



Education and Culture DG

Lifelong Learning Programme

LEONARDO DA VINCI – FRACOF+
INNOVATION TRANSFER ON FIRE RESISTANCE ASSESSMENT OF
PARTIALLY PROTECTED COMPOSITE FLOOR

Analiza structurală la acțiunea focului

Principii de calcul

Conf. dr. ing. Raul Zaharia

Universitatea “Politehnica” Timisoara



Conceptul de siguranta la foc

“O constructie trebuie proiectata si executata astfel incat, in cazul izbucnirii unui incendiu:

- Raspandirea focului in constructie sa fie limitata;
- Raspandirea focului catre constructiile invecinate sa fie limitata;
- Ocupantii cladirii sa poata parasi cladirea sau sa fie salvati prin alte mijloace;
- Siguranta echipelor de salvare sa fie luata in considerare;
- Capacitatea portanta a structurii de rezistenta sa fie asigurata pentru o anumita perioada de timp.”

Directiva Comisiei Europene - 21 Decembrie 1988

Conceptul de siguranta la foc

Masuri protectie active:

- sisteme de alertare, desfumare si de stingere in caz de incendiu (hidranti interiori, exteriori, sprinklere, etc.)

Masuri de protectie pasive:

- cai de evacuare
- limitarea raspandirii focului si fumului printr-o partitionare adecvata/ distante minime fata de vecinatati
- impunerea unei rezistente minime la foc (timp) a elementelor structurii de rezistenta a constructiei

Rezistența la foc

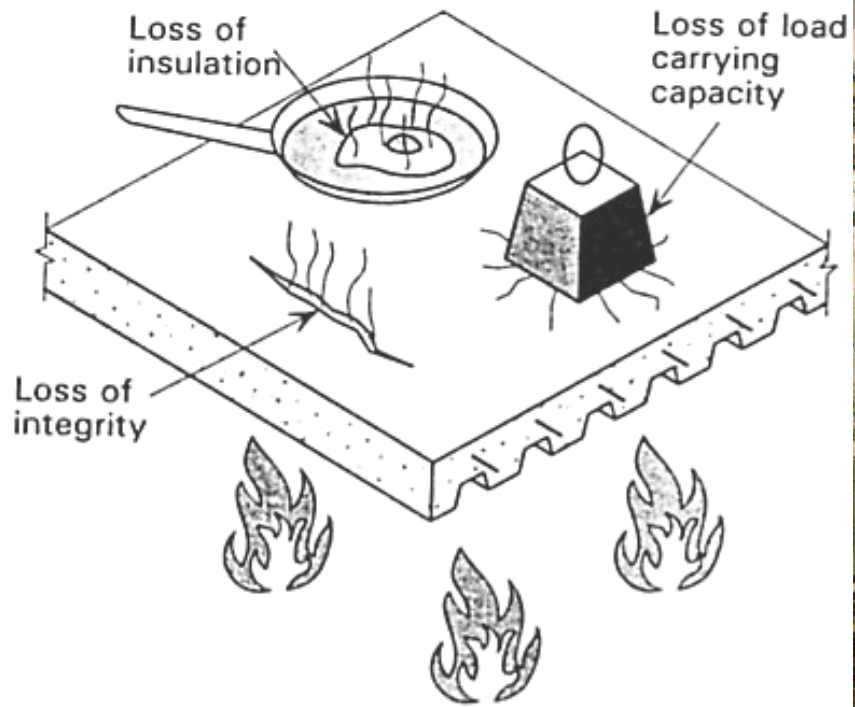
I. r. rt.	Tipul elementelor de construcție	Nivelul de stabilitate la foc				
		I	II	III	IV	V
1	Stâlpi	R 240	R 120	R 60	R 30	R 15
2	Pereți portanți, diafragme	REI 240	REI 120	REI 60	REI 30	REI 15
3	Pereți interiori neporanți cu rol de separare a focului	EI 45	EI 30	EI 15	EI 15	–
4	Pereți exteriori neporanți, pereți cortină	EI 15 EI 30 la	EI 15 foc exterior	EI 15	E 15	–
5	Grinzi, ferme, contravântuiri verticale	R 120	R 60 (R 30)	R 45 (R 30)	R 30	R 15
3	Planșee, acoperișuri terasă	REI 120	REI 60 (REI 30)	REI 45, (REI 30)	REI 30	REI 15
7	Pane, contravântuiri orizontale, șarpanta acoperișurilor fără pod	R 45 (R 30)	R 30 (R 15)	R 15	R15	–
3	Panouri de învelitoare și suportul continuu al învelitorii combustibile (în afară de tablă goală)	REI 15	–	–	–	–

*IOTA 1 – Pentru simbolurile R, EI, REI, a se vedea Deciziile Comisiei Europene.
REI – sunt satisfăcute toate criteriile (capacitate portantă, etanșeitate la foc, izolare termică)
R – este satisfăcut numai criteriul de capacitate portantă
EI – sunt satisfăcute numai criteriile de etanșeitate la foc și cel de izolare termică*

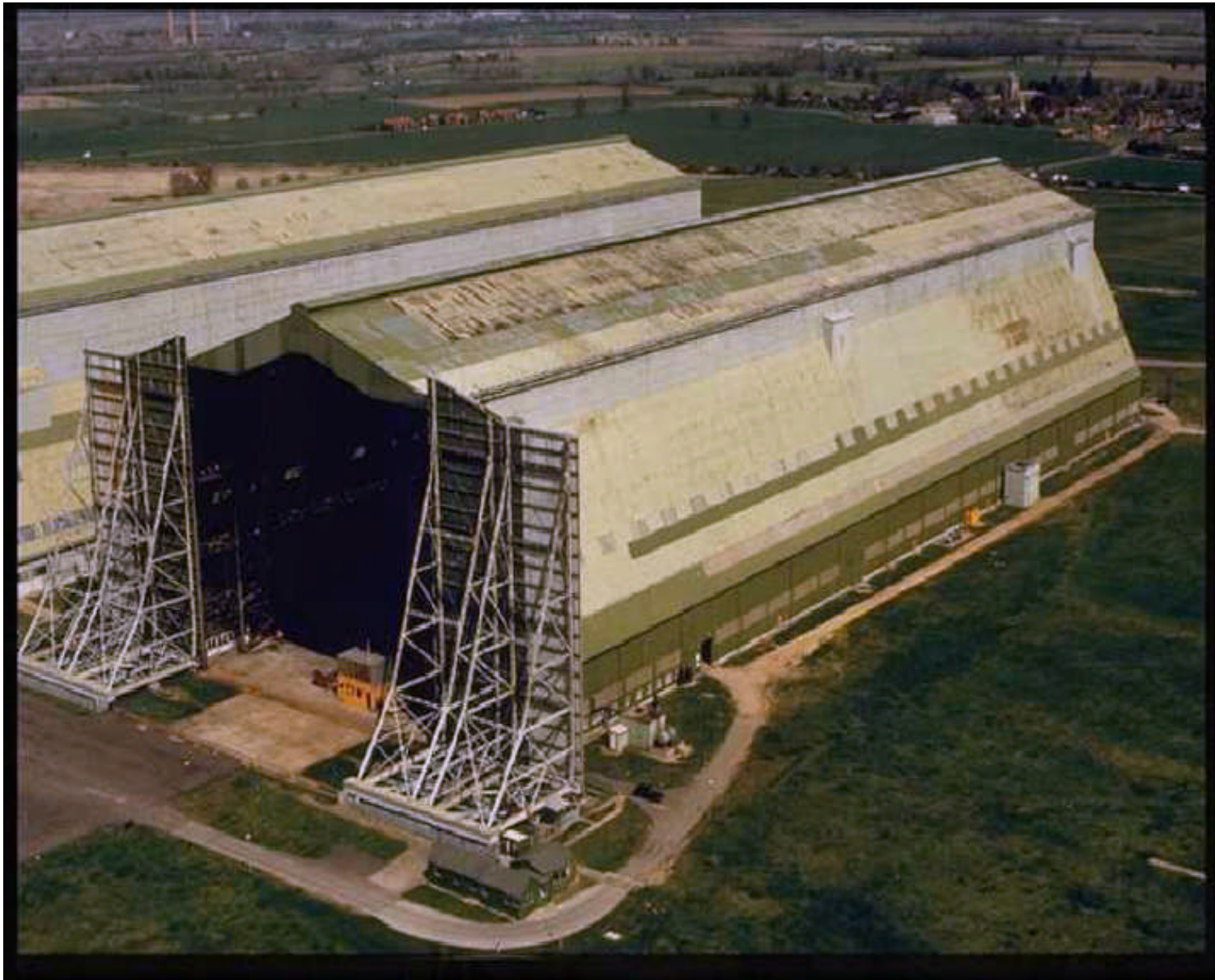
IOTA 2 _ Cifrele din paranteză corespund clădirilor și compartimentelor în care sarcina termică nu depășește 840 Mj/m², cu excepția clădirilor înalte, foarte înalte, a celor cu săli aglomerate, a celor care adăpostesc persoane care nu se pot evacua singure.

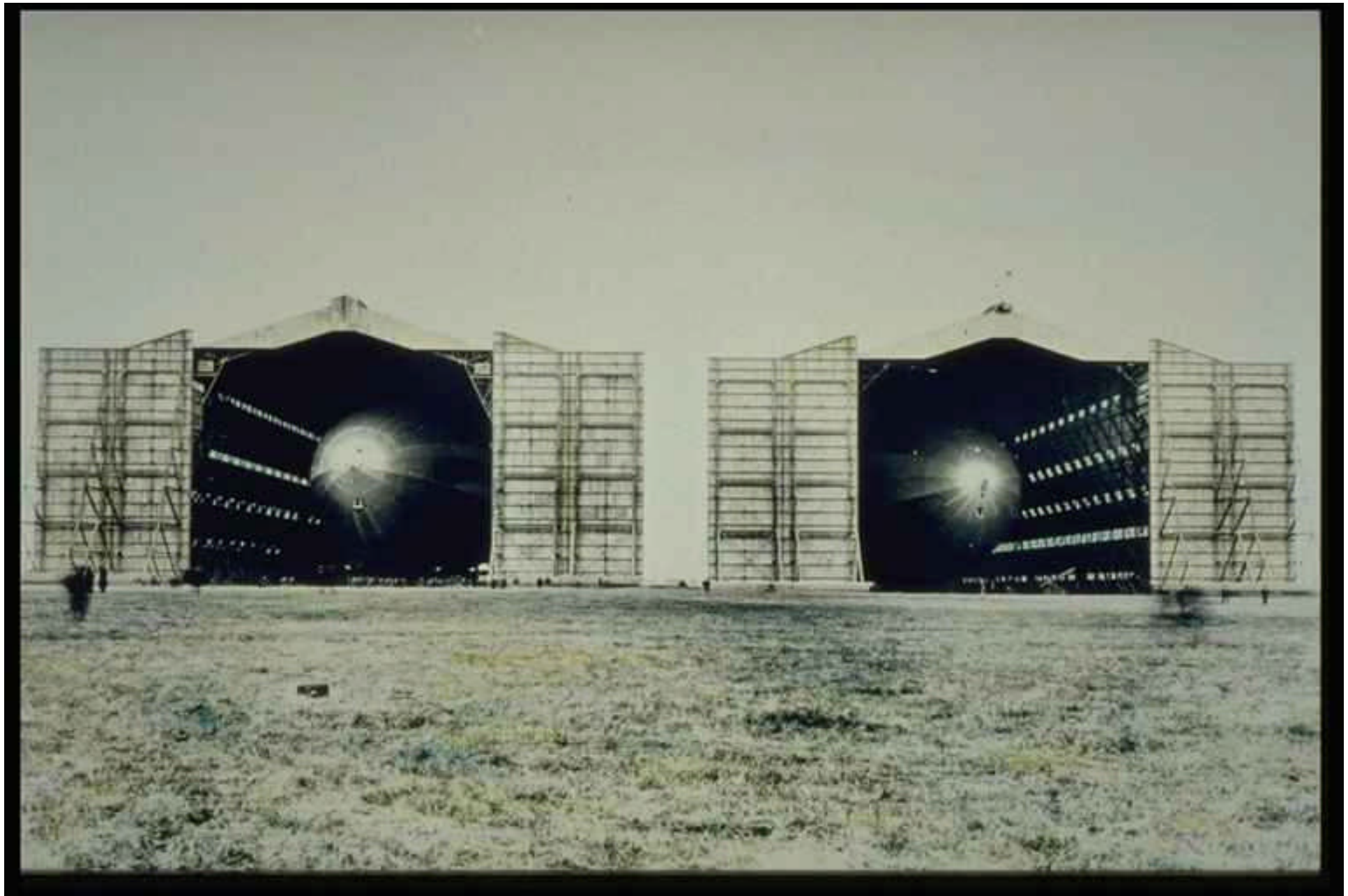
IOTA 3 – Atunci când pereții, trebuie să aibă din condiții de separare, rezistențe mai mari de REI 180, stâlpii și diafragmele vor avea cel puțin aceiași rezistență la foc cu pereții

Capacitate portanta - rezistentă (R), etanșeitate (E), izolare (I)



Laboratorul de la Cardington – 48 m x 65 m x 250 m





Hangar Cardington – Carte postala din 1925



Standarde europene de calcul la foc - Eurocoduri

Eurocode	Standard de baza	Calcul la foc
0 : Basis of design (Bazele proiectarii)	EN 1990	-
1 : Actions (Actiuni)	EN 1991-1-1	EN 1991-1-2
2 : Concrete structures (Beton)	EN 1992-1-1	EN 1992-1-2
3 : Steel structures (Otel)	EN 1993-1-1	EN 1993-1-2
4 : Composite steel-concrete structures (Structuri compuse otel-beton)	EN 1994-1-1	EN 1994-1-2
5 : Timber structures (Lemn)	EN 1995-1-1	EN 1995-1-2
6 : Masonry structures (Zidarie)	EN 1996-1-1	EN 1996-1-2
7 : Geotechnical design (Fundatii)	EN 1997	-
8 : Earthquake resistance (Seism)	EN 1998	-
9: Aluminium alloy structures (Aluminiu)	EN 1999-1-1	EN 1999-1-2

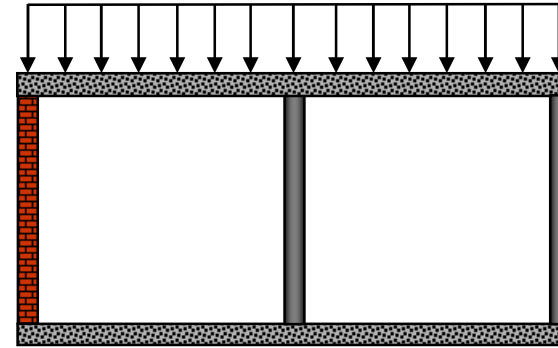
Rezistența la foc - Serie de evenimente



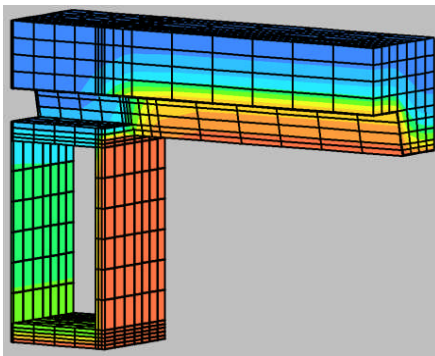
1: Aprindere



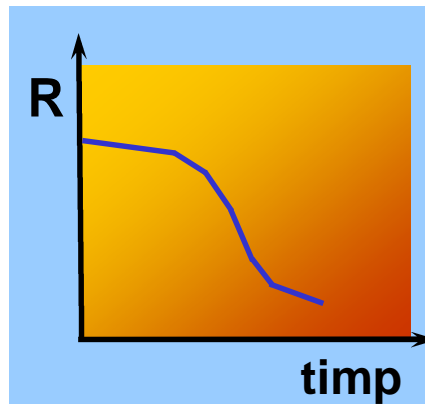
2: Acțiunea termică



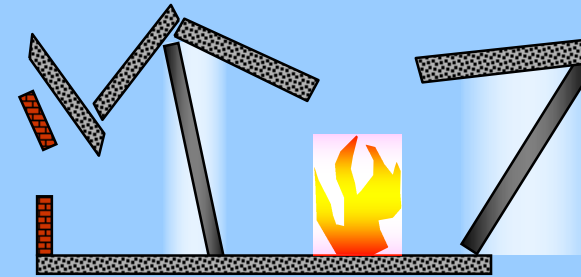
3: Acțiuni mecanice



4: Răspunsul termic



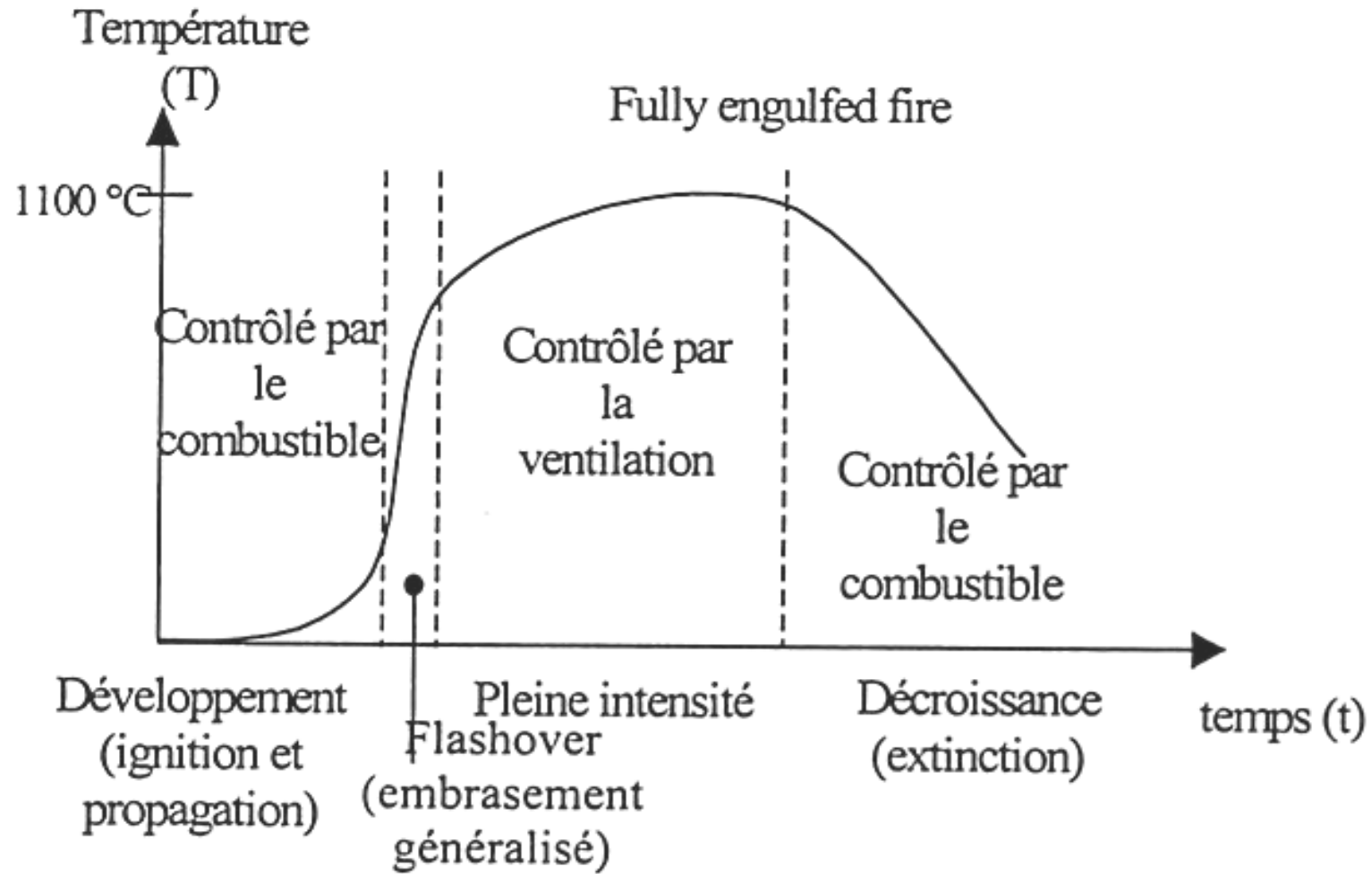
5: Răspunsul mecanic



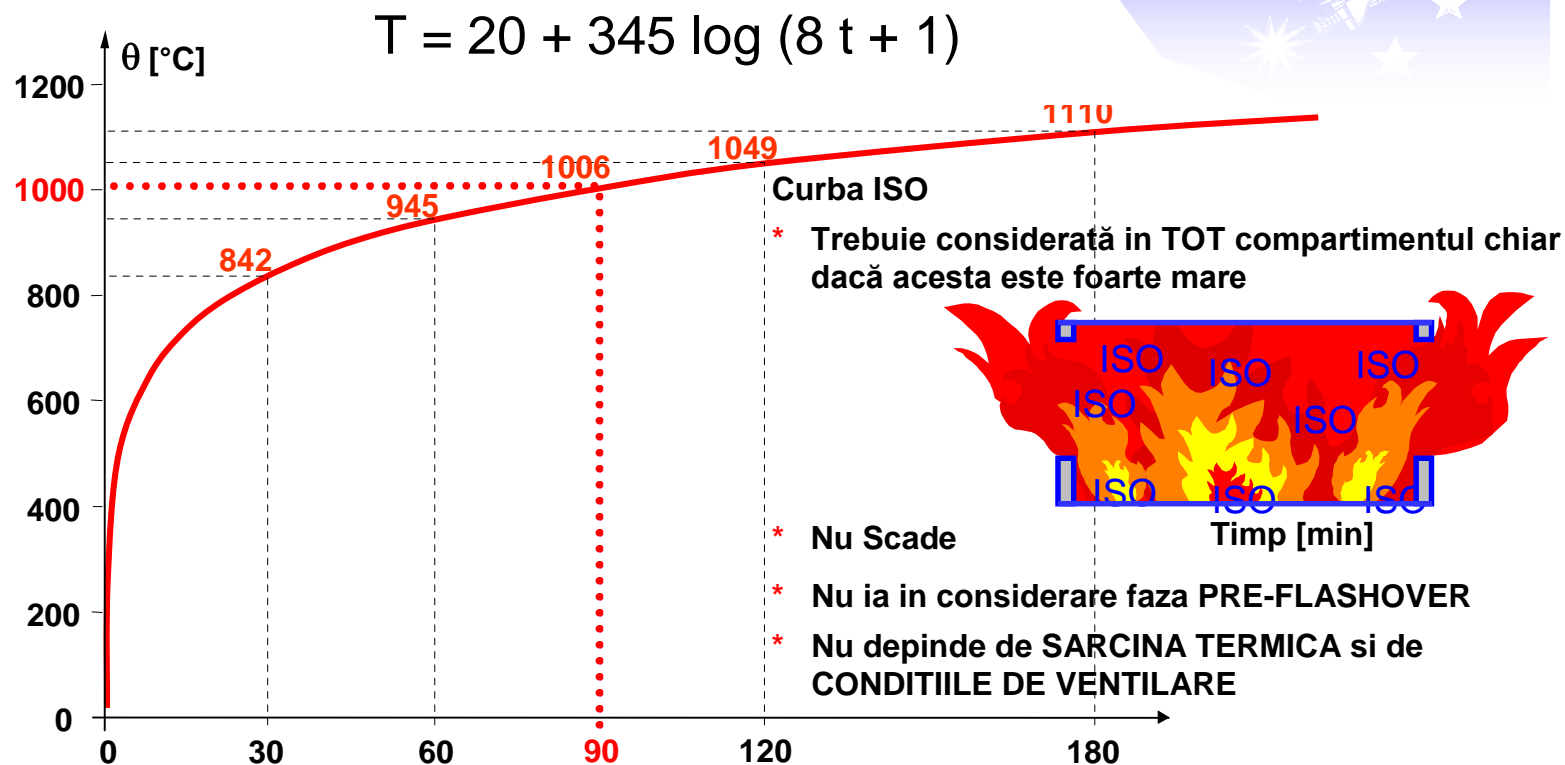
6: Colaps posibil



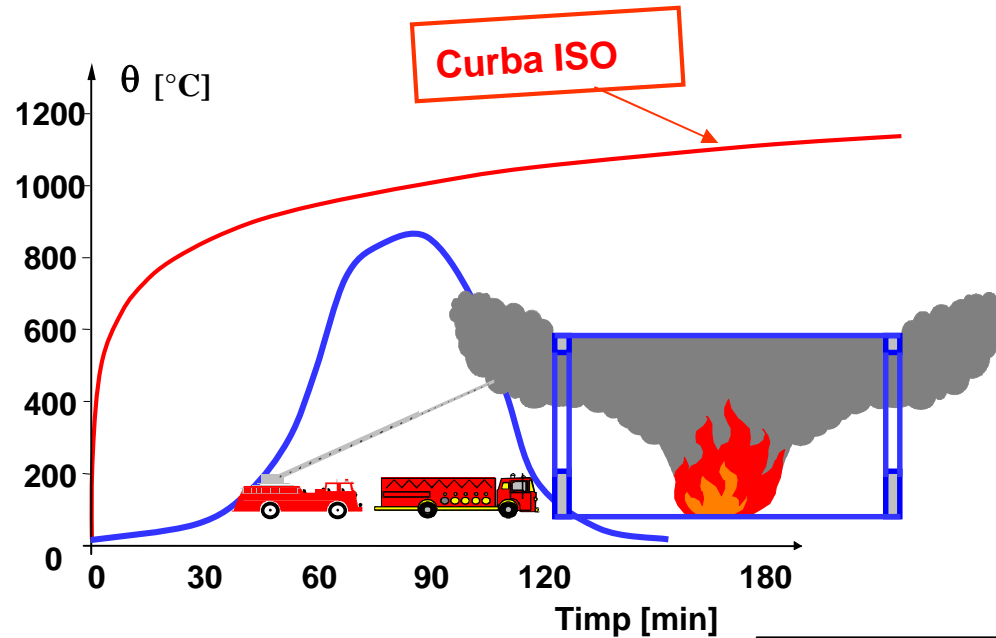
Actiunea termica



Curba ISO-834 (EN1364 -1)



Foc Natural



EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

EN 1991-1-2



November 2002

ICS 13.220.50; 91.010.30

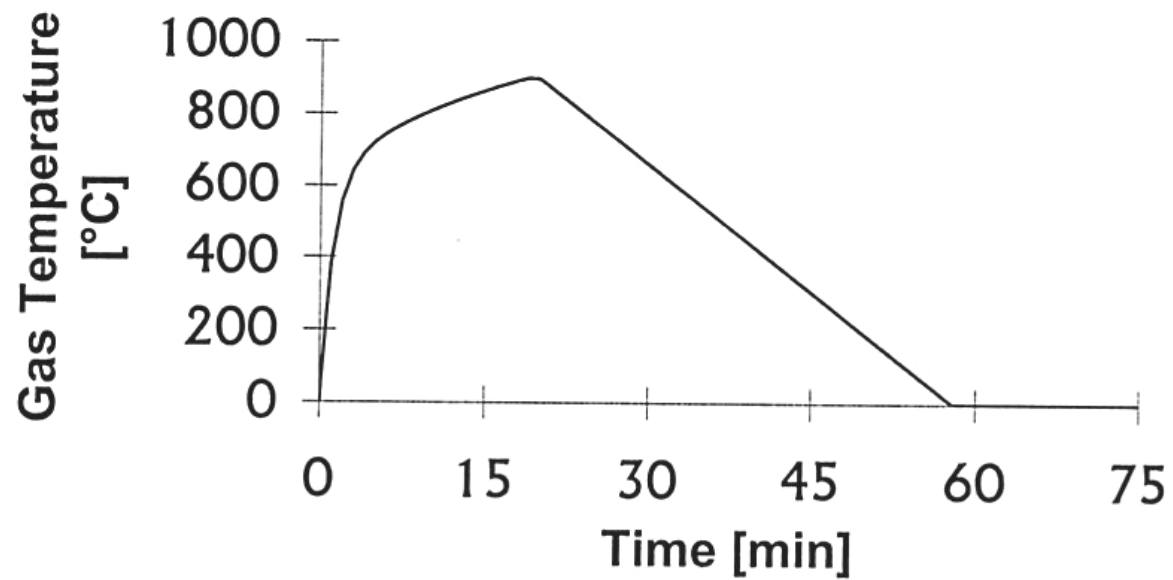
English version

Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions -
Actions on structures exposed to fire

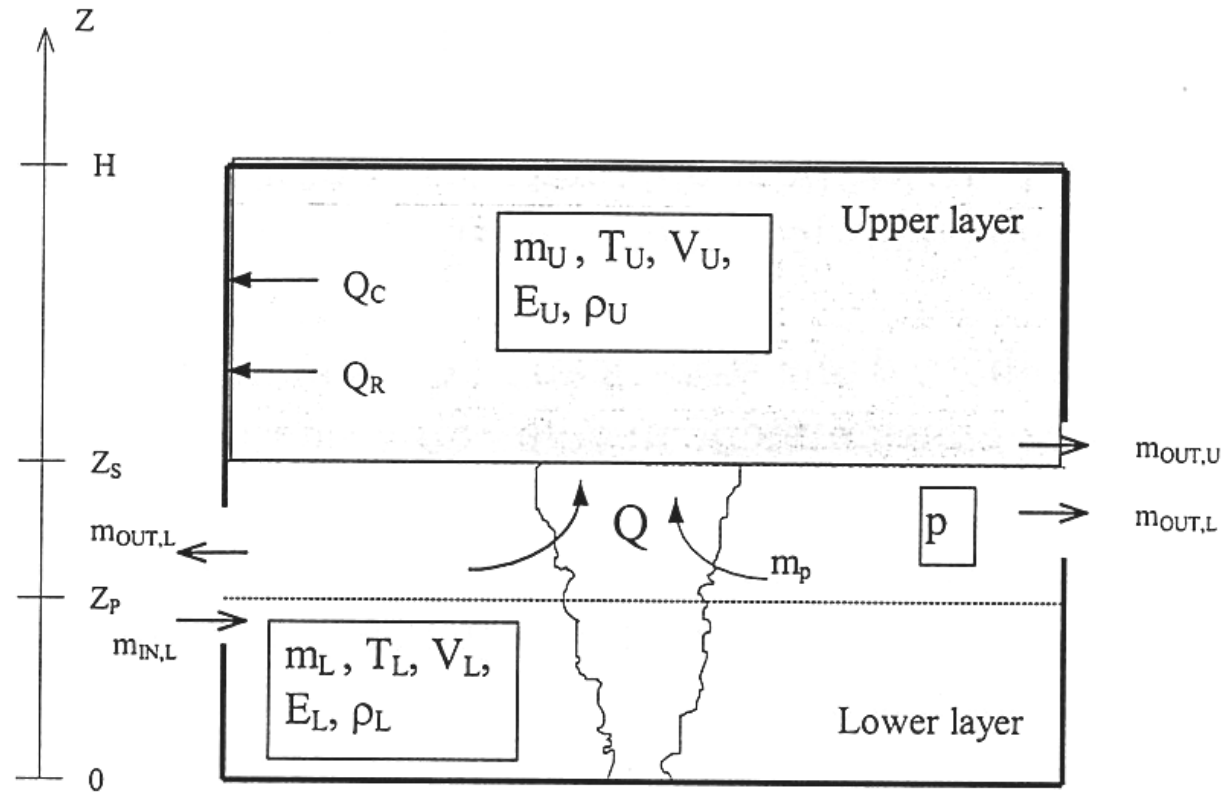
Eurocode 1: Actions sur les structures au feu - Partie 1-2:
Actions générales - Actions sur les structures exposées

Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2:
Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf
Tragwerke

**Curba de foc parametric
(limitata la 500mp si inaltime 4m)**



– Model “O zona/ Doua zone”

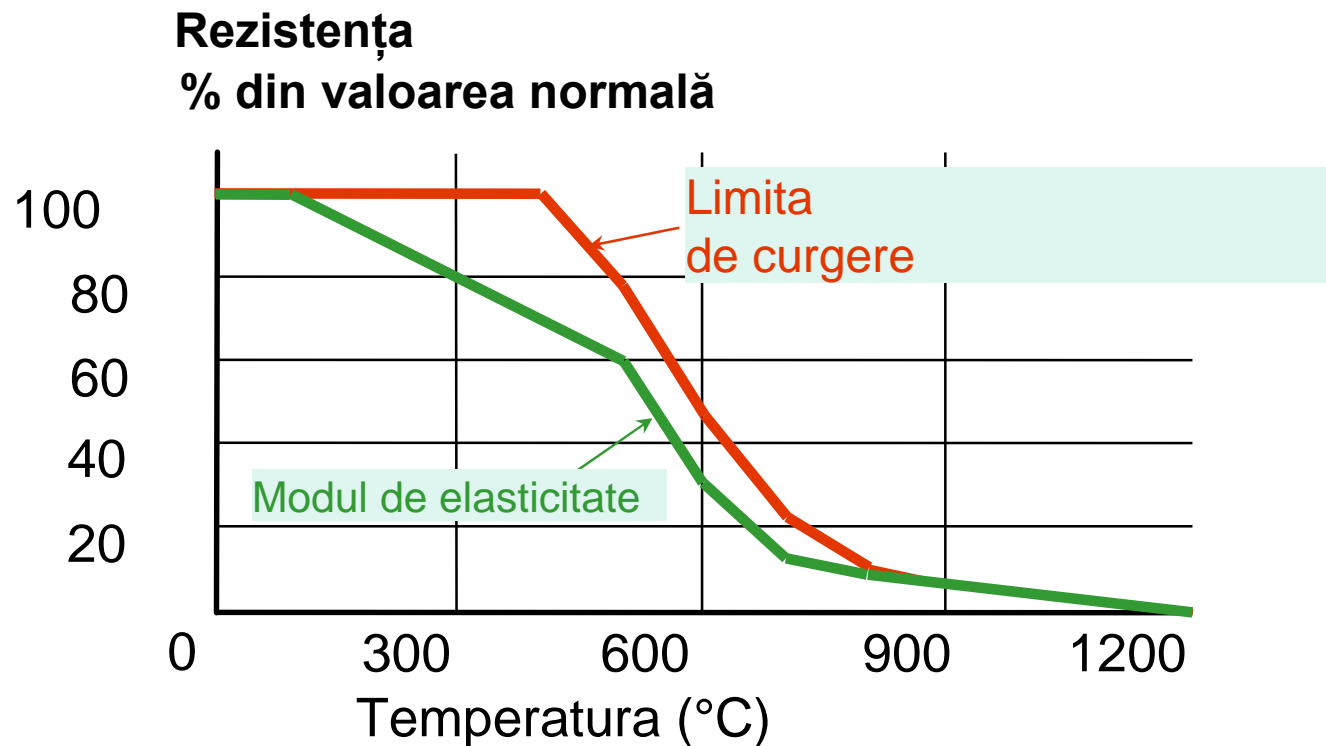


Actiuni mecanice - Combinatia speciala in situatia de incendiu

$$E_{d,fi} = G_k + P_k + \psi_{1,1} Q_{k1} + \sum \psi_{2,i} Q_{ki}$$

Action	ψ_1	ψ_2
Imposed load in buildings		
category A: domestic, residential	0.5	0.3
category B: offices	0.5	0.3
category C: congregation areas	0.7	0.6
category D: shopping	0.7	0.6
category E: storage	0.9	0.8
Snow loads		
for sites located at altitude $H \leq 1000$ m	0.2	0.0
for sites located at altitude $H > 1000$ m	0.5	0.2
Wind loads	0.5	0.0

Rezistența materialelor la temperaturi înalte (otel - EN1993-1-2)



- ◆ Modulul de elasticitate la 600°C redus cu aprox. 70%
- ◆ Limita de curgere la 600°C redusă cu aprox. 50%

Răspunsul Termic

Elemente de bază

Ecuatia de echilibru (doar pentru direcția x):

$$\Delta h \Delta y \Delta z + \Delta(\rho c_p \Theta) \Delta x \Delta y \Delta z / \Delta t = 0$$

h – fluxul de caldura [W/m²]

$$\Delta h / \Delta x + \Delta(\rho c_p \Theta) / \Delta t = 0$$

Capacitatea termică (= $\rho \cdot c_p$) [J/m³]

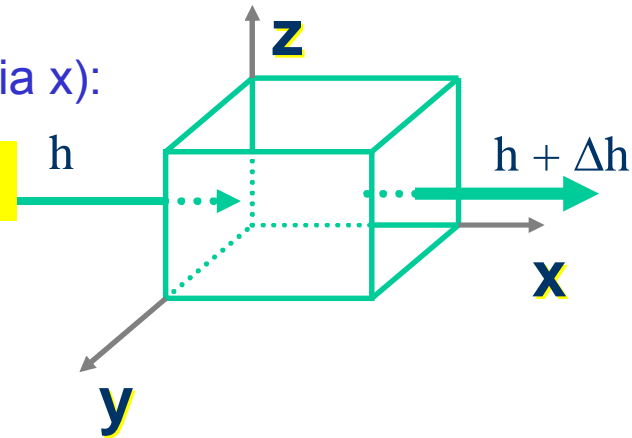
c_p - caldura specifica [J/kg]

ρ - densitate [kg/m³]

Legea lui Fourier

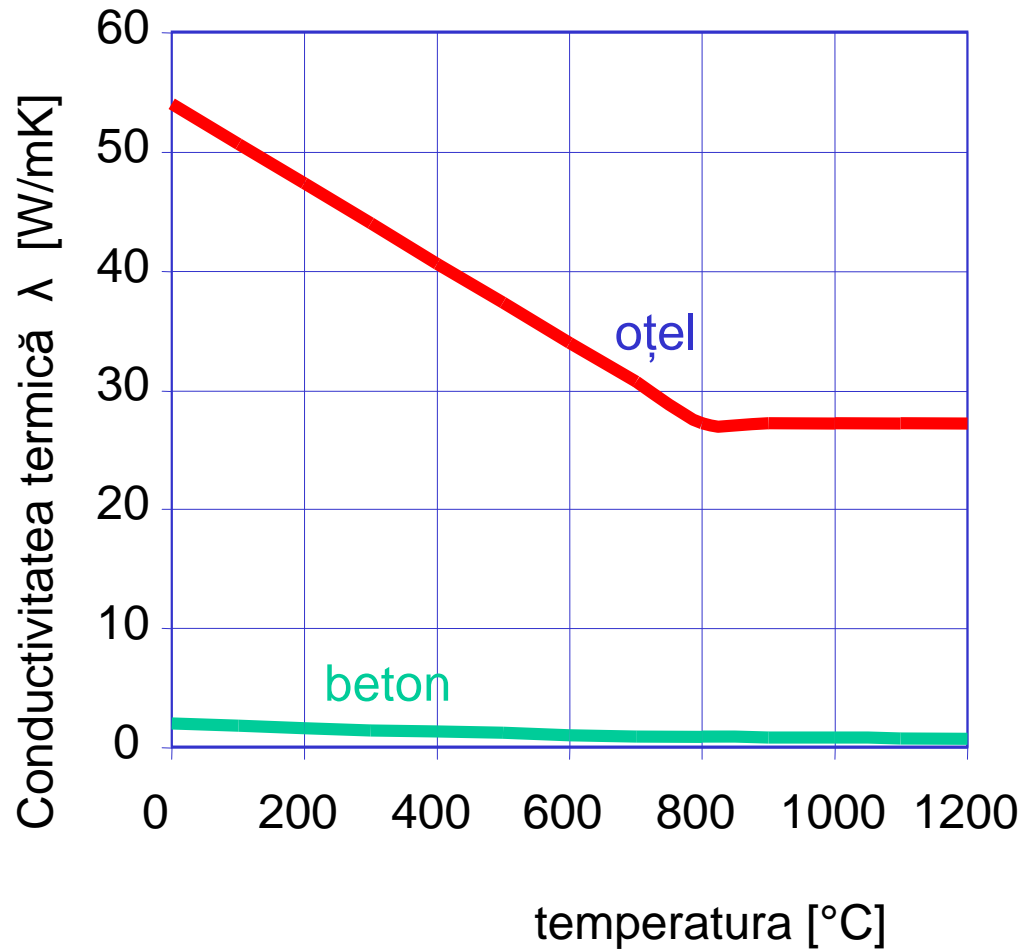
$$h = \lambda \Delta \Theta / \Delta x$$

Conductivitatea termică (= λ) [W/mK]



$$\frac{\partial(\rho c_p \Theta)}{\partial t} + \frac{\partial(\lambda \frac{\partial \Theta}{\partial x})}{\partial x} = 0$$

Conductivitatea termică Beton vs. Oțel



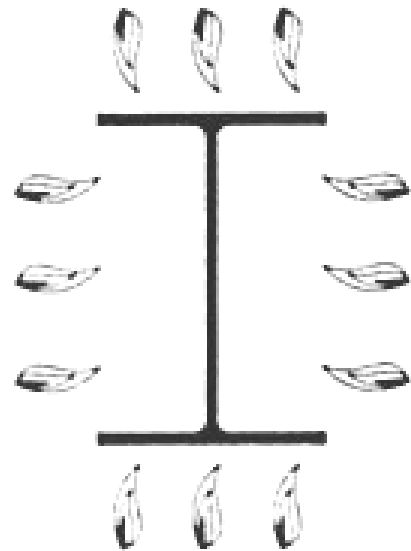
Distributia temperaturii in elemente

$$\text{Section Factor} = A_m/V$$

where:

A_m is the exposed surface area of the member per unit length;

V is the volume of the member per unit length.

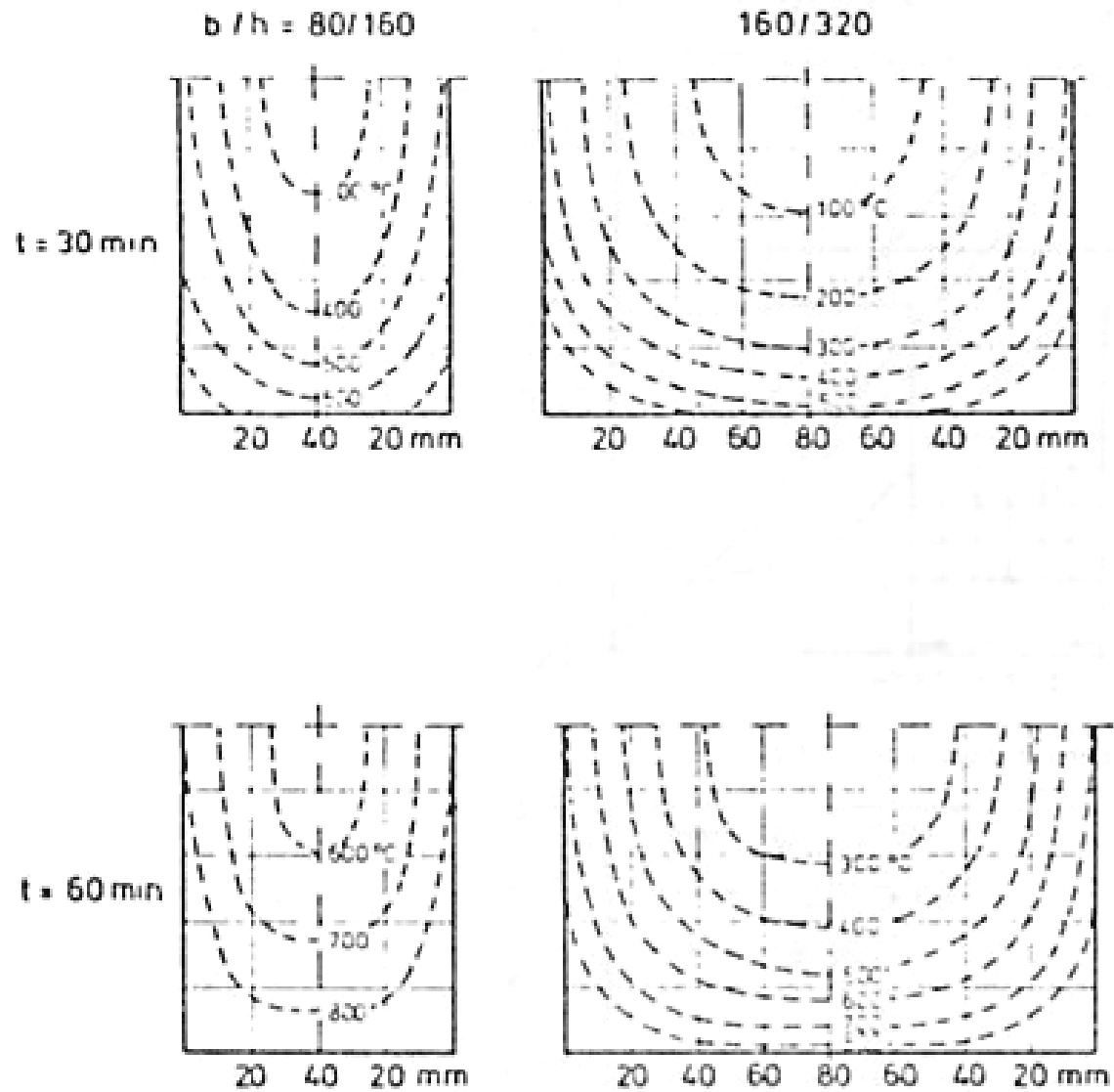


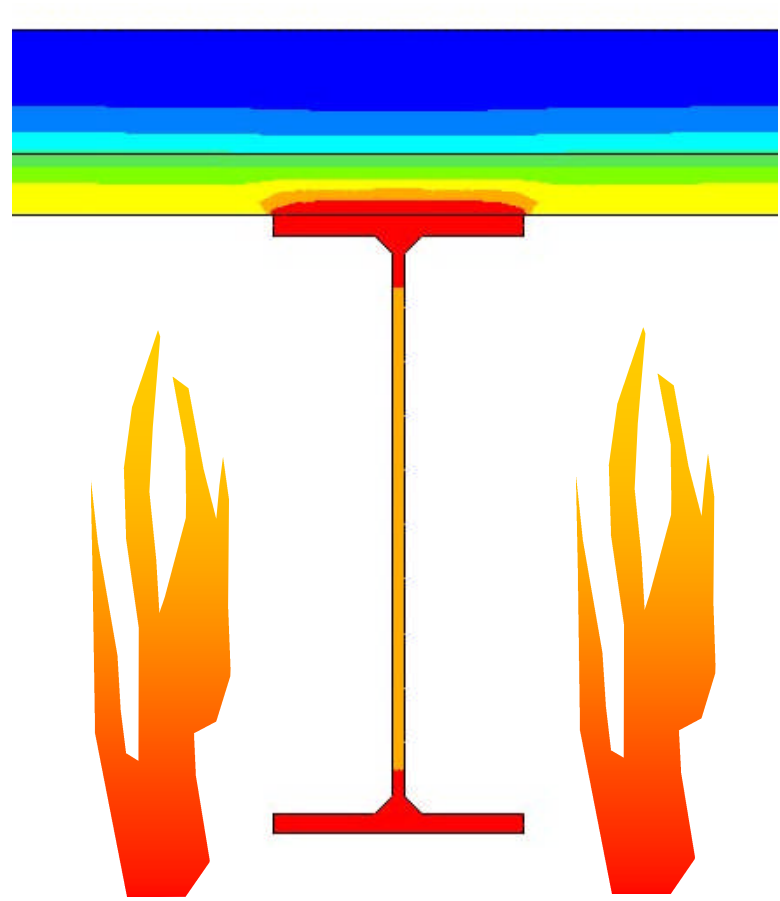
High A_m
Low V
leading to
Fast
Heating



Low A_m
High V
leading to
Slow
heating

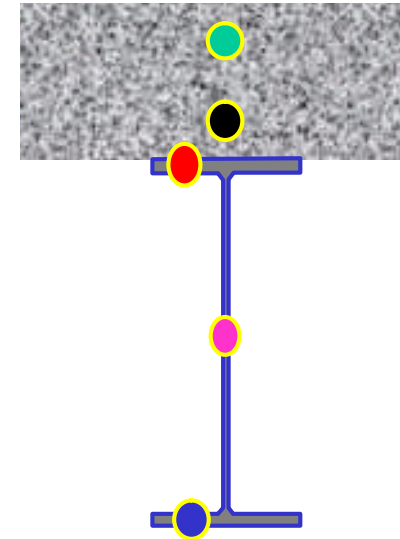
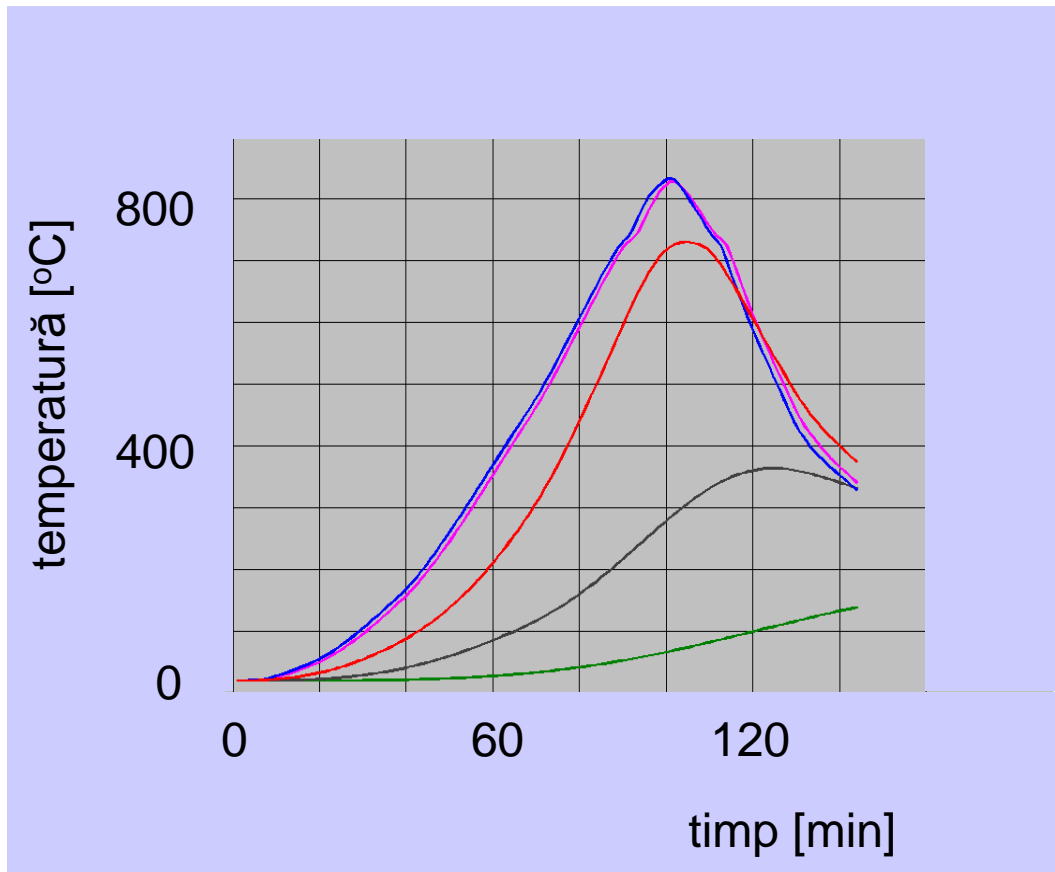
Distributia temperaturii in elemente





Răspunsul Termic

Grinda din oțel / Placa din beton (2D)



Trei tipuri de metode de calcul pentru evaluarea răspunsului mecanic al structurilor expuse la foc

❑ Metoda tabelara

- Elemente structurale din beton și compozite

❑ Modele simple de calcul

- Temperatura critică (doar la oțel)
- Elemente structurale din oțel, beton și compozite

Aplicații
obisnuite

❑ Modele avansate de calcul

- Toate tipurile de structuri
- Modele numerice

Proiectare
avansată și
specifică la
foc

Rezistența la Foc a elementelor din oțel

Principii

- Elemente metalice neprotejate
- Elemente metalice protejate
- Parametrii de calcul pentru evoluția temperaturii pe secțiune
 - ✧ Factorul de secțiune
 - ✧ Caracteristicile protecției la foc

Rezistența la Foc a elementelor din oțel

Principii

- Doar funcția de preluare a încărcărilor
 - ⇒ Capacitatea portantă
- Distribuție uniformă a temperaturii (temperatura unica pe secțiunea transversală), datorită conductivității termice ridicate și a caracteristicilor sectionale
 - ⇒ Conceptul de temperatură critică a oțelului, **in**
relație cu nivelul de încărcare al elementului !

Temperatura functie de factorul de sectiune (elemente de otel neprotejate)

$$\Delta\theta_{s,t} = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net,d} \Delta t \quad (4.1)$$

in care:

$\Delta\theta_{s,t}$ creșterea temperaturii otelului în intervalul de timp Δt ;

k_{sh} factorul de corecție pentru efectul de umbra;

A_m aria suprafeței expuse la foc a elementului pe unitatea de lungime [m^2/m];

V este volumul elementului pe unitatea de lungime [m^3/m];

c_a căldura specifică a otelului [J/kgK];

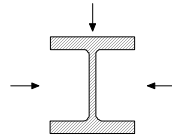
ρ_a densitatea otelului [kg/m^3];

$\dot{h}_{net,d}$ este valoarea de calcul a fluxului termic net pe unitatea de suprafață [W/m^2].

Calculul factorului de secțiune

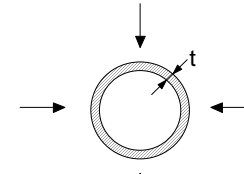
Secțiune deschisă expusă la foc pe toate fețele:

$$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{perimetru}}{\text{arie secțiune}}$$



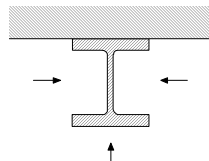
Țeavă circulară expusă la foc pe toate fețele:

$$A_m / V = 1 / t$$

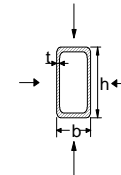


Secțiuni deschise expuse la foc pe trei părți:

$$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{suprafata expusa la foc}}{\text{arie secțiune transversala}}$$



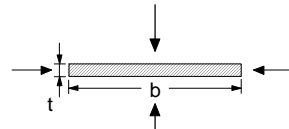
Țevi profilate fără sudură expuse la foc pe toate fețele: dacă $t \ll b$: $A_m / V \approx 1 / t$



Platbandă expusă la foc pe toate fețele:

$$A_m / V = 2(b + t) / (bt)$$

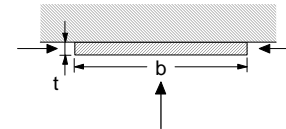
dacă $t \ll b$: $A_m / V \approx 2 / t$



Platbandă expusă la foc pe trei fețe:

$$A_m / V = (b + 2t) / (bt)$$

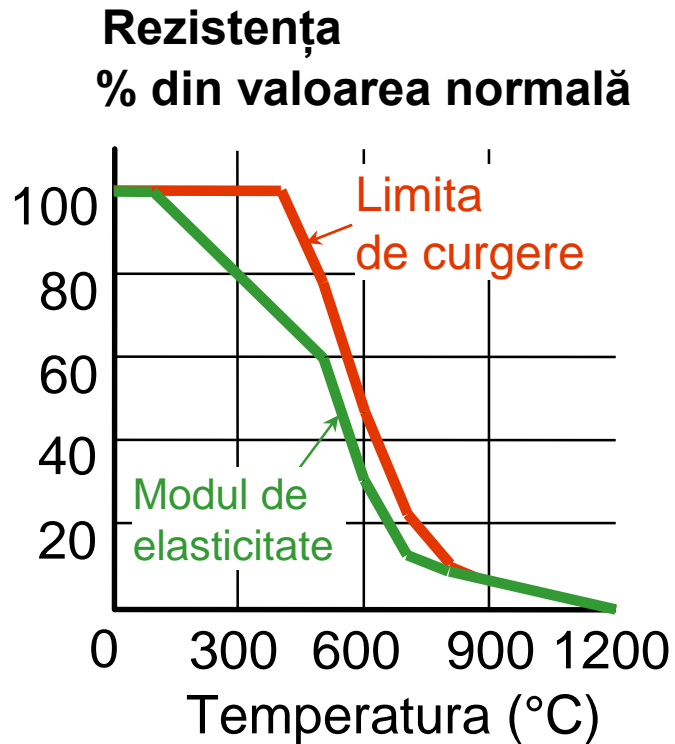
dacă $t \ll b$: $A_m / V \approx 1 / t$



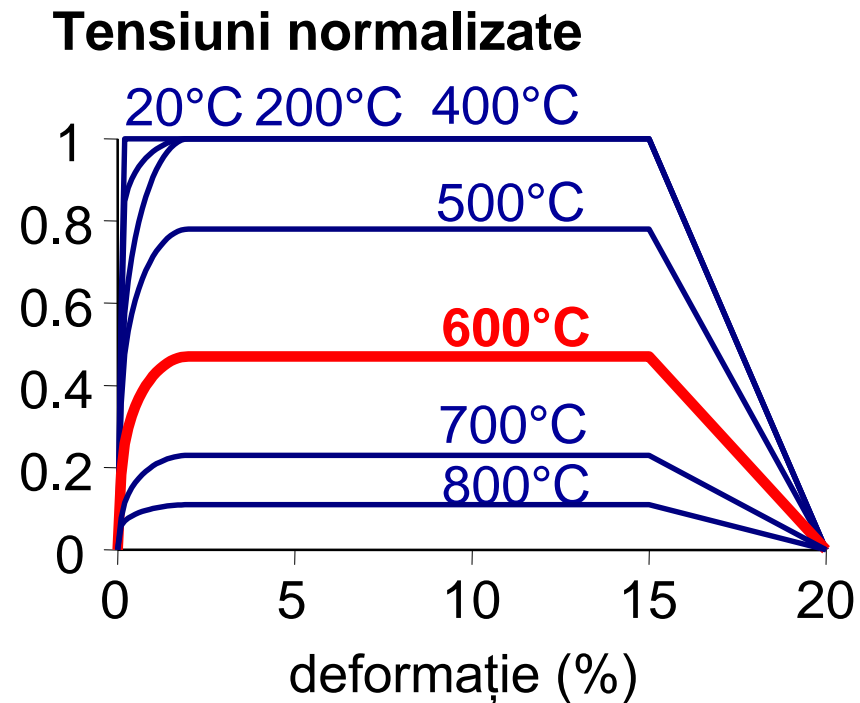
Temperatura functie de factorul de sectiune (elemente neprotejate - foc ISO)

$A_m^*/V [m^{-1}]$	400	200	100	60	40	25
$V/A_m^* [mm]$	2.5	5.0	10.0	16.7	25.0	40.0
Timp[$min.$]	Temperatura secțiunii din oțel [$^{\circ}C$]					
0	20	20	20	20	20	20
5	430	291	177	121	90	65
10	640	552	392	276	204	142
11	661	587	432	308	228	159
12	678	616	469	340	253	177
13	693	642	503	371	278	194
14	705	663	535	402	303	212
15	716	682	565	432	328	230
16	725	698	591	460	353	249
17	732	711	616	487	377	267
18	736	721	638	513	401	286
19	743	729	658	538	425	304
20	754	734	676	561	447	323
21	767	738	692	583	470	341
22	780	744	706	604	491	360
23	790	754	717	623	512	378
24	799	767	726	641	532	396
25	807	780	732	658	551	414
26	813	792	735	674	570	431
27	820	803	740	688	588	449
28	826	813	746	701	604	466
29	831	821	756	712	621	482
30	837	828	767	721	636	498

Proprietățile mecanice ale oțelului structural la temperaturi ridicate (EN1993-1-2)



- ◆ Modulul de elasticitate la 600°C redus cu aprox. 70%



- ◆ Rezistența de curgere la 600°C redusă cu peste 50%

Proprietățile mecanice ale oțelului structural la temperaturi ridicate (EN1993-1-2)

Temperatura otel θ_a	Factor reducere (funcție de f_y) pentru limita de curgere efectiva $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Factor reducere (funcție de f_y) pentru limita de proporționalitate $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Factor reducere (funcție de f_y) pentru limita de curgere de calcul $k_{p0,2,\theta} = f_{p0,2,\theta}/f_y$	Factor reducere (funcție de E_a) pentru panta domeniului elastic liniar $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20 °C	1,000	1,000	1,000	1,000
100 °C	1,000	1,000	1,000	1,000
200 °C	1,000	0,807	0,890	0,900
300 °C	1,000	0,613	0,780	0,800
400 °C	1,000	0,420	0,650	0,700
500 °C	0,780	0,360	0,530	0,600
600 °C	0,470	0,180	0,300	0,310
700 °C	0,230	0,075	0,130	0,130
800 °C	0,110	0,050	0,070	0,090
900 °C	0,060	0,0375	0,050	0,0675
1000 °C	0,040	0,0250	0,030	0,0450
1100 °C	0,020	0,0125	0,020	0,0225
1200 °C	0,000	0,0000	0,000	0,0000

Proceduri de calcul pentru Răspunsul Termic Elemente din Beton si Compozite

- **Problema: Distribuție neuniformă a temperaturii !**

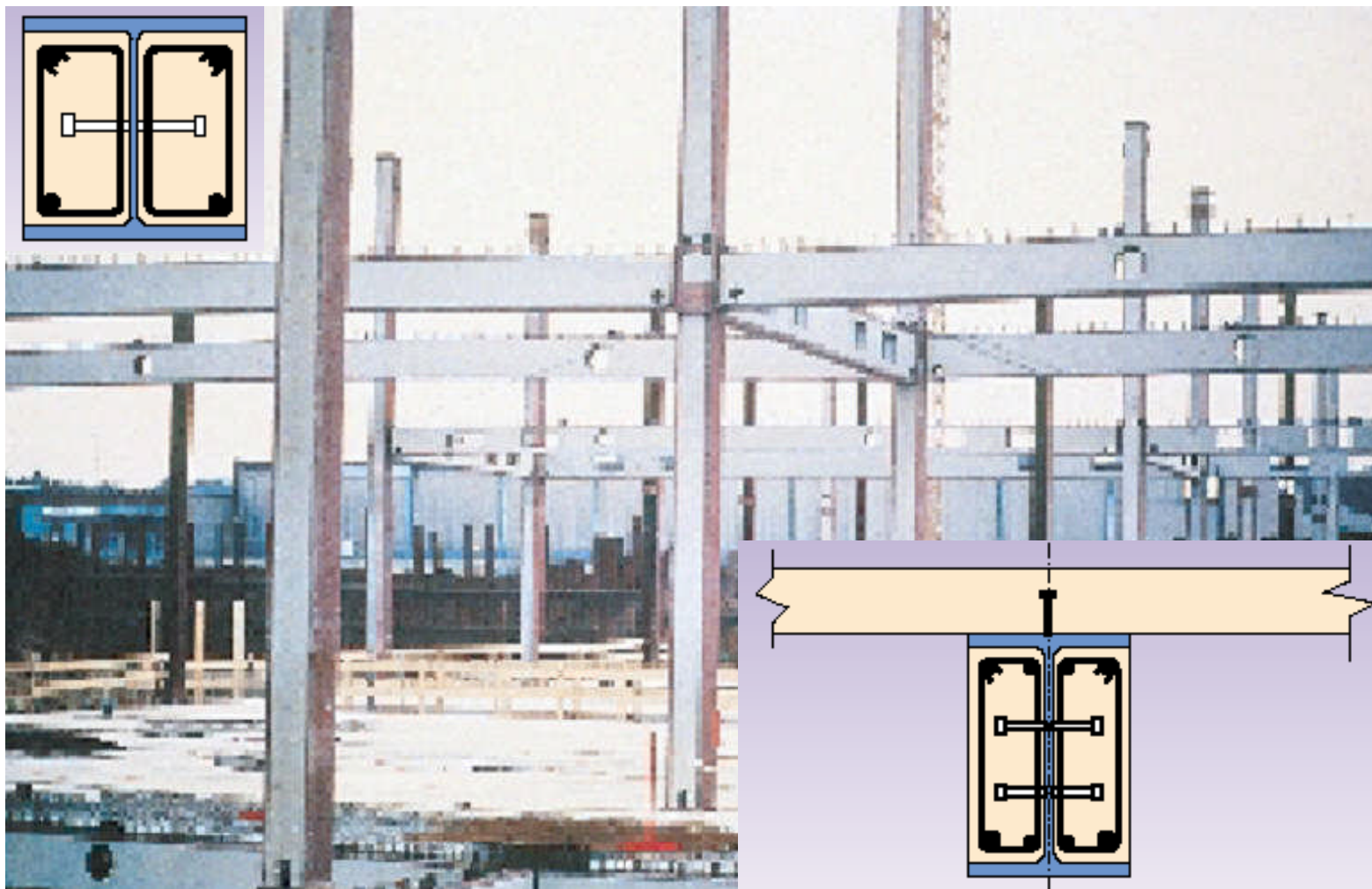
- **Opțiuni**
 - ✧ **Date tabelare**

 - ✧ **Modele simple de calcul:**
 - Modele bazate pe reguli semi-empirice, derivate din teste la foc standard (stalpi compoziti cu beton intre talpile profilului)
 - Modele bazate pe studii parametrice cu modele avansate, calibrate cu teste la foc standard (plansee compozite)

Nota: Datele tabelare si Modelele simple au un domeniu de aplicare limitat!

- ✧ **Modele avansate de calcul**
 - Pentru orice tip de sectiune

Exemplu: Stâlpi și Grinzi cu Profile parțial înglobate în Beton



Metoda tabelara stâlpi compoziți cu acoperire partiala EN1994-1-2

		Rezistența standard la foc			
		R30	R60	R90	R120
Raportul minim dintre grosimea inimii și cea a talpii e_w/e_f		0,5			
1	Dimensiunile minime ale secțiunii transversale pentru nivelul de încărcare	$\eta f_{i,t} \leq 0,28$			
1.1	dimensiunile minime h și b [mm]	160	200	300	400
1.2	dist min dintre axele barelor de armatura u_s [mm]	-	50	50	70
1.3	procentul minim de armare $A_s/(A_c+A_s)$ in %	-	4	3	4
2	Dimensiunile minime ale secțiunii transversale pentru nivelul de încărcare	$\eta f_{i,t} \leq 0,47$			
2.1	dimensiunile minime h și b [mm]	160	300	400	-
2.2	dist min dintre axele barelor de armatura u_s [mm]	-	50	70	-
2.3	procentul minim de armare $A_s/(A_c+A_s)$ in %	-	4	4	-
3	Dimensiunile minime ale secțiunii transversale pentru nivelul de încărcare	$\eta f_{i,t} \leq 0,66$			
3.1	dimensiunile minime h și b [mm]	160	400	-	-
3.2	dist min dintre axele barelor de armatura u_s [mm]	40	70	-	-
3.3	procentul minim de armare $A_s/(A_c+A_s)$ in %	1	4	-	-

Rezistența standard

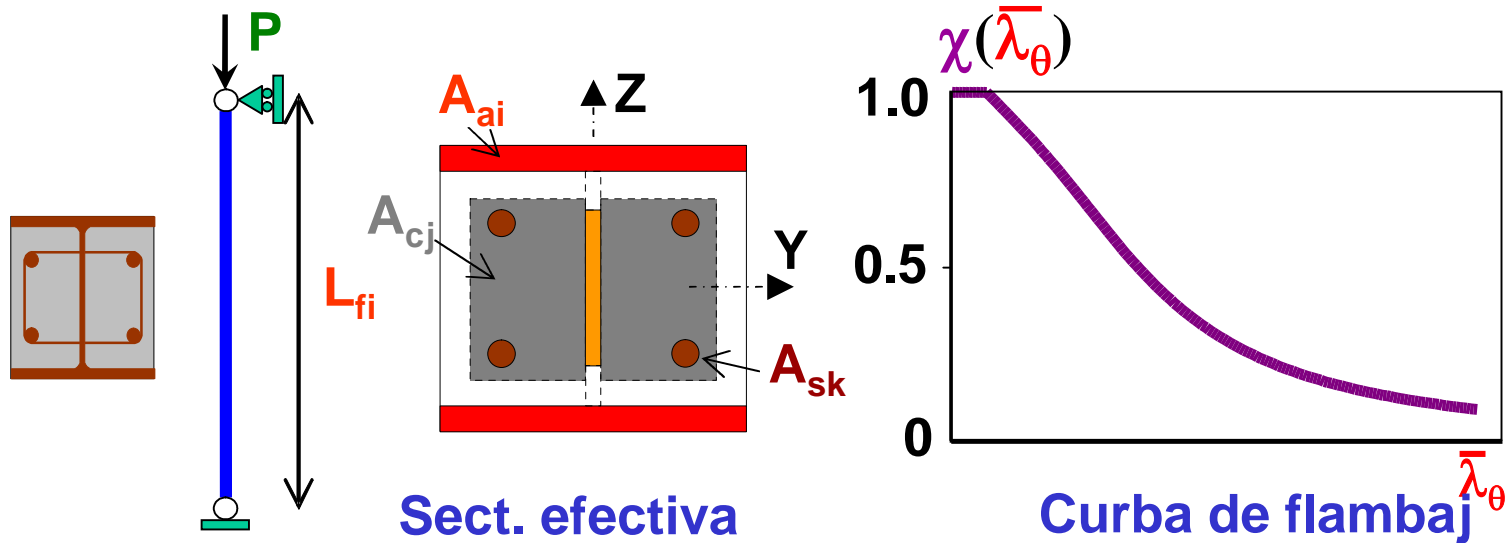
Nivelul de încărcare

Dimensiunea secțiunii

Armătura

Acoperirea cu beton

Model simplu de calcul (exemplu stâlp compozit)

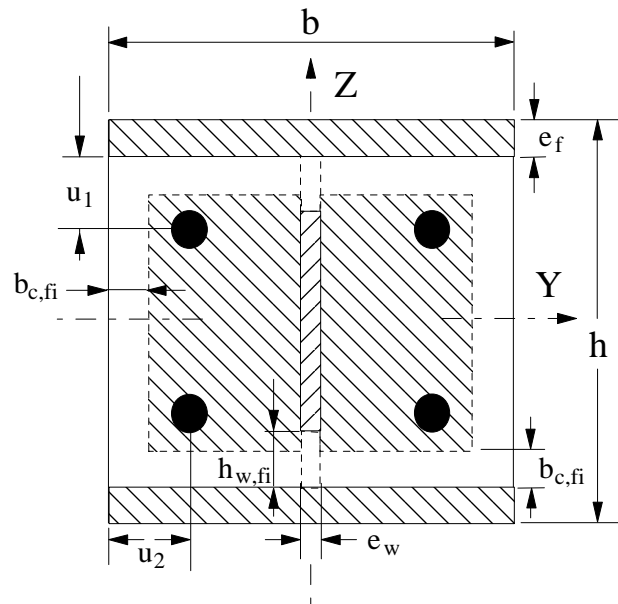


Forța axială capabilă: $N_{fi,Rd}^- = \chi(\bar{\lambda}_\theta) N_{fi,pl,Rd}$

$\chi(\bar{\lambda}_\theta) \leftarrow$ rezistența și rigiditatea dată de secțiunea efectivă + lungimea de flambaj L_{fi}

Modele simple de calcul – model semi-empiric

Stalpi cu sectiune de otel partial inglobata



Secțiunea transversală redusă

Componenta secțiunii transversale:

- tăpile secțiunii de oțel
- inima secțiunii de oțel
- betonul
- armătura

Pentru fiecare componentă:

-Rezistența redusă

și/sau

-Aria redusă

Modele simple de calcul – model semi-empiric

Stalpi cu sectiune de otel partial inglobata

Temperatura in talpile profilului de otel

$$\theta_{f,t} = \theta_{o,t} + k_t \left(A_m / V \right)$$

- t - este durata a expunerii la foc, în minute;
- A_m/V - este factorul de secțiune în m^{-1} , cu $A_m = 2 (h + b)$ în [m] și $V = h \cdot b$ în [m²];
- $\theta_{o,t}$ - este temperatura indicată în tabelul de mai jos, în °C;
- k_t - este un coeficient empiric indicat în tabelul de mai jos

Rezistența la foc standard	$\theta_{o,t}$ [°C]	k_t [m°C]
R30	550	9,65
R60	680	9,55
R90	805	6,15
R120	900	4,65

Model pentru calculul momentului capabil pentru o grinda de otel in conlucrare cu planseul de beton

