

## EXEMPLU DE CALCUL

Planșeu compus oțel-beton, alcătuit din cofraj din tablă Cofraplus 60, beton obișnuit și o plasă sudată de armătură.

Alcătuirea planșeului este prezentată în Figurile 1 și 2. Grinzile secundare sunt rezemate pe grinzile principale cu deschideri de 9 m respectiv 12 m. Grinzile marginale ale planșeului sunt proiectate ca grinzi metalice, fără conlucrare cu placa de beton. Grinzile metalice secundare sunt cu inimă plină sau ajurate (Figurile 3 și 4). Cerința de rezistență la foc este de 60 minute.

Figura 1 prezintă alcătuirea generală a planșeului curent pe întreaga lățime a clădirii și două travee pe lungime. Această alcătuire se repetă pe toate traveele adiacente. Stâlpii sunt alcătuiți din profile metalice HD 320x158.

Încărcările luate în considerare pe planșeu sunt:

- încărcare permanentă:  $G=3 \text{ kN/m}^2$
- încărcare utilă:  $Q=4 \text{ kN/m}^2$

Dimensiunile grinzilor rezultate din proiectare la temperatură normală sunt prezentate în Figura 1. Grinzile interioare sunt realizate în conlucrare cu placa de beton, gradul de conectare pentru fiecare grindă fiind prezentat în Tabelul 1.

Figura 2 prezintă secțiunea plăcii compuse. Placa este realizată din beton obișnuit C25/30. Înălțimea totală a planșeului este de 130 mm. Placa este armată cu plasă sudată tip ST 25C realizată din oțel cu limita de curgere  $500 \text{ N/mm}^2$  (S500).

Toate îmbinările dintre elementele structurale metalice sunt proiectate ca articulații în conformitate cu EN1993-1-8. În Figura 1 se prezintă împărțirea planșeului în zone de proiectare. Toate grinzile de pe perimetrul zonelor de calcul sunt protejate corespunzător la foc pentru o rezistență de 60 minute. În acest exemplu se vor trata zonele B (grinda secundară cu inima plină) și E (grinzi secundare ajurate).

**Tabel 1. Grinzi metalice**

Secțiunea grinzii (S355)	Tipul și poziția grinzii	Modul de realizare	Gradul de conectare la forfecare (%)
IPE 400	Grindă secundară interioară	Conlucrare	51
IPE 500	Grindă sec. marginală	Fără conlucrare	-
IPE 500	Grindă principală interioară	Conlucrare	72
IPE 750x137	Grindă principală interioară	Compusă	71
IPE 600	Grindă principală marginală	Fără conlucrare	-
ACB IPE 300 + IPE 300	Grindă secundară interioară	Conlucrare	52
Angelina IPE 270 + IPE 270	Grindă secundară interioară	Conlucrare	52

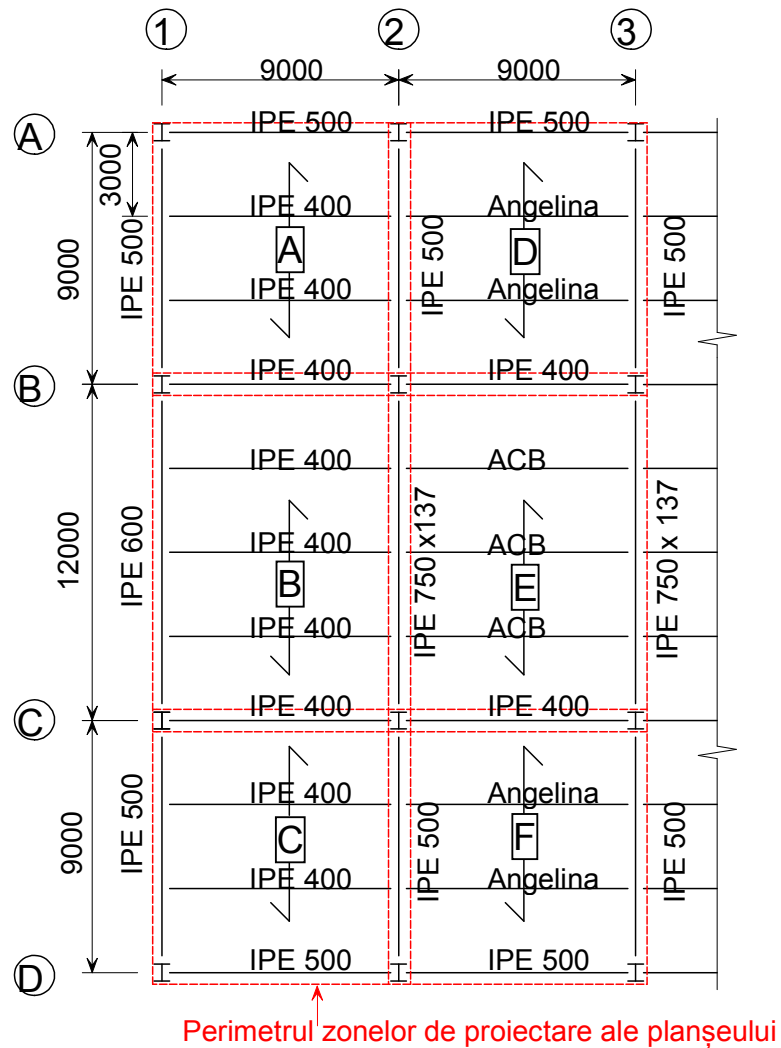


Figura 1. Alcătuirii generală a structurii metalice a planșului

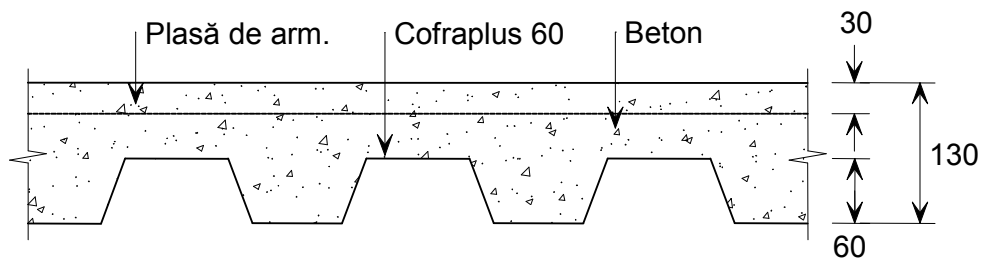


Figura 2. Alcătuirii plăcii de planșeu

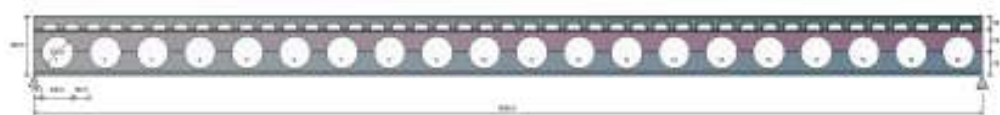


Figura 3. Alcătuirii grinzii secundare interioare ajurate tip ACB



Figura 4. Alcătuirii grinzii secundare interioare ajurate tip ANGELINA™

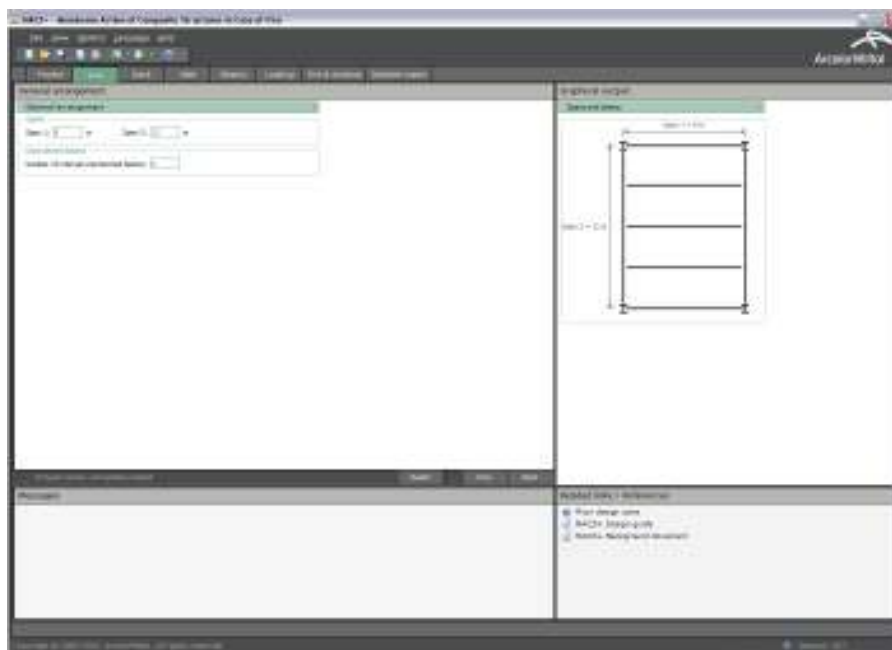
## **PROIECTAREA PLANȘEI ÎN ZONA B**

În Tabelul 2 se prezintă datele inițiale de proiectare din zona de planșeu B, de dimensiuni 9 x 12 m, armată cu plasă sudată tip ST 25C. În această zonă există 3 grinzi secundare neprotejate.

**Tabel 2. Date inițiale de proiectare din zona de planșeu B**

L (mm)	ℓ (mm)	f <sub>c</sub> (MPa)	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> /m)	f <sub>sy</sub> (MPa)	Grinzi neprotejate	Cofraj din tablă metalică	Grosimea totală a plăcii (mm)	d – dist. dintre plasa de arm. și marginea sup. a plăcii (mm)
12000	9000	25	257	500	IPE400	Cofraplus 60	130	30

În Figurile 5.1 – 5.4 se prezintă introducerea datelor anterioare în programul MACS+ ([www.macsfire.eu](http://www.macsfire.eu)).



**Figura 5.1. Date de intrare în programul MACS+ – Alcătuirea generală**

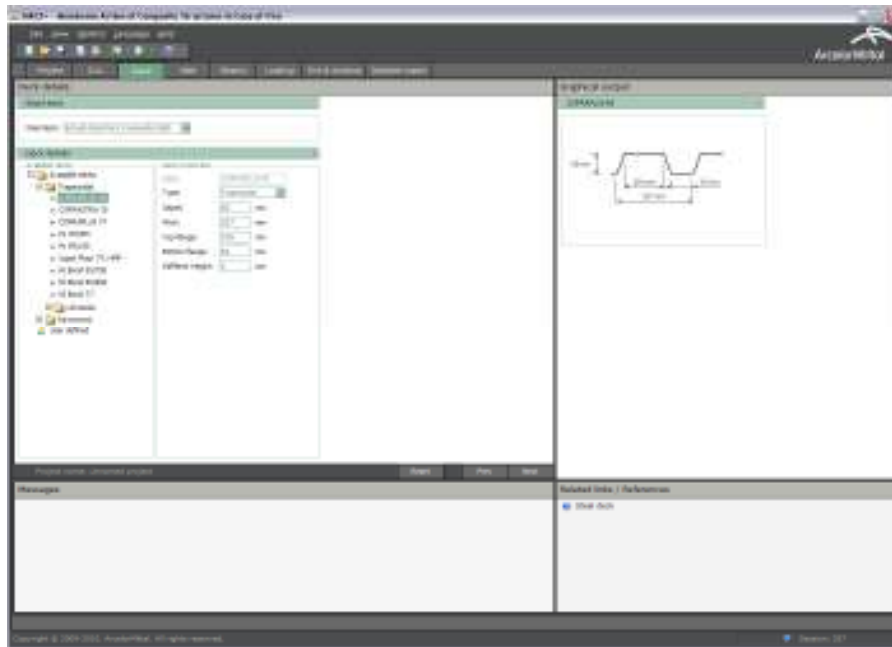


Figura 5.2. Date de intrare în programul MACS+ – Cofrajul

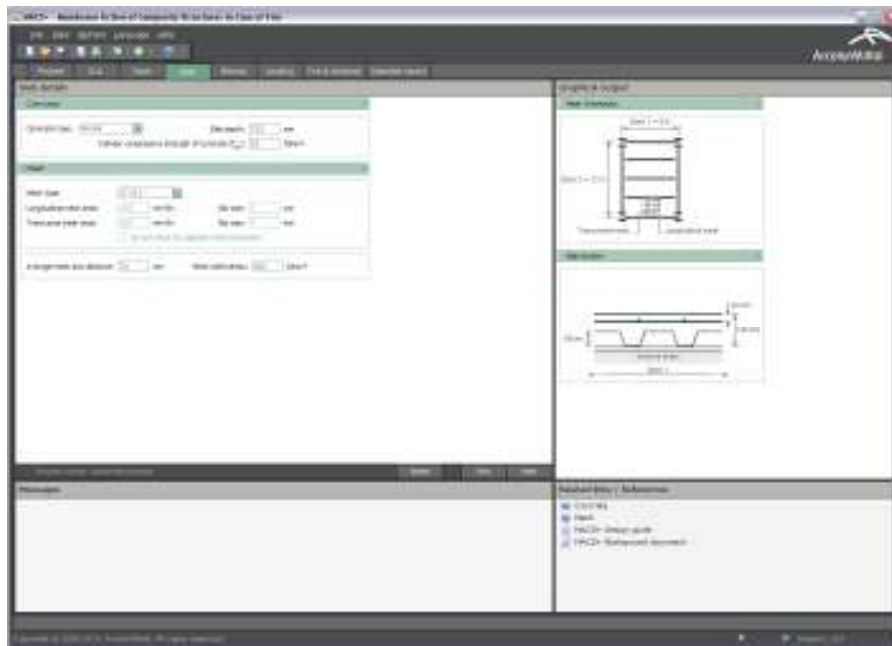


Figura 5.3. Date de intrare în programul MACS+ – Placa de beton

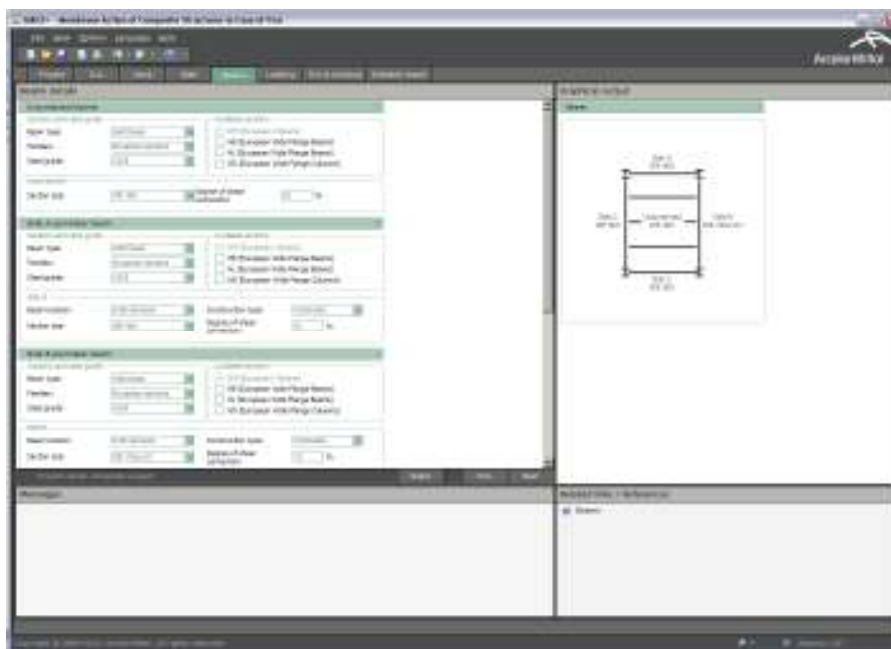


Figura 5.4. Date de intrare în programul MACS+ – Grinzile din Zona B

Aplicarea modelului de calcul simplificat se face în următoarele etape (referințele la figuri, tabele, formule de calcul, mai puțin cele cu trimitere directă la diverse parti ale Eurocodurilor, se găsesc în documentul „*Efectul de membrană în evaluarea rezistenței la foc a planșelor compuse oțel-beton, realizate din grinzi cu inimă plină sau ajurate*”):

### Etapa 1: Calculul încărcării aplicate pe placă în situația de incendiu

Încărcarea aplicată în situația de incendiu pe planșeu se determina cu relația:

$$q_{fi, sd} = G + 0,5Q = 3,00 + 0,5 \times 4,00 = 5,00 \text{ kN/m}^2$$

### Etapa 2: Calculul transferului de căldură în placa compusă Cofraplus 60

Folosind relația D.15a din Anexa D a normativului EN1994-1-2, grosimea efectivă a plăcii este:

$$h_{eff} = h_1 + 0,5 h_2 \left( \frac{\ell_1 + \ell_2}{\ell_1 + \ell_3} \right) = 72 + 0,5 \times 58 \times \left( \frac{101 + 62}{101 + 106} \right) \approx 95 \text{ mm}$$

Această grosime de placă efectivă conduce (Tabelul 6.4) la următoarele temperaturi,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  și  $\theta_s$ , pentru o durată de expunere de 60 min. la foc ISO:

$$\theta_1 = 77 \text{ }^\circ\text{C} ; \theta_2 = 837 \text{ }^\circ\text{C} ; \theta_s = 151 \text{ }^\circ\text{C}$$

Nu există nici o reducere a rezistenței efective a oțelului din plasele sudate:

$$f_{sy, \theta_s} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M,f_i,s} = 1,0 \quad \gamma_{M,f_i,c} = 1,0$$

### Etapa 3: Calculul momentului încovoietor capabil al secțiunii plăcii $M_{fi,0}$

Pentru această zonă de calcul:

$$L_1 = 9000 \text{ mm (deschiderea grinzilor secundare)}$$

$$L_2 = 12000 \text{ mm (deschiderea grinzilor principale)}$$

Deci,  $L = \max(L_1, L_2) = 12000 \text{ mm}$  și  $\ell = \min(L_1, L_2) = 9000 \text{ mm}$ .

Conform Figurii 5.14 rezultă valorile:

$$(g_0)_1 = 1 - \frac{2KA_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M,f_i,s}}{0,85 f_c / \gamma_{M,f_i,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1,0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1,0}{0,85 \times 25 / 1,0 \times 30} = 0,597$$

$$(g_0)_2 = 1 - \frac{2A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M,f_i,s}}{0,85 f_c / \gamma_{M,f_i,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1,0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1,0}{0,85 \times 25 / 1,0 \times 30} = 0,597$$

Parametrul  $K = 1,0$  deoarece plasa de armătură are aceeași secțiune pe ambele direcții.

Momentul încovoietor capabil pozitiv al secțiunii plăcii este:

$$M_{fi,0} = A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M,f_i,s} d \frac{3 + (g_0)_2}{4} = \frac{257}{1000} \times 500 / 1,0 \times 30 \times \frac{3 + 0,597}{4} = 3466,5 \text{ Nmm/mm}$$

Se pot calcula ceilalți parametri necesari pentru procedura de calcul:

$$\mu = K \frac{3 + (g_0)_1}{3 + (g_0)_2} = 1,0 \times \frac{3 + 0,597}{3 + 0,597} = 1,0$$

$$a = \frac{L}{\ell} = \frac{12000}{9000} = 1,333$$

$$n = \frac{1}{2\mu a^2} \left( \sqrt{3\mu a^2 + 1} - 1 \right) = \frac{1}{2 \times 1,0 \times 1,333^2} \times \left( \sqrt{3 \times 1,0 \times 1,333^2 + 1} - 1 \right) = 0,427$$

### Etapa 4: Calculul încărcării de referință a plăcii

$$p_{fi} = 6 \frac{M_{fi,0}}{n^2 a^2 \ell^2} = 6 \times \frac{3466,5}{0,427^2 \times 1,333^2 \times 9000^2} = 0,794 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2 = 0,794 \text{ kN/m}^2$$

### Etapa 5: Calculul săgeții în cazul luării în considerare a efectului de membrană

Săgeata plăcii în situația de incendiu luând în considerare efectul de membrană poate fi obținută din relația 6.3:

$$\begin{aligned}
w &= \min \left\{ \frac{\alpha(\theta_2 - \theta_1)\ell^2}{19,2h_{eff}} + \min \left[ \sqrt{\left( \frac{0,5f_{sy}}{E_d\gamma_{M,f,s}} \right) \frac{3L^2}{8}}, \frac{\ell}{30} \right], \frac{L+\ell}{30} \right\} \\
&= \min \left\{ \frac{1,2 \times 10^{-5} (837 - 77) \times 9000^2}{19,2 \times 95} + \min \left[ \sqrt{\left( \frac{0,5 \times 500}{210000 \times 1,0} \right) \frac{3 \times 12000^2}{8}}, \frac{9000}{30} \right], \frac{12000 + 9000}{30} \right\} \\
&= \min \{ 405 + \min [253,5 ; 300], 700 \} = 658,5 \text{ mm}
\end{aligned}$$

### **Etapa 6: Calculul coeficienților pentru determinarea efectului de membrană**

Determinarea diferiților parametri ai efectului de membrană se bazează pe calculul coeficienților  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ , A, B, C, D, k și b conform relațiilor 5.2, 5.5, 5.8a și 5.11. Valorile acestor coeficienți sunt prezentate în Tabelul 3.

### **Etapa 7: Calculul coeficienților pentru determinarea efectului de membrană**

Coeficienții  $e_{1b}$ ,  $e_{2b}$ ,  $e_{1m}$  și  $e_{2m}$  pot fi calculați conform relațiilor 5.9, 5.6, 5.10 și 5.7:

**Tabel 3. Coeficienții necesari pentru evaluarea efectului de membrană în zona B**

RELAȚIA DE CALCUL	VALOARE CALCULATĂ
$\alpha_1 = \frac{2(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0,332
$\beta_1 = \frac{1-(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0,112
$\alpha_2 = \frac{2(g_0)_2}{3+(g_0)_2}$	0,332
$\beta_2 = \frac{1-(g_0)_2}{3+(g_0)_2}$	0,112
$k = \frac{4na^2(1-2n)}{4n^2a^2+1} + 1$	1,193
$A = \frac{1}{2(1+k)} \left[ \frac{\ell^2}{8n} - \left( \frac{1-2n}{2n} + \frac{1}{3(1+k)} \right) \left( (nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	1982643 mm <sup>2</sup>
$B = \frac{k^2}{2(1+k)} \left[ \frac{nL^2}{2} - \frac{k}{3(1+k)} \left( (nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	7238602 mm <sup>2</sup>
$C = \frac{\ell^2}{16n} (k-1)$	2288203 mm <sup>2</sup>
$D = \frac{L^2}{8} (1-2n)^2$	383688 mm <sup>2</sup>
$b = \min \left[ \frac{\ell^2}{8K(A+B+C-D)}, \frac{\gamma_{M,\beta,s}}{kKA_s \gamma_{\beta,s}} \left( 0,85 \frac{f_c}{\gamma_{M,\beta,c}} \times 0,45d - A_s \frac{f_{y,\beta}}{\gamma_{M,\beta,s}} \frac{K+1}{2} \right) \right]$	0,910



**Tabel 4. Coeficienții pentru evaluarea efectului de membrană în zona B**

RELAȚIA DE CALCUL	VALOARE CALCULATĂ
$e_{1b} = 2n \left( 1 + \alpha_1 b \frac{k-1}{2} - \frac{\beta_1 b^2}{3} (k^2 - k + 1) \right) + (1-2n)(1 - \alpha_1 b - \beta_1 b^2)$	0,935
$e_{1m} = \frac{4b}{3 + (g_0)_1} \frac{w}{d} \left( (1-2n) + n \frac{2+3k-k^3}{3(1+k)^2} \right)$	5,794
$e_1 = e_{1b} + e_{1m}$	6,729
$e_{2b} = 1 + \frac{\alpha_2 b K}{2} (k-1) - \frac{\beta_2 b^2 K}{3} (k^2 - k + 1)$	0,991
$e_{2m} = \frac{4bK}{3 + (g_0)_2} \frac{w}{d} \frac{2+3k-k^3}{6(1+k)^2}$	2,987
$e_2 = e_{2b} + e_{2m}$	3,978

Coeficientul global  $e$  (factor de sporire global) este dat de:

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu a^2} = 6,729 - \frac{6,729 - 3,978}{1 + 2 \times 1,0 \times 1,333^2} = 6,125$$

#### **Etapa 8: Încărcarea capabilă totală a plăcii în situația de incendiu**

Încărcarea capabilă totală a plăcii în situația de incendiu luând în considerare efectul de membrană va fi dată de relația:

$$q_{fi,Rd,slab} = e \times p_{fi} = 6,125 \times 0,794 = 4,86 \text{ kN/m}^2$$

#### **Etapa 9: Încărcarea capabilă a plăcii luând în considerare contribuția grinzilor secundare de otel neprotejate**

Conform 4.3.4.2.2 din EN1994-1-2, este posibilă determinarea temperaturii grinzilor secundare neprotejate, în conlucrare cu placa de beton. În prima fază este necesar calcul factorilor de secțiune pentru talpile și inima profilului IPE400. Valorile calculate sunt prezentate în Tabelul 5.

**Tabel 5. Factori de secțiune pentru grinzile secundare neprotejate IPE400**

Zona secțiunii de oțel	$k_{sh} = 0.9 \left( \frac{0.5B_1 + t_{f1} + t_{f2} + \sqrt{h_w^2 + (B_1 - B_2)^2}}{H + B_1 + B_2/2 - (t_{w1} + t_{w2})/2} \right)$	$\left( \frac{A_i}{V_i} \right) (\text{m}^{-1})$	$k_{sh} \left( \frac{A_i}{V_i} \right) (\text{m}^{-1})$
Talpa inferioară	0,667	$\frac{2(B+t_f)}{Bt_f} = 159$	106
Inima		$\frac{2}{t_w} = 233$	155
Talpa superioară		$\frac{2(B+t_f)}{Bt_f} = 159$	106
Unde: $H$ : înălțimea secțiunii de oțel; $B$ : lățimea secțiunii de oțel; $t_f$ : grosimea tălpilor; $t_w$ : lățimea inimii.			

Temperaturile pe diferitele zone ale secțiunii de oțel sunt:

- Temperatura tălpilor: 938 °C;
- Temperatura inimii: 941 °C, dar se consideră 938 °C deoarece înălțimea secțiunii transversale nu depășește 500 mm;
- Temperatura conectorilor (vezi 4.3.4.2.5 din EN1994-1-2):  $938 \times 0,8 = 750$  °C.

Calculul momentului încovoietor capabil al grinzilor neprotejate se conduce în conformitate cu Anexa E din EN1994-1-2. Valorile calculate sunt date în Tabelul 6.

**Tabel 6. Moment încovoietor capabil al grinzilor secundare neprotejate din zona B**

Parametru	Valoare calculată
Lățime efectivă placă	$b_{eff} = \min(9000 / 4 ; 3000) = 2250 \text{ mm}$
Arie secțiune de oțel $A_i$	$A_i = 8450 \text{ mm}^2$
Factor de reducere al rezistenței oțelului	$k_{y,\theta} = 0,052$
Factor de reducere al rezistenței conectorilor	$k_{u,\theta} = 0,17$
Grosime placă comprimată în situația de incendiu	$h_u = \frac{\sum A_i f_y k_{y,\theta} / \gamma_{M,f,a}}{b_{eff} f_c / \gamma_{M,f,c}} = \frac{8450 \times 355 \times 0,052 / 1,0}{2 \cdot 250 \times 25 / 1,0} = 2,77 \text{ mm}$
Grad de conectare la temperatura de 20 °C	$n_{c,20^\circ C} = 0,51$
Grad de conectare al grinzii în situația de incendiu	$n_{c,\theta} = \frac{n_{c,20^\circ C} k_{u,\theta} \gamma_{M,v}}{k_{y,\theta} \gamma_{M,f,v}} = \frac{0,51 \times 0,17 \times 1,25}{0,052 \times 1,0} = 2,09 > 1,0$ Deci, conectare totală la forfecare
Moment încov. pozitiv capabil	$M_{fi,Rd} = \frac{A_i f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M,f,a}} \left( \frac{H}{2} + h_c - \frac{h_u}{2} \right) = \frac{8450 \times 355 \times 0,052}{1,0} \left( \frac{400}{2} + 130 - \frac{2,77}{2} \right) = 51,3 \text{ kNm}$
Unde: $h_c$ : grosime totală a plăcii; $\gamma_{M,f,a}$ , $\gamma_{M,f,v}$ și $\gamma_{M,v}$ coeficienți parțiali de siguranță pentru profilul și conectorii de oțel la temperatură normală și în situația de incendiu.	

Încărcarea capabilă a plăcii luând în considerare contribuția grinzilor se obține din următoarea relație, în care  $n_{ub}$  este numărul total de grinzi secundare neprotejate din zona de calcul:

$$q_{fi,Rd,ub} = \frac{8M_{fi,Rd}}{L_1^2} \frac{1+n_{ub}}{L_2} = \frac{8 \times 51,3}{9^2} \times \frac{(1+3)}{12} = 1,69 \text{ kN/m}^2$$

### Etapa 10: Încărcarea capabilă totală a plăcii în situația de incendiu și verificarea rezistenței la foc a plăcii

Încărcarea capabilă totală a plăcii este:

$$q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 4,86 + 1,69 = 6,55 \text{ kN/m}^2$$

Aportul grinzilor secundare cu inima plină IPE400 la încărcarea capabilă a zonei B a planșeului compus în situația de incendiu, pentru 60 min. foc ISO, este de 25.8%.

În comparație cu încărcarea aplicată pe placă în situația de incendiu:

$$q_{fi,Sd} = 5,00 \text{ kN/m}^2 < q_{fi,Rd} = 6,55 \text{ kN/m}^2$$

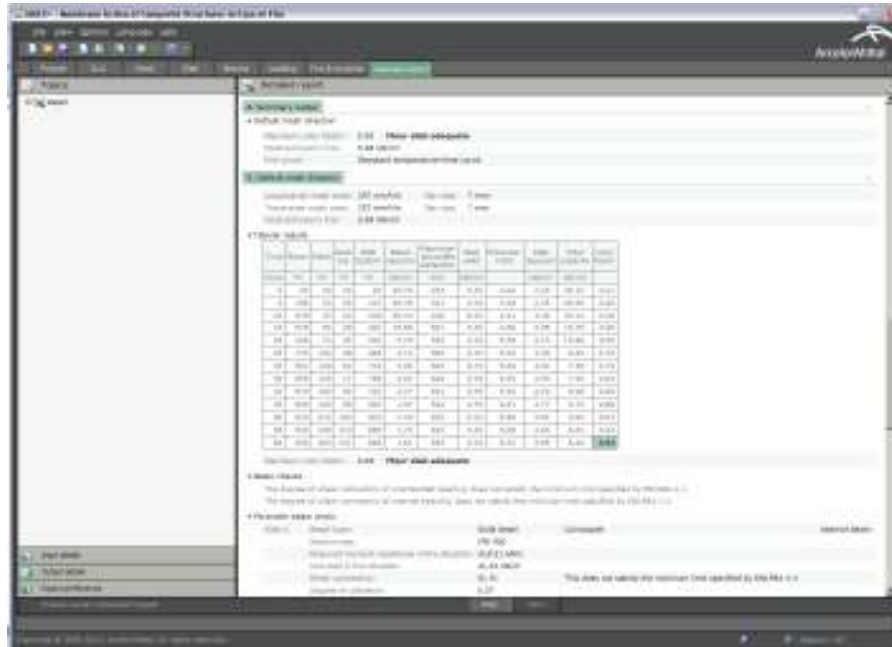


Figura 6. Rezultate ale programului MACS+ software

## Concluzie

Cerința R60 pentru Zona B a planșului compus este asigurată.

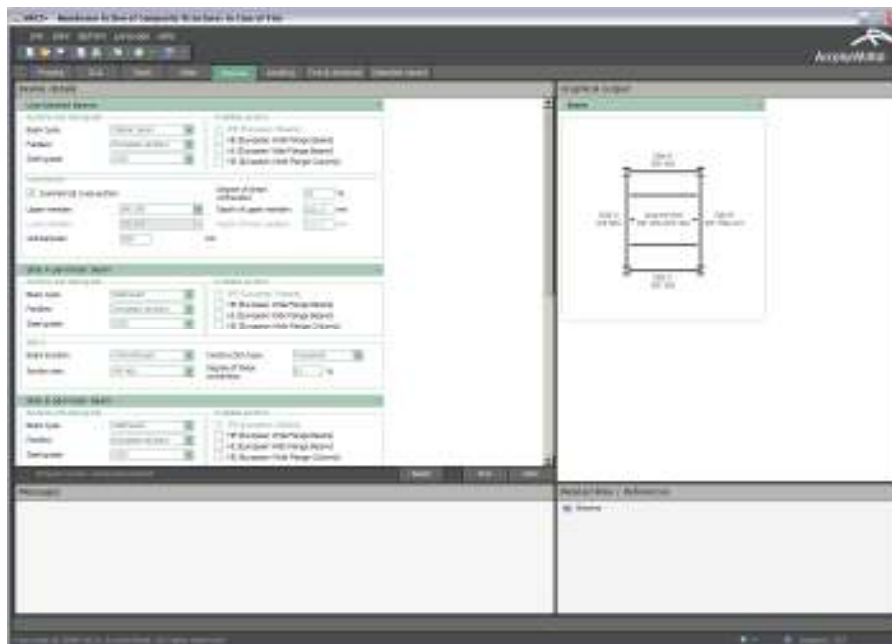
Pentru zonele A și B, care conțin grinzi secundare interioare cu inimă plină IPE400 neprotejate, verificarea rezistenței la foc se realizează în mod similar, ținând cont de dimensiunile zonelor de proiectare ( $L = l = 9000 \text{ mm}$ ), diferite față de dimensiunile zonei B.

## **PROIECTAREA PLANȘEI ÎN ZONA E**

În Zona E, dimensiunile planșeului compus și deschiderile grinzilor sunt aceleași din Zona B. Diferența față de Zona B este că grinzile metalice cu inimă plină au fost înlocuite cu grinzii metalice ajurate tip ACB IPE 300+IPE 300 (secțiunea transversală din Figura 7).



**Figura 7. Secțiunea transversală a grinzii ajurate tip ACB din Zona E**



**Figura 8. Date de intrare în programul MACS+ – Grinzile din Zona E**

**Etapele 1 - 8: Calcul și valori identice cu Zona B**

**Etapa 9: Încărcarea capabilă a plăcii luând în considerare contribuția grinzilor secundare de oțel neprotejate**

Valorile factorilor de secțiune pentru talpile și porțiunile pline de inimă ale grinzii ajurate sunt prezentate în Tabelul 7.

**Tabel 7. Factorul de secțiune al grinzii compuse oțel-beton neprotejate**

Zona secțiunii de oțel	$k_{sh} = 0,9 \left( \frac{0,5B_1 + t_{f1} + t_{f2} + \sqrt{h_w^2 + (B_1 - B_2)^2}}{H + B_1 + B_2/2 - (t_{w1} + t_{w2})/2} \right)$	$\left( \frac{A_i}{V_i} \right) \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$k_{sh} \left( \frac{A_i}{V_i} \right) \text{ (m}^{-1}\text{)}$
Talpa inferioară	0,699	$\frac{2(B_1 + t_{f1})}{B_1 t_{f1}} = 200$	140
Inimă inferioară		$\frac{2h_{w1} + t_{w1}}{h_{w1} t_{w1}} = 302$	211
Inimă superioară		$\frac{2h_{w2} + t_{w2}}{h_{w2} t_{w2}} = 302$	211
Talpa superioară		$\frac{2(B_2 + t_{f2})}{B_2 t_{f2}} = 200$	140
Unde: $H$ : înălțimea secțiunii de oțel; $h_w$ : înălțimea totală a inimii; $B_1$ : lățimea tălpii inferioare; $t_{f1}$ : grosimea tălpii inferioare; $t_{w1}$ : grosimea inimii inferioare; $h_{w1}$ : înălțimea inimii inferioare; $B_2$ : lățimea tălpii superioare; $t_{f2}$ : grosimea tălpii superioare; $t_{w2}$ : grosimea inimii superioare; $h_{w2}$ : înălțimea inimii superioare.			

Temperaturile pe diferite zone ale secțiunii de oțel sunt:

- Temperatura tălpilor: 940 °C;
- Temperatura inimii inferioare: 942 °C, dar se consideră 940 °C deoarece înălțimea secțiunii transversale nu depășește 500 mm;
- Temperatura inimii superioare: 942 °C, dar se consideră 940 °C deoarece înălțimea secțiunii transversale nu depășește 500 mm;
- Temperatura conectorilor (vezi 4.3.4.2.5 din EN1994-1-2):  $940 \times 0,8 = 752$  °C.

În consecință, contribuția zonei inferioare a secțiunii (T inferior) se neglijează, deoarece temperatura zonei depășește 600°C. Calculul momentului încovoietor capabil al grinzilor secundare neprotejate se conduce în Tabelul 8.

**Tabel 8. Momentul încovoietor capabil al grinzilor secundare din zona E**

Parametru	Valoare calculată
Lățime efectivă a placă	$b_{eff} = \min\{9000/4; 3000\} = 2250 \text{ mm}$
Arie tălpă superioară $A_{f2}$	$A_{f2} = 1605 \text{ mm}^2$
Arie inimă superioară $A_{w2}$	$A_{w2} = 352 \text{ mm}^2$
Factor de reducere al rezistenței oțelului	$k_{y,\theta} = 0,052$
Factor de reducere al rezistenței conectorilor	$k_{u,\theta} = 0,17$
Forță de întindere $T^+ = \sum A_i f_y k_{y,\theta} / \gamma_{M,fi,a}$	$T^+ = (1605 + 352) \times 355 \times 0,052 / 1,0$ $= 36,13 \text{ kN}$
Grosime placă comprimată în situația de incendiu $h_u = \frac{T^+}{b_{eff} f_c / \gamma_{M,fi,c}}$	$h_u = \frac{36,08}{2250 \times 25 / 1,0} = 0,641 \text{ mm}$
Grad de conectare la temperatura de 20 °C	$n_{c,20^\circ C} = 0,52$
Grad de conectare al grinzii în situația de incendiu $n_{c,\theta} = \frac{n_{c,20^\circ C} k_{u,\theta} \gamma_{M,v}}{k_{y,\theta} \gamma_{M,fi,v}}$	$n_{c,\theta} = \frac{0,52 \times 0,17 \times 1,25}{0,052 \times 1,0} = 2,13 > 1,0$ Deci, conectare totală la forfecare
Poziția forței de întindere $y_T = \frac{\sum A_i y_i f_y k_{y,\theta}}{T^+ \gamma_{M,fi,a}}$	$y_T = \frac{(352 \times 385,1 + 1605 \times 415,25) \times 355 \times 0,052}{36130 \times 1,0}$ $= 409,78 \text{ mm}$
Poziția forței de compresiune $y_F = H + h_c - h_u / 2$	$y_F = 420,6 + 130 - 0,641 / 2 = 550,28 \text{ mm}$
Moment încovoietor pozitiv capabil $M_{fi,Rd} = T^+ (y_F - y_T)$	$M_{fi,Rd} = 36,13 \times (550,28 - 409,78)$ $= 5,08 \text{ kNm}$
Unde: $h_c$ : grosime totală a plăcii; $\gamma_{M,fi,a}$ , $\gamma_{M,fi,v}$ și $\gamma_{M,v}$ coeficienți parțiali de siguranță pentru profilul și conectorii de oțel la temperatură normală și în situația de incendiu.	

Încărcarea capabilă a plăcii luând în considerare contribuția grinzilor secundare neprotejate se obține din următoarea relație:

$$q_{fi,Rd,ub} = \frac{8M_{fi,Rd}}{L_1^2} \frac{1+n_{ub}}{L_2} = \frac{8 \times 5,08}{9^2} \times \frac{(1+3)}{12} = 0,17 \text{ kN/m}^2$$

**Etape 10: Încărcarea capabilă totală a plăcii în situația de incendiu și verificarea rezistenței la foc a plăcii**

Încărcarea capabilă totală a plăcii este:

$$q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 4,86 + 0,17 = 5,03 \text{ kN/m}^2$$

Aportul grinzilor secundare ajurate la încărcarea capabila a zonei E a planșeului compus, în situația de incendiu pentru 60 min. foc ISO, este de 3.4%, mai mic decât sporul de rezistență de 25.8% adus de grinzile cu inima plină din zona B. Aceasta era de așteptat, având în vedere că grinzile ajurate lucrează în situația de incendiu doar cu o porțiune a secțiunii transversale (T-superior).

În comparație cu încărcarea aplicată pe placă în situația de incendiu:

$$q_{fi, Sd} = 5,00 \text{ kN/m}^2 < q_{fi, Rd} = 5,03 \text{ kN/m}^2$$

## **Concluzie**

Cerința R60 pentru Zona E a planșeului compus este asigurată.

Pentru zonele D și F, care conțin grinzi secundare ajurate tip ANGELINA™ (sistem proprietar ArcelorMittal), verificarea rezistenței la foc se realizează în mod similar, ținând cont în calculul contribuției grinzilor la încărcarea capabilă de porțiunea superioară a profilului (T-superior), așa cum s-a făcut în cazul zonei E (etapa 9 de calcul). Evident, în etapele 1-8 de calcul, se va ține cont de dimensiunile zonei de proiectare ( $L = l = 9000 \text{ mm}$ ), diferite față de dimensiunile zonelor B și E.