sau  $1\text{ m}^3_N$ ,  $N$  indicând condiții normale, în cazul substanțelor gazoase) definește *puterea calorifică*,  $Q$ , exprimată în  $J/kg$  sau  $J/m^3_N$ .

Reglementările specifice, europene și naționale (SR EN ISO 13943), utilizează, pentru puterea calorifică a materialelor combustibile, noțiunea *căldura de ardere*; mărimea, care este direct proporțională cu viteza de ardere și invers proporțională cu timpul de ardere, poate fi utilizată la evaluarea potențialului distructiv al incendiului.

*Căldura de ardere (puterea calorifică)*, după modul condensării vaporilor apei rezultați în procesul încercării, poate fi (tabelul 2.7, figura 2.8.):

- *căldura de ardere brută (puterea calorifică superioară,  $Q_s$  sau PCS)*, căldura degajată pentru arderea completă a cantității unitare de combustibil la care gazele arse sunt răcite până la temperatura de referință de  $0^\circ\text{C}$ ,  $15^\circ\text{C}$  sau  $20^\circ\text{C}$ , vaporii apei condensând cu cedarea căldurii pentru condensare egală cu căldura vaporizării consumată la ardere (*este importantă pentru clasificarea produselor de construcții din punctul de vedere al reacției la foc, SR EN ISO 1716*);

- *căldura de ardere netă,  $H_u$  (puterea calorifică inferioară,  $Q_i$  sau PCI)*, căldura degajată pentru arderea completă a cantității unitare a combustibilului la care gazele arse sunt evacuate din instalație la o temperatură mai mare de  $100^\circ\text{C}$ , fără condensarea vaporilor apei, transportând cu ei căldura latentă a vaporizării; această căldură este și cea utilă, folosită în tehnica arderilor (*este importantă pentru calculul sarcinii termice, SR EN 1991-1-2*).

Între căldurile de ardere (puterile calorifice) există o legătură dată de relația 2.3,

$$Q_s = Q_i + 2510 \times (9h + w) \quad (2.3)$$

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 conține  $1\text{ kg}$  de combustibil;

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

### 2.2.2 Densitatea sarcinii termice pentru aprecierea riscului la incendiu în construcții

Materialele combustibile existente într-un spațiu constituie potențialii generatori ai unei arderi (haine, hârtie, cărți, materiale plastice, textile, lemn etc.); în condițiile unei posibile creșteri a temperaturii în același spațiu cu ele, acestea pot iniția arderea și genera un eventual incendiu.

În acest context se definesc mărimile fizice *sarcina termică* și *densitatea sarcinii termice*, aceasta din urmă fiind utilizată la asocierea nivelului de risc la incendiu unui spațiu analizat (P 118-99).

**Tabelul 2.7** Puterea calorică a unor produse combustibile uzuale (SR EN ISO 1716) [10]

Nr. crt.	Substanța combustibilă	PCS (MJ/kg)	PCI (MJ/kg)	Nr. crt.	Substanța 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 rumeguș	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	Țiței	43,0÷47,1	40,9÷43,9

**Conform STAS 10903/2-79**

Sarcina termică,  $S_Q$ , în MJ, este cantitatea de căldură pe care o poate degaja prin combustie completă totalitatea materialelor combustibile, fixe și mobile, existentă în spațiul afectat de incendiu, relația 2.4,

$$S_Q = \Sigma (M_i \times Q_i) \quad (2.4)$$

unde:  $M_i$  este masa materialului combustibil curent din tot spațiul considerat, în kg;  
 $Q_i$  - puterea calorică inferioară a materialului combustibil curent (SR EN 1716), în MJ/kg.



a.



b.

- a. bomba calorimetrică pentru combustibilii solizi (și lichizi grei, care nu se evaporă)  
 b. calorimetrul cu circulație de apă pentru combustibilii gazoși (și lichizi volatili)

**Figura 2.8** Instalații pentru determinarea căldurii de ardere a combustibililor  
 (wikipedia.org)

*Densitatea sarcinii termice*,  $q_s$ , în  $MJ/m^2$ , este sarcina termică aferentă unui spațiu, raportată la aria pardoselii acestuia, relația 2.5a,

$$q_s = S_Q / A_s \quad (2.5a)$$

unde:  $A_s$  este aria secțiunii orizontale a spațiului incendiat (pardoseala de referință), în  $m^2$ .

În practică s-a utilizat, multă vreme, în special pentru aprecieri comparative, *echivalentul în lemn al sarcinii termice*, fiind cantitatea de lemn care, prin ardere, ar degaja aceeași cantitate de căldură ca și materialele combustibile existente în spațiul analizat (având puterea calorifică inferioară,  $Q_{lemn}$ , egală cu 18,42 MJ/kg sau 4400 kcal/kg); *densitatea sarcinii termice echivalentă*, în  $kg_{lemn}/m^2$ , este dată de relația 2.5b.

$$M_{lemn} = (M_i \times Q_i) / (A_s \times Q_{lemn}) \quad (2.5b)$$

### 2.2.3 Căldura degajată în situația de incendiu pentru aprecierea stabilității la foc

Pentru aprecierea acțiunii incendiului asupra elementelor structurale (stâlpi, pereți, grinzi, planșee etc.), *căldura degajată* pe parcursul desfășurării acestuia se evaluează în mod diferit, după cum se poate urmări în continuare.

#### Conform STAS 10903/2-79

*Cantitatea de căldură degajată*,  $S_A$ , în  $MJ$ , este dată de relația 2.6:

$$S_A = c \times p \times \Sigma(m_i \times Q_i \times M_i) \quad (2.6)$$

unde:  $c$  este coeficientul care ia în considerare dimensiunile spațiului analizat (tabelul 2.8);  
 $p$  - coeficientul care ia în considerare numărul nivelurilor și condițiile de ventilare și de evacuare a căldurii din clădirea în care se află spațiul analizat (tabelul 2.9);  
 $m_i$  - coeficientul care ia în considerare capacitatea de ardere a materialului combustibil curent în condițiile incendiului (tabelul 2.10);  
 $Q_i$  - puterea calorifică inferioară a materialului combustibil curent, în  $MJ/kg$ ;  
 $M_i$  - masa materialului combustibil curent din tot spațiul analizat, în  $kg$ .

**Tabelul 2.8** Valorile coeficientului  $c$  (STAS 10903/2-79)

Nr. crt.	Aria construită a spațiului incendiat ( $A_c$ ) ( $m^2$ )	Latura mică a spațiului incendiat ( $l$ ) ( $m$ )			
		$l < 20$	$20 \leq l < 40$	$40 \leq l < 60$	$l \geq 60$
1	$\leq 1000$	1,0	1,0	-	-
2	$1001 \div 3000$	1,1	1,1	1,2	1,5
3	$3001 \div 5000$	1,2	1,2	1,4	1,5
4	$5001 \div 7000$	1,2	1,2	1,5	2,0
5	$7001 \div 9000$	1,2	1,4 (1,3)	1,7	2,2
6	$9001 \div 30000$	1,2	1,5 (1,3)	2,0 (1,7)	2,4
7	$> 30001$	1,2	1,5 (1,3)	2,0 (1,7)	2,6

**Tabelul 2.9** Valorile coeficientului  $p$  (STAS 10903/2-79)

Nr. crt.	$A_g^* / A_c$	Pentru subsol	Pentru etaj			
			1	2	3÷5	> 5
1	$\leq 0,04$	1,4	1,2	1,3	1,5	1,8
2	$0,04 \div 0,08$	1,2	1	1,1	1,3	1,5
3	$> 0,08$	1	0,6	0,8	1	1,3

**Tabelul 2.10** Valorile coeficientului  $m$  (STAS 10903/2-79)

Nr. crt.	Denumirea și starea materialelor	$m$
1	- nitroceluloză, camfor și alte materiale cu intensitate mare de ardere	1,5
2	- hârtie în stare liberă, talaș, rigle din lemn cu grosimea maximă de 1 cm; - gaze lichefiate și lichide combustibile încălzite la temperatura lor de fierbere; - deșuri de spumă din material plastic sau de burete din cauciuc;	1,3
3	- lemn rotund și ecarisat cu grosimea de 10÷20 cm; - țesături din lână, bumbac și fibre sintetice în baloturi; - hârtie în role de peste 50 kg sau coale balotate în poziție verticală; cărți și dosare în rafturi, paie și fân în stive cu înălțimea peste 3 m; - lichide cu punctul de inflamabilitate mai mare de 100°C, care nu sunt încălzite în exploatarea normală la temperaturi mai mari de 50°C; - lichide cu punctul de inflamabilitate mai mare de 55°C în butoaie, recipiente mobile închise etanș;	0,75
4	- hârtie în role de peste 50 kg în poziție orizontală; - cărți și acte stivuite strâns; - rumeguș, lemn rotund și ecarisat cu grosimea de peste 20 cm, cherestea sau plăci din lemn în stive stratificate dens; - bumbac brut balotat; - cereale și semințe în saci; - lichide combustibile în conducte și recipiente ficși închiși;	0,50
5	- cereale și semințe în vrac sau în ambalaje incombustibile, zahăr în vrac sau în saci;	0,30
6	- alte materiale combustibile;	1,00

## Conform SR EN 1991-1-2

Valoarea caracteristică a sarcinii termice, în MJ, se calculează cu relația 2.7,

$$Q_{fi,k} = \Sigma(M_{k,i} \times H_{ui} \times \Psi) = \Sigma Q_{fi,k,i} \quad (2.7)$$

unde:  $M_{k,i}$  este masa materialului combustibil curent, în kg;  
 $H_{ui}$  - căldura de ardere netă (puterea calorifică inferioară) a materialului combustibil curent (tabelul 2.11), în MJ/kg;  
 $\Psi$  - coeficientul facultativ care apreciază sarcina termică de incendiu protejată.  
 Conținutul în umiditate al materialelor poate fi luat în considerare cu relația 2.8,

$$H_u = H_{u0} \times (1 - 0,01 \times u) - 0,025 \times u \quad (2.8)$$

unde:  $u$  este conținutul de umiditate, în % din masa uscată a materialului;  
 $H_{u0}$  - căldura de ardere netă (puterea calorifică inferioară) a materialului uscat, în MJ/kg.

**Tabelul 2.11** Căldura de ardere netă (SR EN 1991-1-2 după SR EN ISO 1716)

Nr. crt.	Produsele combustibile		$H_u$ (MJ/kg)
1	Materiale solide	lemn	17,5
2		alte materiale celulozice (îmbrăcăminte, plută, bumbac, hârtie, carton, mătase, pai, lână)	20
3		carbon (antracit, cărbune de lemn, cărbune)	30
4	Produse chimice	seria parafinelor (metan, etan, propan, butan)	50
5		seria olefinelor (etilenă, propilenă, butenă)	45
6		seria aromaticelor (benzen, toluen)	40
7		seria alcoolurilor (metanol, etanol, alcool etilic)	30
8		carburanți (benzină, petrol-gaz lampant, motorină-Diesel)	45
9		hidrocarbonați (polietilenă, polistiren, polipropilenă)	40
10		Alte produse	ABS-alchibenzensulfonat
11	poliester (plastic)		30
12	poliizocianurat și poliuretan (material plastic)		25
13	poli-clorură de vinil PVC (material plastic)		20
14	bitum, asfalt		40
15	piele		20
16	linoleum		20
17	anvelope din cauciuc	30	

Notă:

1. Valorile conținute în acest tabel nu pot fi utilizate la calculul conținutului energetic al combustibililor.

Valoarea caracteristică a densității sarcinii termice,  $q_{fi,k}$ , în MJ/m<sup>2</sup>, se calculează cu relația 2.9 (pentru aprecieri detaliate, mai realiste),

$$q_{fi,k} = Q_{fi,k} / A \quad (2.9)$$

unde:  $A$  este aria suprafeței de referință a incendiului, care poate fi aria planșeului compartimentului (și în acest caz se notează cu  $A_f$ ) sau aria desfășurată la interiorul compartimentului (și în acest caz se notează cu  $A_i$ ), în m<sup>2</sup>.

Valoarea de proiectare a densității sarcinii termice,  $q_{fi,d}$ , în MJ/m<sup>2</sup>, este dată de relația 2.10,

$$q_{fi,d} = q_{fi,k} \times m \times \delta_{q1} \times \delta_{q2} \times \delta_n \quad (2.10)$$

unde:  $q_{fi,k}$  este valoarea caracteristică a densității sarcinii termice și este dată sau de relația 2.9 (pentru aprecieri detaliate, mai realiste) sau de tabelul 2.12, funcție de destinația spațiului analizat (pentru aprecieri care permit utilizarea prelucrărilor statistice), în  $MJ/m^2$ ;  
 $m$  - coeficientul de ardere și este funcție de destinația spațiului analizat și de tipul sarcinii termice (pentru materiale preponderent celulozice  $m=0,8$ );  
 $\delta_{q1}$  - coeficientul care apreciază riscul de inițiere a incendiului și este funcție de mărimea spațiului analizat (tabelul 2.13);  
 $\delta_{q2}$  - coeficientul care apreciază riscul de inițiere a incendiului și este funcție de destinația spațiului analizat (tabelul 2.13);  
 $\delta_n = \Pi \delta_{ni}$  ( $i=1$  posibil până la 10) - coeficientul care apreciază măsurile de protecție activă aplicate (tabelul 2.14).

**Tabelul 2.12** Valoarea caracteristică a densității sarcinii termice (SR EN 1991-1-2)

Nr. crt.	Destinația	$q_{fi,k}$ , valoarea caracteristică medie ( $MJ/m^2$ )	$q_{fi,k}$ , fractilă 80% ( $MJ/m^2$ )
1	Locuințe	780	948
2	Spitale (camere)	230	280
3	Hoteluri (camere)	310	377
4	Biblioteci	1500	1824
5	Birouri	420	511
6	Săli de clasă	285	347
7	Centre comerciale	600	730
8	Teatre (cinematografe)	300	365
9	Transport (spațiul public)	100	122

Note:

- Pentru fractilă 80% s-a aplicat distribuția de tip Gumbel.
- La densitatea sarcinii termice din tabel se adaugă densitatea sarcinii termice provenite din elementele de construcții, calculată cu relațiile 2.7÷2.9. Pentru alte tipuri de construcții și pentru un proiect anume se determină sarcina termică printr-o analiză care ia în considerare destinația construcției, materialele combustibile adăpostite, mobilierul și materialele de construcții (inclusiv pentru acoperiș și finisaj).
- Din punctul de vedere al prezenței lor în compartimentul de incendiu, se disting:
  - încărcările permanente în situație de incendiu, care nu variază pe durata exploatării normale a construcției; acestea se iau în calcul pe baza valorilor rezultate din măsurători;
  - încărcările variabile în situația de incendiu, a căror valoare poate să varieze în decursul exploatării normale a construcției, se iau în calcule cu valori care se presupune că nu vor fi depășite pentru 80% din timpul de funcționare al clădirii; dacă protecția rezistă expunerii la foc, acestea nu se iau în considerare (încărcările protejate).

**Tabelul 2.13** Coeficienții care apreciază riscul de inițiere a incendiului (SR EN 1991-1-2)

Nr. crt.	$\delta_{q1}$		$\delta_{q2}$	
	Suprafață planșeu compartiment ( $m^2$ )	Valoarea	Destinația	Valoarea
1	25	1,10	galerii artă, muzee, piscine	0,78
2	250	1,50	birouri, locuințe, hoteluri, industrii papetărie	1,00
3	2500	1,90	industrii construcții de mașini și motoare	1,22
4	5000	2,00	laboratoare chimice, ateliere vopsitorie	1,44
5	10000	2,13	fabrici artificii și/sau vopsele	1,66

**Tabelul 2.14** Coeficienții care apreciază măsurile de protecție activă (SR EN 1991-1-2)

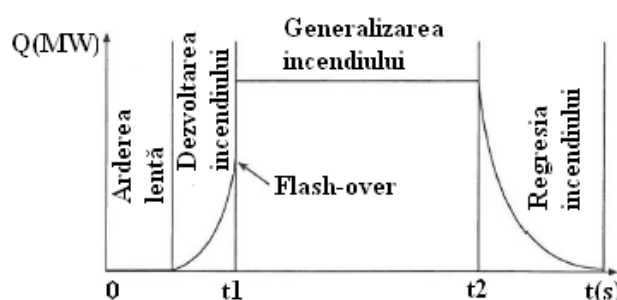
$\delta_{ni}$											
Stingerea automată a incendiului				Detecria automată a incendiului		Stingerea manuală a incendiului					
Sistem automat de stingere cu apă	Surse independente de apă			Detecrie și alarmă automată prin		Alarmare automată pompieri	Serviciu propriu de pompieri	Serviciu privat cu contract	Căi de acces libere	Echipamente de luptă la incendiu	Sisteme desfumare
	f	u	d	căldură	fum						
$\delta_{n1}$	$\delta_{n2}$			$\delta_{n3}$	$\delta_{n4}$	$\delta_{n5}$	$\delta_{n6}$	$\delta_{n7}$	$\delta_{n8}$	$\delta_{n9}$	$\delta_{n10}$
0,61	1,0	0,87	0,7	0,87/0,73		0,87	0,61/0,78		0,9/1/1,5	1,0/1,5	1,0/1,5

Note :

1. Pentru măsuri normale de protecție activă, considerate curent satisfăcute (existența căilor de acces, instalațiilor pentru stingerea incendiilor și sistemelor pentru desfumare),  $\delta_{ni}=1,0$ .
2. În cazul în care nu se respectă Nota 1,  $\delta_{ni}=1,5$  pentru măsurile lipsă.
3. În cazul punerii în suprapresiune a scărilor pentru incendiu în momentul alertării,  $\delta_{n8}=1,5$ .

Valoarea de proiectare a sarcinii termice (reprezentând valoarea ariei limitată de graficul debitului de căldură degajată pe parcursul evoluției unui incendiu și axa timpului, figura 2.9), în MJ, se poate aprecia cu relația 2.11,

$$Q_{fi,d} = q_{fi,d} \times A \quad (2.11)$$



**Figura 2.9** Variația debitului de căldură degajată pe parcursul evoluției unui incendiu interior asupra căruia nu se intervine

### Conform SR EN 1991-1-2

Debitul de căldură degajată,  $Q$ , în MW (figura 2.9), poate fi calculat:

- pentru faza dezvoltării incendiului (zona ascendentă din grafic, figura 2.9), cu relația 2.12,

$$Q = 10^6 \times (t/t_a)^2 \quad (2.12)$$

unde:  $t$  este timpul măsurat de la declanșarea incendiului, în s;

$t_a$  - timpul necesar atingerii unui debit de căldură de 1MW (tabelul 2.15), în s;

- pentru faza generalizării incendiului, când acesta este controlat prin combustibil (zona palier din grafic, figura 2.9), cu relația 2.13a,

$$Q = RHR_f \times A_{fi} \quad (2.13a)$$



unde:  $RHR_f$  este debitul maxim de căldură degajată de  $1 \text{ m}^2$  incendiat, în cazul unui incendiu controlat prin combustibil, în  $\text{kW/m}^2$  (tabelul 2.15 și a se vedea SR EN 1991-1-2: 2004, E.4 (8), (9)), figura 2.10;

$A_{fi}$  - aria maximă a incendiului, care poate fi identică cu aria compartimentului de incendiu, în cazul distribuției uniforme a sarcinii termice, sau mai mică, în cazul unui incendiu localizat, în  $\text{m}^2$ ;

**Tablul 2.15** Valorile timpului  $t_a$  și debitului de căldură maxim  $RHR_f$  (SR EN 1991-1-2)

Nr. crt.	Destinația	Viteza de dezvoltare a incendiului ( $\delta_{q2} = 1$ )	$t_a$ (s)	$RHR_f$ ( $\text{kW/m}^2$ )
1	Locuințe	medie	300	250
2	Spitale (camere)	medie	300	250
3	Hoteluri	medie	300	250
4	Biblioteci	rapidă	150	500
5	Birouri	medie	300	250
6	Clase de școală	medie	300	250
7	Centre comerciale	rapidă	150	250
8	Teatre (cinematografe)	rapidă	150	500
9	Transport (spațiul public)	lentă	600	250

Note:

1. Valorile pentru viteza de dezvoltare a incendiului și  $RHR_f$  sunt valabile pentru  $\delta_{q2}=1$ .

2. Pentru viteza de dezvoltare a incendiului foarte mare (vezi NFPA), debitul de căldură degajat corespunde lui  $t_a=75\text{s}$ .

- pentru faza generalizării incendiului, când acesta este controlat prin ventilare (zona palier din grafic, figura 2.9), cu relația 2.13b,

$$Q_{\max} = 0,10 \times m \times H_u \times A_{fi} \times (h_{eq})^{0,5} \quad (2.13b)$$

unde:  $m$  este factorul arderii, acceptat ca fiind  $m = 0,8$ ;

$H_u$  - căldura de ardere netă (puterea calorică inferioară) a lemnului,  $H_u = 17,5 \text{ MJ/kg}$ ;

$A_v$  - aria suprafețelor deschise, în  $\text{m}^2$ ;

$h_{eq}$  - înălțimea medie a deschiderilor, în  $m$ .

- pentru faza regresiei incendiului (zona descendentă din grafic, figura 2.9), fază care se considerată că începe când 70% din totalul sarcinii termice s-a consumat, presupunându-se că variază liniar.



**Figura 2.10** Eliberarea căldurii în calorimetrul cu con, RHR, ISO 5660-1

## 2.2.4 Aplicații la stabilirea densității sarcinii termice pentru spații cu destinații diverse (după Manual privind exemplificări, detalieri și soluții de aplicare a prevederilor normativului P 118-99 "Siguranța la foc a construcțiilor", indicativ: MP 008-2000)

### Generalități

- Evaluarea densității sarcinii termice în spațiile construite luate ca exemplu presupune că:
- pardoselile combustibile (mocheta, PVC etc.) sunt lipite pe un strat suport incombustibil (beton, șapă);
  - tâmplăria exterioară se realizează din materiale incombustibile (profile din aluminiu);
  - încăperile sunt separate cu elemente de construcții (pereți și planșee) incombustibile, rezistente la foc;
  - plafoanele false sunt cu structură metalică și panouri din fibră minerală.

### Teme rezolvate

#### Studiul de caz 1: încăpere tip birou

Datele problemei:

- destinația spațiului: pentru birouri;
- arie încăpere: 25 m<sup>2</sup>;
- biroul conține:
  - 1 ușă intrare (1 m × 2,10 m × 0,03 m) din lemn de brad;
  - 3 birouri de 30 kg fiecare, din lemn de brad 80% și metal 20%, cu:
    - 1 corp mobil 22 kg din lemn de brad 80%,
    - 2 scaune tapițate conținând fiecare 2 kg lemn de brad și 0,5 kg poliuretan,
    - hârtie pentru scris 5 kg,
    - 1 calculator complet echipat de 10,65 kg conținând 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.

Puterea calorifică, Q<sub>i</sub>, a materialelor combustibile:

- lemn: 19,60 MJ/kg,
- hârtie: 16,30 MJ/kg;
- poliuretan: 22,70 MJ/kg;
- material plastic: 33,50 MJ/kg.

Sarcina termică aferentă masei materialelor combustibile pentru:

- ușa intrare: 1,00 m × 2,10 m × 0,03 m × 550 Kg/m<sup>3</sup> × 19,60 MJ/Kg = 679,14 MJ;
  - birouri din lemn și metal: 30 kg × 0,80 × 19,60 MJ/kg = 470,4 MJ, astfel 3 birouri × 470,4 MJ = 1411,2 MJ;
  - corpuri mobile birou: 22 kg × 0,80 × 19,60 MJ/Kg = 344,96 MJ, astfel 3 corpuri × 344,96 MJ = 1034,88 MJ;
  - scaune: 2 kg × 0,80 × 19,60 MJ/kg = 31,36 MJ la care se adaugă poliuretan 0,5 kg × 22,70 MJ/kg = 11,35 MJ în total 31,36 MJ + 11,35 MJ = 42,71 MJ, astfel 6 scaune × 42,71 MJ = 256,26 MJ;
  - hârtie: 5 kg × 16,30 MJ/Kg = 81,5 MJ, astfel 3 birouri × 81,5 = 244,5 MJ
  - calculatoare: 10,65 kg × 0,5 × 33,50 MJ/Kg = 178,39 MJ, astfel 3 calculatoare × 178,39 MJ = 535,16 MJ;
  - dulap documente (80% din greutate este material combustibil): 57 kg × 0,80 × 19,60 MJ/kg = 893,76 MJ, astfel, 3 dulapuri × 893,76 MJ = 2681,28 MJ;
  - cabluri, tuburi etc.: 0,5 kg/m × (3×3) m × 33,50 MJ/kg = 150,75 MJ;
- Total sarcină termică în încăpere:  
679,14 + 1411,2 + 1034,88 + 256,26 + 244,50 + 535,16 + 2681,28 + 150,75 = 6314,03 MJ.

Evaluarea densității sarcinii termice conform STAS 10903/2-79:  
 $6314,03 \text{ MJ} / 25 \text{ m}^2 = 253 \text{ MJ/m}^2$ .

Evaluarea densității sarcinii termice de proiectare conform SR EN 1991-1-2: 2004:

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

$$q_{fi,k} = 420 \text{ MJ/m}^2, m = 0,80,$$

$$\delta_{q1} = 1,10, \delta_{q2} = 1,00, \delta_{n2} = 0,87, \delta_{n4} = 0,73, \delta_{n6} = 0,61, \delta_{n8} = 1,00, \delta_{n9} = 1,00, \delta_{n10} = 1,00,$$

$$q_{fi,d} = 420 \times 0,80 \times 1,10 \times 1,00 \times (0,87 \times 0,73 \times 0,61 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00) = 144 \text{ MJ/m}^2.$$

### Studiul de caz 2: încăperea bibliotecă tip sală de lectură

Datele problemei:

- destinația spațiului: sală pentru lectură într-o bibliotecă (ca multitudine de birouri);

- arie încăperea:  $1225 \text{ m}^2$ ;

- sala conține:

- 4 uși intrare ( $1,50 \text{ m} \times 2,10 \text{ m} \times 0,03 \text{ m}$ ) din lemn de brad;

- 100 mese lectură de 60 kg fiecare, din lemn brad 80%, cu:

- 8 scaune de 3 kg cu șezut și spătar din lemn de brad, însemnând 80% din masă,

- 1 set cărți, hârtie etc. de 2,5 kg,

- 100 m cabluri, tuburi etc. cu o greutate de  $0,5 \text{ kg/m}$  din material plastic.

Puterea calorifică,  $Q_i$ , a materialelor combustibile:

- lemn:  $19,60 \text{ MJ/kg}$ ,

- hârtie:  $16,30 \text{ MJ/kg}$ ;

- material plastic:  $33,50 / 20 \text{ MJ/kg}$ .

Sarcina termică aferentă masei materialelor combustibile pentru:

- uși intrare:  $1,50 \text{ m} \times 2,10 \text{ m} \times 0,03 \text{ m} \times 550 \text{ kg/m}^3 \times 19,60 \text{ MJ/kg} = 1018,71 \text{ MJ}$ , astfel  
 $4 \text{ uși} \times 1018,71 \text{ MJ} = 4074,84 \text{ MJ}$

- mese de lectură din lemn și metal:  $60 \text{ kg} \times 0,80 \times 19,60 \text{ MJ/kg} = 940,8 \text{ MJ}$ , astfel,  $100$   
 $\text{mese} \times 940,8 \text{ MJ} = 94080 \text{ MJ}$ ;

- scaune metalice cu șezut și spătar din lemn:  $3 \text{ kg} \times 0,80 \times 19,25 \text{ MJ/kg} = 46,20 \text{ MJ}$ ,  
astfel  $800 \text{ scaune} \times 46,20 \text{ MJ} = 36960 \text{ MJ}$ ;

- cărți, hârtie, materiale textile:  $2,5 \text{ kg} \times 16,30 \text{ MJ/kg} = 40,75 \text{ MJ}$ , astfel  $800 \text{ mese} \times$   
 $40,75 \text{ MJ} = 32600 \text{ MJ}$ ;

- cabluri, tuburi, etc.:  $0,5 \text{ kg/m} \times 100 \text{ m} \times 33,50 \text{ MJ/kg} = 1675 \text{ MJ}$ .

Total sarcină termică în încăperea:

$$4074,84 + 94080 + 36960 + 32600 + 1675 = 169389,84 \text{ MJ}.$$

Evaluarea densității sarcinii termice conform STAS 10903/2-79:

$$169389,84 \text{ MJ} / 1225 \text{ m}^2 = 139 \text{ MJ/m}^2.$$

Evaluarea densității sarcinii termice de proiectare conform SR EN 1991-1-2: 2004:

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

$$q_{fi,k} = 420 \text{ MJ/m}^2, m = 0,80,$$

$$\delta_{q1} = 1,70, \delta_{q2} = 1,00, \delta_{n2} = 0,87, \delta_{n4} = 0,73, \delta_{n6} = 0,61, \delta_{n8} = 1,00, \delta_{n9} = 1,00, \delta_{n10} = 1,00,$$

$$q_{fi,d} = 420 \times 0,80 \times 1,70 \times 1,00 \times (0,87 \times 0,73 \times 0,61 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00) = 222 \text{ MJ/m}^2.$$

### Studiul de caz 3: încăperea bibliotecă tip deposit de cărți

Datele problemei:

- destinația spațiului: deposit de cărți al unei biblioteci;

- arie încăperea:  $1270 \text{ m}^2$ .

Sala conține:

- rafturi metalice cu lățimea de 0,30 m, înălțimea de 2,10 m și lungimea totală de 1440 m;
- 100 m cabluri, tuburi etc. cu o greutate de 0,5 kg/m din material plastic.

Sarcina termică aferentă masei materialelor combustibile pentru:

- cărțile depozitate pe rafturile metalice:  $0,30 \text{ m} \times 2,10 \text{ m} \times 1440 \text{ m} \times 550 \text{ kg/m}^3 \times 16,30 \text{ MJ/kg} = 8133048 \text{ MJ}$ ;

- cabluri, tuburi etc.:  $0,5 \text{ kg/m} \times 100 \text{ m} \times 33,50 \text{ MJ/Kg} = 1675 \text{ MJ}$ .

Total sarcină termică în încăpere:

$8133048 + 1675 = 8134723 \text{ MJ}$ ,

Evaluarea densității sarcinii termice *conform STAS 10903/2-79*:

$8134723 \text{ MJ} / 1270 \text{ m}^2 = 6406 \text{ MJ/m}^2$ .

Evaluarea densității sarcinii termice de proiectare *conform SR EN 1991-1-2: 2004*:

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

$q_{fi,k} = 1500 \text{ MJ/m}^2$ ,  $m = 0,80$ ,

$\delta_{q1} = 1,70$ ,  $\delta_{q2} = 1,00$ ,  $\delta_{n2} = 0,87$ ,  $\delta_{n4} = 0,73$ ,  $\delta_{n6} = 0,61$ ,  $\delta_{n8} = 1,00$ ,  $\delta_{n9} = 1,00$ ,  $\delta_{n10} = 1,00$ ,

$q_{fi,d} = 1500 \times 0,80 \times 1,70 \times 1,00 \times (0,87 \times 0,73 \times 0,61 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00) = 791 \text{ MJ/m}^2$ .

#### Studiul de caz 4: încăpere în clădire de învățământ superior tip sală pentru seminarii

Datele problemei:

- destinația spațiului: sală pentru cursuri;

- arie încăpere:  $48 \text{ m}^2$ ;

- sala conține:

- 1 ușă intrare ( $1 \text{ m} \times 2,10 \text{ m} \times 0,03 \text{ m}$ ) din lemn de brad;

- 15 mese lucru de 30 kg fiecare, din lemn brad 80%, cu:

- 2 scaune de 3 kg cu șezut și spătar, din lemn de brad, însemnând 80% din masă,

- 1 set hârtie de 0,5 kg;

- 1 masă catedră de 30 kg, din lemn brad 80%, cu:

- 1 scaun de 3 kg cu șezut și spătar, din lemn de brad, însemnând 80% din masă,

- 1 set hârtie de 0,5 kg;

- 1 pardoseală estradă din lemn  $0,5 \text{ m}^2$ ;

- 50 m cabluri, tuburi etc. cu o greutate de  $0,4 \text{ kg/m}$ , din material plastic.

Puterea calorifică,  $Q_i$ , a materialelor combustibile:

- lemn:  $19,60 \text{ MJ/kg}$ ,

- hârtie:  $16,30 \text{ MJ/kg}$ ;

- material plastic:  $33,50 / 20 \text{ MJ/kg}$ .

Sarcina termică aferentă masei materialelor combustibile pentru:

- ușă intrare:  $1,50 \text{ m} \times 2,10 \text{ m} \times 0,03 \text{ m} \times 550 \text{ kg/m}^3 \times 19,60 \text{ MJ/kg} = 1018,71 \text{ MJ}$ ;

- mese de lucru și catedră:  $30 \text{ kg} \times 0,80 \times 19,60 \text{ MJ/kg} = 470,4 \text{ MJ}$ , astfel  $16 \text{ mese} \times 470,4 \text{ MJ} = 7526,4 \text{ MJ}$ ;

- scaune:  $3 \text{ kg} \times 0,80 \times 19,60 \text{ MJ/Kg} = 47,04 \text{ MJ}$ , astfel  $31 \text{ scaune} \times 47,04 \text{ MJ} = 1458,24 \text{ MJ}$ ;

- hârtie:  $0,5 \text{ kg} \times 16,30 \text{ MJ/kg} = 8,15 \text{ MJ}$ , astfel  $31 \text{ locuri} \times 8,15 \text{ MJ} = 252,65 \text{ MJ}$ ;

- pardoseală estradă:  $0,5 \text{ m}^2 \times 600 \text{ kg/m}^3 \times 19,60 \text{ MJ/kg} = 5880 \text{ MJ}$ ;

- cabluri, tuburi etc.:  $0,4 \text{ kg/m} \times 50 \text{ m} \times 33,50 \text{ MJ/kg} = 670 \text{ MJ}$ ,

Total sarcină termică în încăpere:

$1018,71 + 7526,4 + 1458,24 + 252,65 + 5880 + 670 = 16806 \text{ MJ}$ .

Evaluarea densității sarcinii termice *conform STAS 10903/2-79*:

$16806 \text{ MJ} / 48 \text{ m}^2 = 351 \text{ MJ/m}^2$ .

Evaluarea densității sarcinii termice de proiectare *conform SR EN 1991-1-2: 2004*:

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

$$q_{fi,k} = 285 \text{ MJ/m}^2, m = 0,80,$$

$$\delta_{q1} = 1,70, \delta_{q2} = 1,00, \delta_{n2} = 0,87, \delta_{n4} = 0,73, \delta_{n6} = 0,61, \delta_{n8} = 1,00, \delta_{n9} = 1,00, \delta_{n10} = 1,00,$$

$$q_{fi,d} = 285 \times 0,80 \times 1,70 \times 1,00 \times (0,87 \times 0,73 \times 0,61 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,10) = 151 \text{ MJ/m}^2.$$

## Teme propuse spre rezolvare

Tema 1: să se determine densitatea de sarcină termică pentru un spațiu de parcare a autoturismelor.

Datele problemei:

- numărul autoturismelor: 85;
- aria construită a parcajului (exclusiv rampe și scări): 3760 m<sup>2</sup>;
- principalele materiale luate în considerare și puterea lor calorifică, Q<sub>i</sub>:
  - benzine (motorine): 6,65 MJ/kg;
  - cauciuc: 41,85 MJ/kg;
  - materiale plastic: 46,00 MJ/kg;
- masa materialelor combustibile luate în considerare pentru un autoturism:
  - benzine (motorine): 48 kg;
  - cauciuc: 80 kg
  - materiale plastice: 400 kg.

Tema 2: să se determine focul de calcul pentru o încăpăre tip birou.

Datele problemei:

- masa mobilierului: 160,00 kg;
- căldura de ardere netă, H<sub>u</sub> (putere calorifică inferioară, Q<sub>i</sub>) pentru piele: 20,00 MJ/kg;
- debitul de căldură maxim, RHR<sub>f</sub> pentru birouri mobilate: 0,200 MW/m<sup>2</sup>;
- aria maximă a incendiului: 4,50 m<sup>2</sup>;
- timpul necesar atingerii unui debit de căldură de 1MW pentru birouri: t<sub>a</sub>=300 s.

## 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., Călinescu V., Prevenirea incendiilor, Editura Tehnică, București, 1979.
5. Bălulescu P., Stingerea incendiilor, Editura Tehnică, București, 1981.
6. Bălulescu P., Popescu I., Ciucă Șt., Îndrumătorul pompierului civil, Oficiul de informare documentară pentru Industria Construcțiilor de Mașini, București, 1987.
7. Bălulescu P., Crăciun I., Agenda pompierului, Editura Tehnică, București, 1993.
8. Bălulescu P., Cauzele tehnice ale incendiilor și prevenirea lor, Ed. Tehnică, București, 1971.
9. Calotă S., Lencu V., Șerban T., Protecția împotriva incendiilor, vol. 1 și vol. 2, București, 1998.
10. Calotă S., Temian G., Știrbu V., Duduc G., Golgojan I. P, Manualul pompierului, Editura Imprimeriei de Vest, Oradea, 2009.
11. D. Diaconu-Șotropa, L. Burlacu, Fenomene de ardere, Review AICPS nr. 1/2007 Ediție nouă, București, 2007.
12. D. Drysdale, An Introduction to Fire Dynamics (second edition), John Wiley&Sons, Ltd, 1998.

13. F. Vițelaru, Contribuții privind evacuarea fumului și persoanelor din clădiri etajate pentru birouri (teză de doctorat), Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" din Iași, 2011.
14. Tatu P., Popescu I., Neagoe V., Ciucă Șt., Manualul pompierilor, Redacția publicațiilor pentru construcții, București, 1972.
15. S.Calotă, GH. Popa, G. Sorescu, S. Dolha, Cercetarea cauzelor de incendiu-Aspecte teoretice și practice, Ed. Universul Juridic, București, 2010.
16. \*\*\*, STAS 10903/1979, Determinarea sarcinii termice în construcții.
17. \*\*\*, Regulamentul instrucției de specialitate a pompierilor militari, Serviciul editorial al Ministerului de Interne, București, 1990.
18. \*\*\*, SR EN 1363/1,2,3, Încercări de rezistență la foc.
19. \*\*\*, EN ISO 13943-2008, Fire Safety-Vocabulary
20. \*\*\*, SR EN 1991-1/2:2004, Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor, Partea 1-2: Acțiuni generale - Acțiuni asupra structurilor expuse la foc.
21. \*\*\*. Manual privind exemplificări, detalieri și soluții de aplicare a prevederilor normativului P118-99 "Siguranța la foc a construcțiilor" indicativ: MP 008-2000.