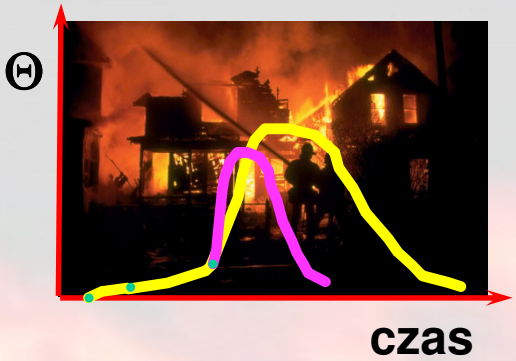
DIFISEK

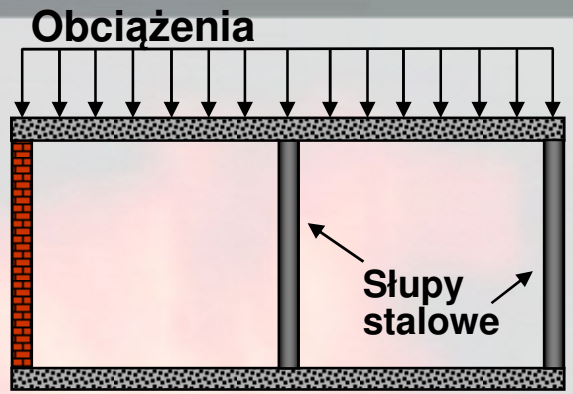
Część 5a
Przykłady

Odporność ogniowa – Łańcuch zdarzeń

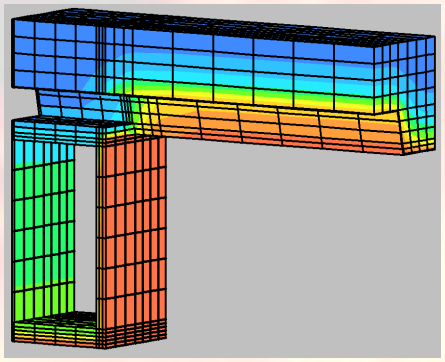
1: Zapalenie



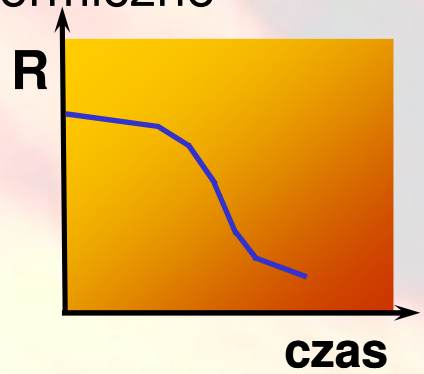
2: Oddziaływanie termiczne



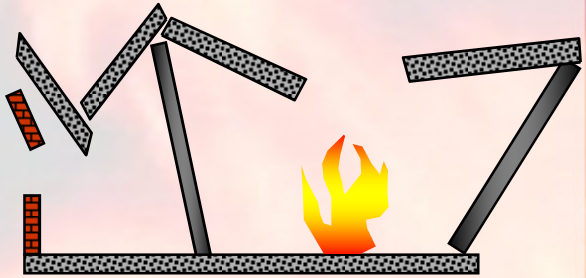
3: Oddziaływanie mechaniczne



4: Termiczna odpowiedź



5: Mechaniczna odpowiedź



6: Możliwe zawalenie

Dostępne normy

Projektowanie w temperaturze otoczenia

- EN 1990 Projektowanie konstrukcji
- EN 1993-1-1 Projektowanie konstrukcji stalowych
- EN 1994-1-1 Projektowanie konstrukcji zespolonych

Projektowanie w warunkach pożaru

- EN 1990 Projektowanie konstrukcji
- EN 1991-1-2 Oddziaływanie termiczne
- EN 1993-1-2 Projektowanie konstrukcji stalowych w warunkach pożaru
- EN 1994-1-2 Projektowanie konstrukcji zespolonych w warunkach pożaru

Przykłady – przegląd

		Liczba przykładów
➢ EN 1991:	Oddziaływanie na konstrukcje	2
Part 1-2:	Oddziaływania ogólne – Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru	
➢ EN 1993:	Projektowanie konstrukcji stalowych	3
Part 1-2:	Zasady ogólne – Projektowanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe	
➢ EN 1994:	Projektowanie konstrukcji zespolonych stalowo-betonowych Część1-2: Zasady ogólne – Projektowanie na warunki pożarowe	4

Przykłady – przegląd

- Oddziaływania
  - **Pożar strefowy**
  - Pożar lokalny
- Konstrukcje stalowe
  - Słup stalowy
  - Belka stalowa(N + M)
  - Belka stalowa (przekrój skrzynkowy)
- Konstrukcje zespolone
  - Płyta zespolona
  - Belka zespolona (belka stalowa)
  - Belka zespolona (belka częściowo obetonowana)
  - Słup zespolony

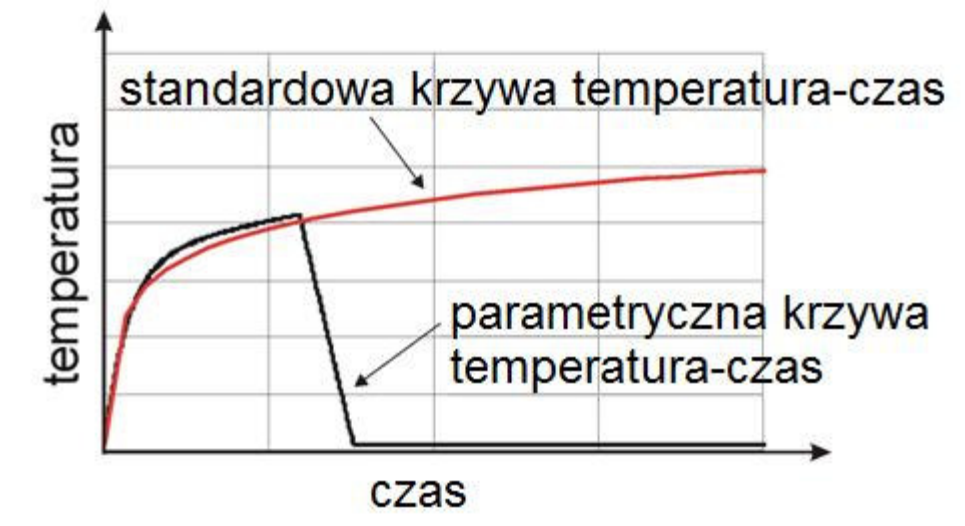
Pożar strefowy
zadanie

Określenie temperatury gazu dla całkowicie rozwiniętego pożaru

⇒ Model pożaru naturalnego dla pożaru strefowego

⇒ Parametryczna krzywa temperatura-czas

$\theta_g = f\ (q_{f,d}, O, b)$



PN-EN 1991-1-2: Załącznik A

Pożar strefowy
parametry

budynek:	pomieszczenie testowe Cardington
typ:	biuro
obc. ogniowe:	$q_{f,d}$ = 483 MJ/m²
pole pow.:	A_f = 135 m²
wysokość:	H = 4.0 m
średnia wysokość okna:	h_{eq} = 1.8 m
pow. otworów pionowych:	A_v = 27 m²
wskaźnik otworów pionowych:	O = 0.076 m
Materiał ścian ograniczających:	beton lekki b = 1263.3 J/(m²s$^{1/2}$K)

Pożar strefowy
wentylacyjnie lub paliwowo kontrolowany?

$$0.2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O = 0.363 \text{ h}$$

$0.363 \text{ h} < t_{lim} = 0.333 \text{ h}$ kontrolowany paliwowo

$0.363 \text{ h} > t_{lim} = 0.333 \text{ h}$ kontrolowany wentylacyjnie

gdzie

$$q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t$$

Pożar strefowy
krzywa ogrzania

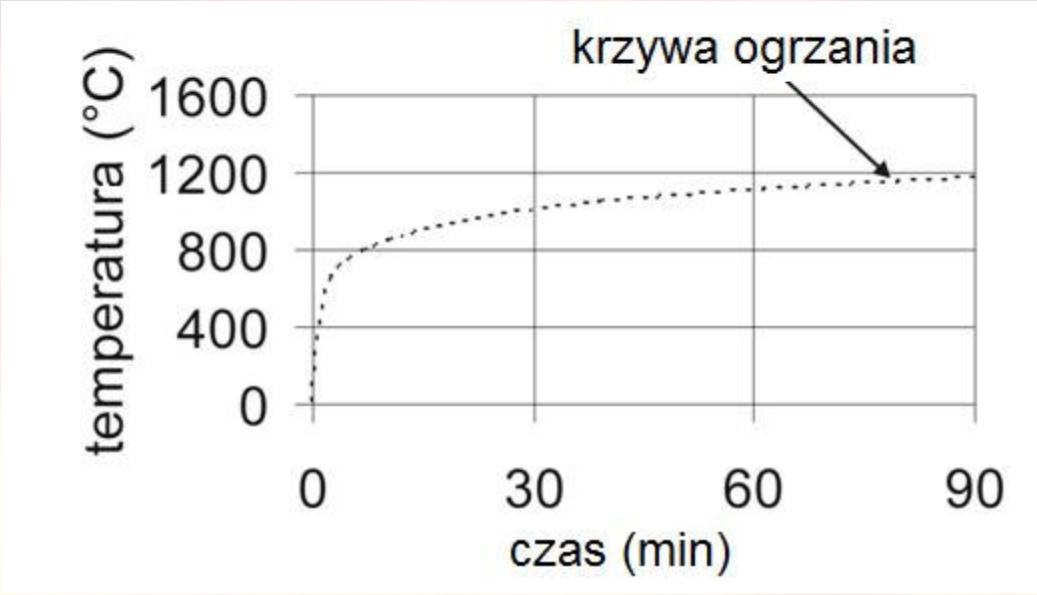
Wyznaczenie krzywej ogrzania:

$$\theta_g = 20 + 1325 \cdot \left(1 - 0.324 \cdot e^{-0.2 \cdot t^*} - 0.204 \cdot e^{-1.7 \cdot t^*} - 0.472 \cdot e^{-19 \cdot t^*}\right)$$

gdzie:

$$t^* = t \cdot \Gamma$$

$$\Gamma = \frac{(O/b)^2}{(0.04/1160)^2}$$

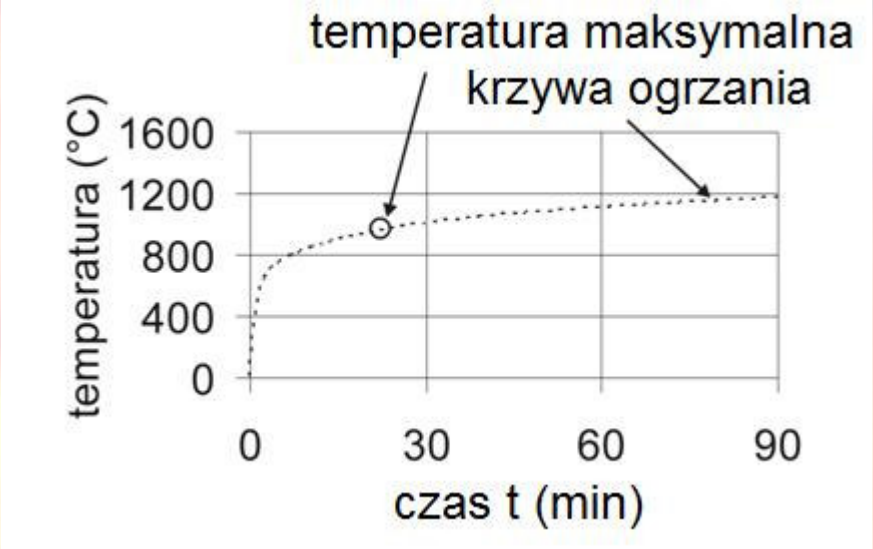


Pożar strefowy
temperatura maksymalna

Równa wyznaczonej krzywej ogrzania, za wyjątkiem:

$$t = t_{max} = \max \begin{cases} 0.2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O \\ t_{lim} \end{cases}$$

Wyznaczenie krzywej chłodzenia wymaga określenia temperatury maksymalnej.



Pożar strefowy
krzywa chłodzenia

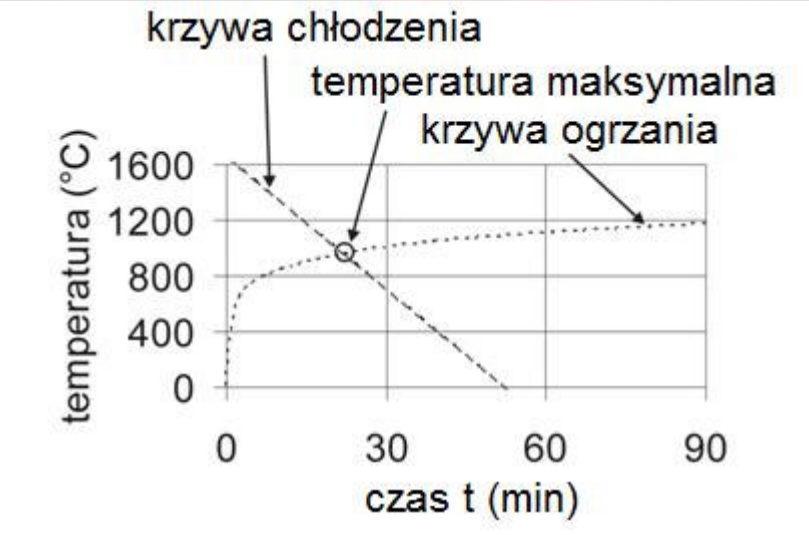
Wyznaczenie krzywej chłodzenia:

$$\theta_g = \theta_{max} - 625 \cdot (t^* - t^*_{max} \cdot x)$$

gdzie

$$t^*_{max} = \left(0.2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O\right) \cdot \Gamma$$

$$t^* = t \cdot \Gamma$$

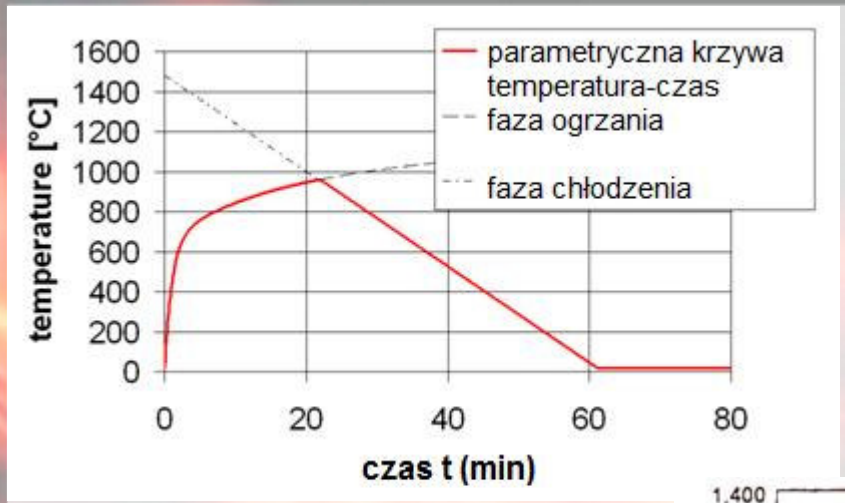


Jeżeli pożar jest kontrolowany wentylacyjnie: $x = 1.0$

Jeżeli pożar jest kontrolowany paliwowo: $x = t_{lim} \cdot \Gamma / t^*_{max}$

Pożar strefowy

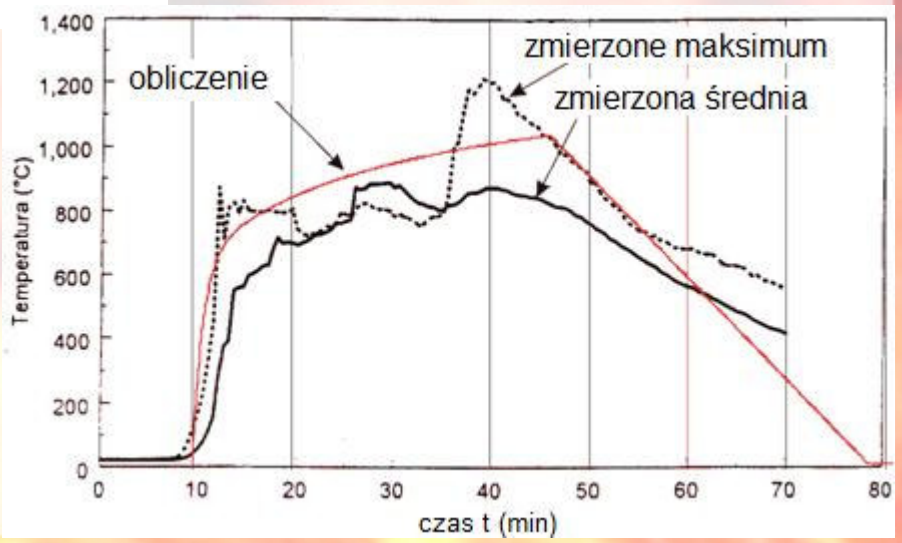
ostateczna krzywa, porównanie



← Parametryczna krzywa temperatura-czas

Porównanie obliczenia – pomiary →

Współczynniki $q_{fi,d}$: $\delta_{q1} = 1.0$
$\delta_{q2} = 1.0$
$\delta_n = 1.0$



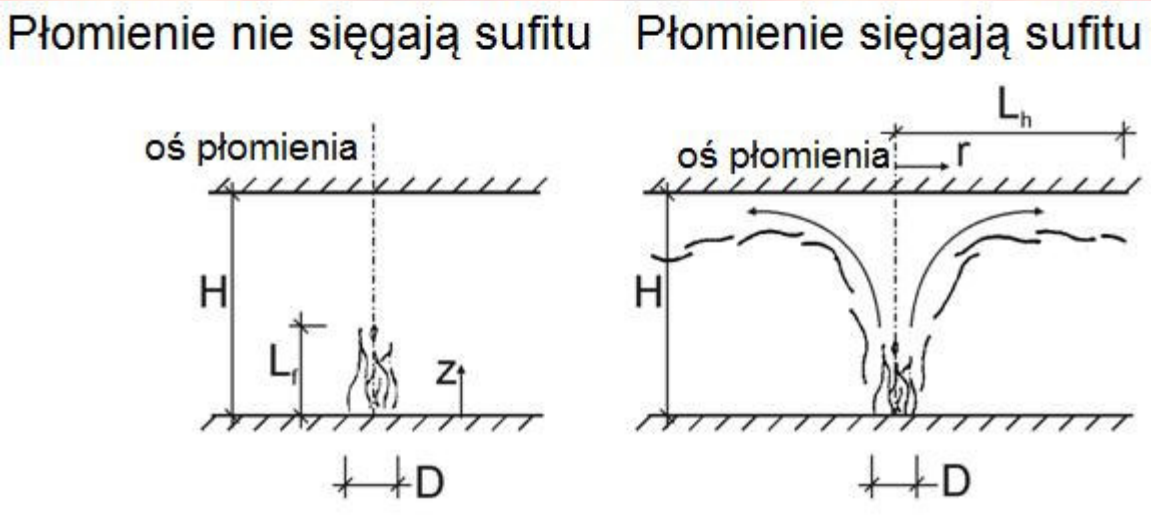
Przykłady - przegląd

- Oddziaływania
  - Pożar strefowy
  - **Pożar lokalny**
- Konstrukcje stalowe
  - Słup talowy
  - Belka stalowa (N + M)
  - Belka stalowa (przekrój skrzynkowy)
- Konstrukcje zespolone
  - Płyta zespolona
  - Belka zespolona (belka stalowa)
  - Belka zespolona (belka częściowo obetonowana)
  - Słup zespolony

Pożar lokalny
zadanie

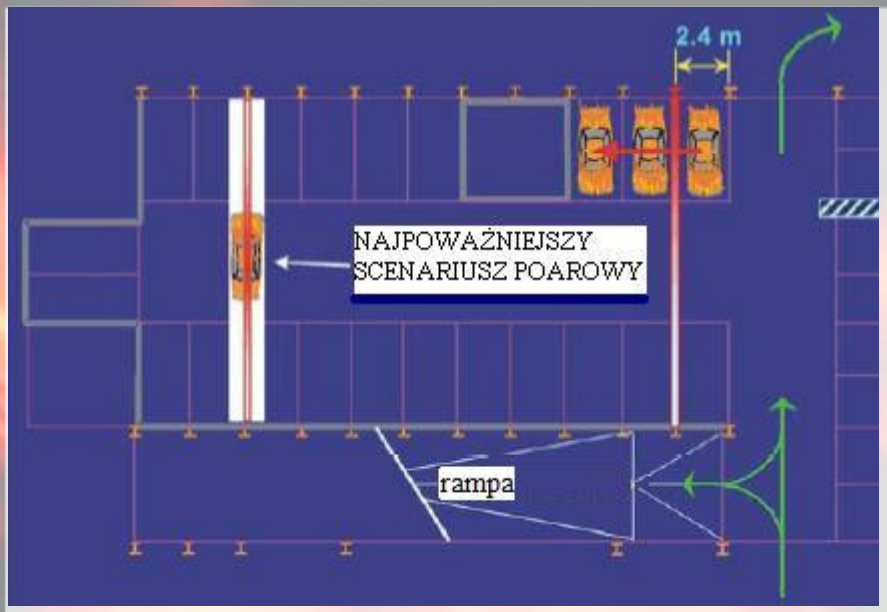
Wyznaczenie temperatury stalowej belki wystawionej na działanie pożaru palącego się samochodu.

⇒ Model pożaru naturalnego dla pożaru lokalnego



PN-EN 1991-1-2: Załącznik C

Pożar lokalny
parametry



budynek: Parking Auchan, Luksemburg

typ: podziemny parking

wysokość: H = 2.7 m

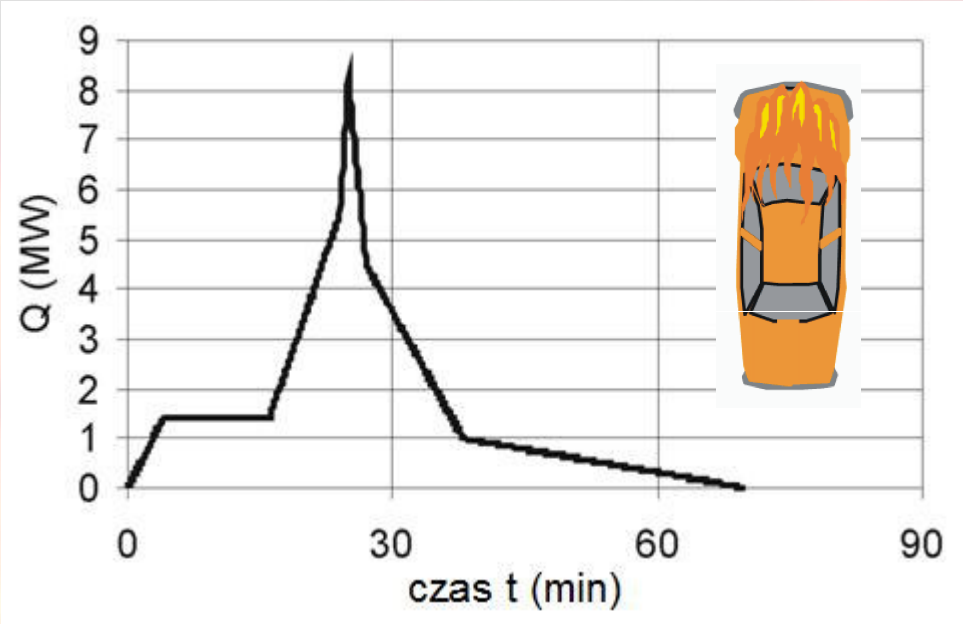
odległość pozioma pomiędzy osią ognia a belką: r = 0.0 m

średnica pożaru: D = 2.0 m

belka stalowa: IPE 550

Pożar lokalny
szybkość wydzielania ciepła

Krzywa szybkości wydzielania ciepła przez pożar pojedynczego samochodu



Dane z projektu ECSC:

„*Wyznaczenie zasad projektowania konstrukcji stalowych w sytuacji pożarów naturalnych na zamkniętych parkingach*”.

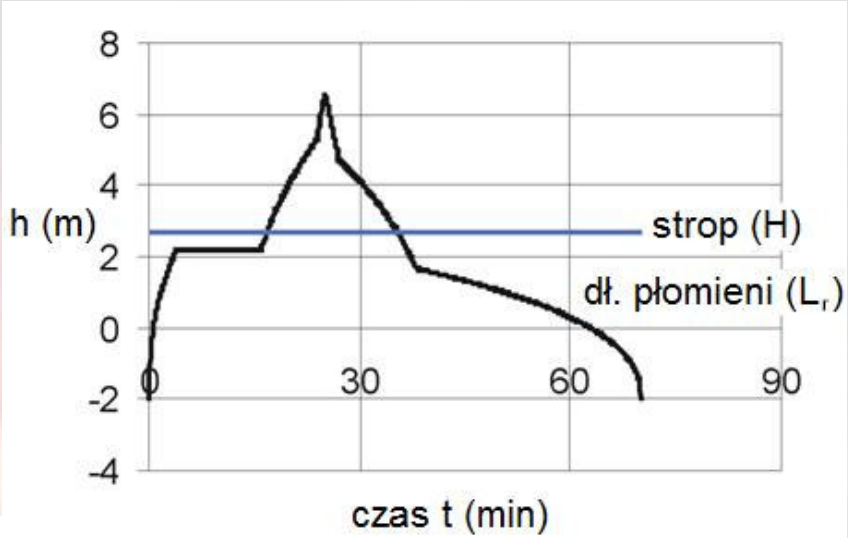
Pożar lokalny
długość płomieni

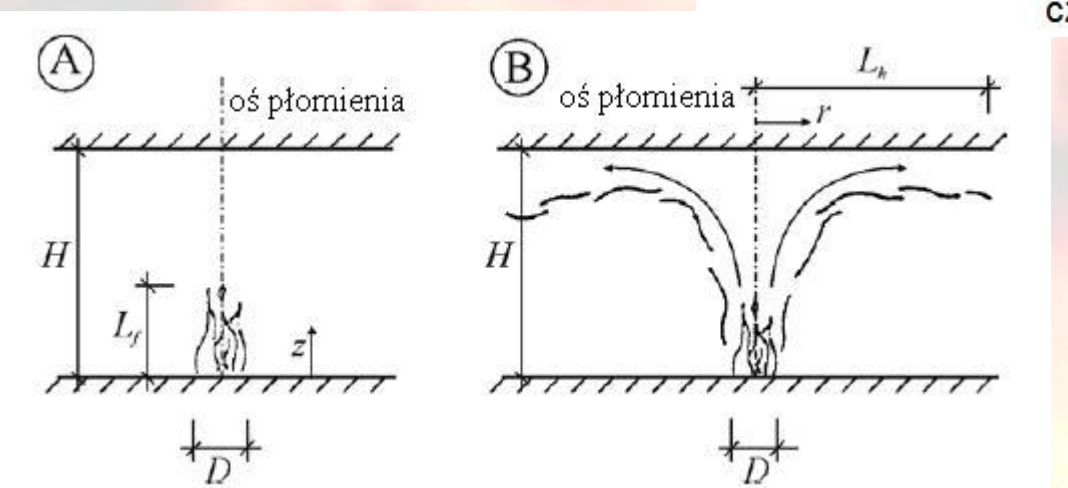
jeżeli $L_r \geq H \Rightarrow$

należy zastosować model A

jeżeli $L_r < H \Rightarrow$

należy zastosować model B





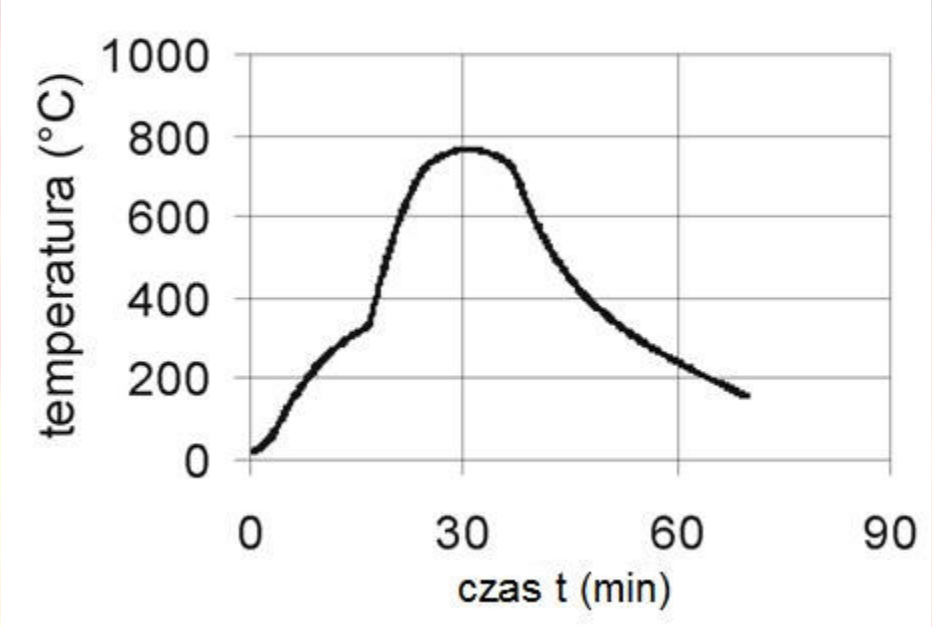
Pożar lokalny
temperatura stali

Krzywa temperatura-czas dla nieosłoniętej belki stalowej:

$$\theta_{a,r} = \theta_m + k_{sh} \cdot \frac{A_p / V}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \dot{h}_{net} \cdot \Delta t$$

$$\theta_{a,max} = 770\ °C$$

$$t_{\theta,max} = 31.07\ \text{min}$$



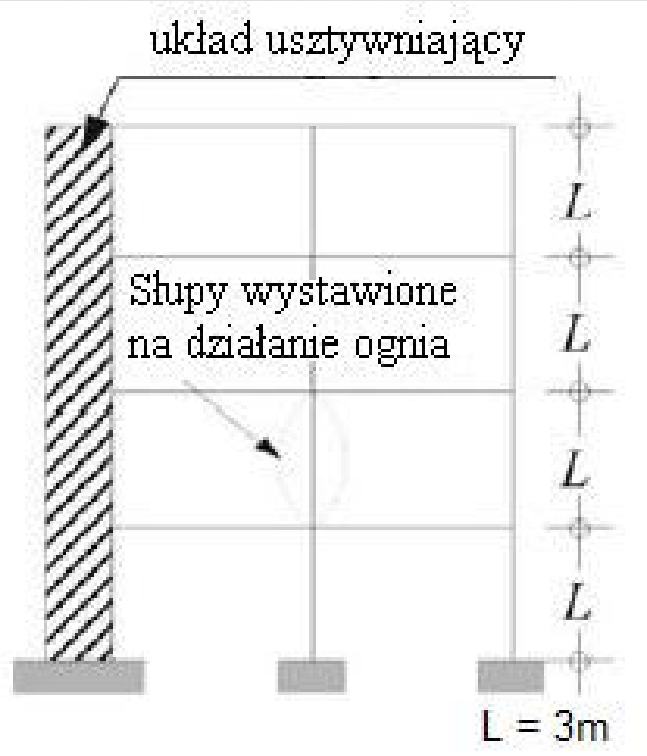
Przykłady - przegląd

- Oddziaływania
  - Pożar strefowy
  - Pożar lokalny
- Konstrukcje stalowe
  - **Słup stalowy**
  - Belka stalowa(N + M)
  - Belka stalowa (przekrój skrzynkowy)
- Konstrukcje zespolone
  - Płyta zespolona
  - Belka zespolona (belka stalowa)
  - Belka zespolona (belka częściowo obetonowana)
  - Słup zespolony

Słup stalowy
Zadanie

Określenie obliczeniowej nośności na ściskanie słupa stalowego.

$\Rightarrow$ Prosty model obliczeniowy dla elementów ściskanych

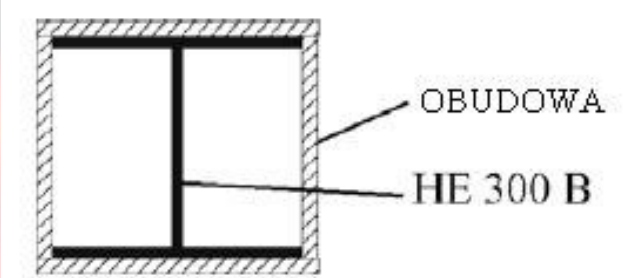


PN-EN 1993-1-2: Podpunkt 4.2.3.2

Słup stalowy
parametry

budynek: Dom towarowy

klasa odporności ogniowej: R 90



obciążenia: G_k = 1200 kN
P_k = 600 kN

kształtownik: element walcowany HE 300 B

Zabezpieczenie ppoż.: skrzynkowa obudowa z gipsowych płyt (d_p = 3 cm)

Steel grade: S 235

Słup stalowy
oddziaływania mechaniczne w sytuacji pożaru

Sytuacja wyjątkowa:

$$E_{dA} = E \cdot \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

Współczynnik kombinacji obciążeń dla powierzchni sklepowych: $\Rightarrow \psi_{2,1} = 0.6$

$$\Rightarrow \quad N_{fi,d} = 1560 \text{ kN}$$

Słup stalowy

temperatura maksymalna w stali

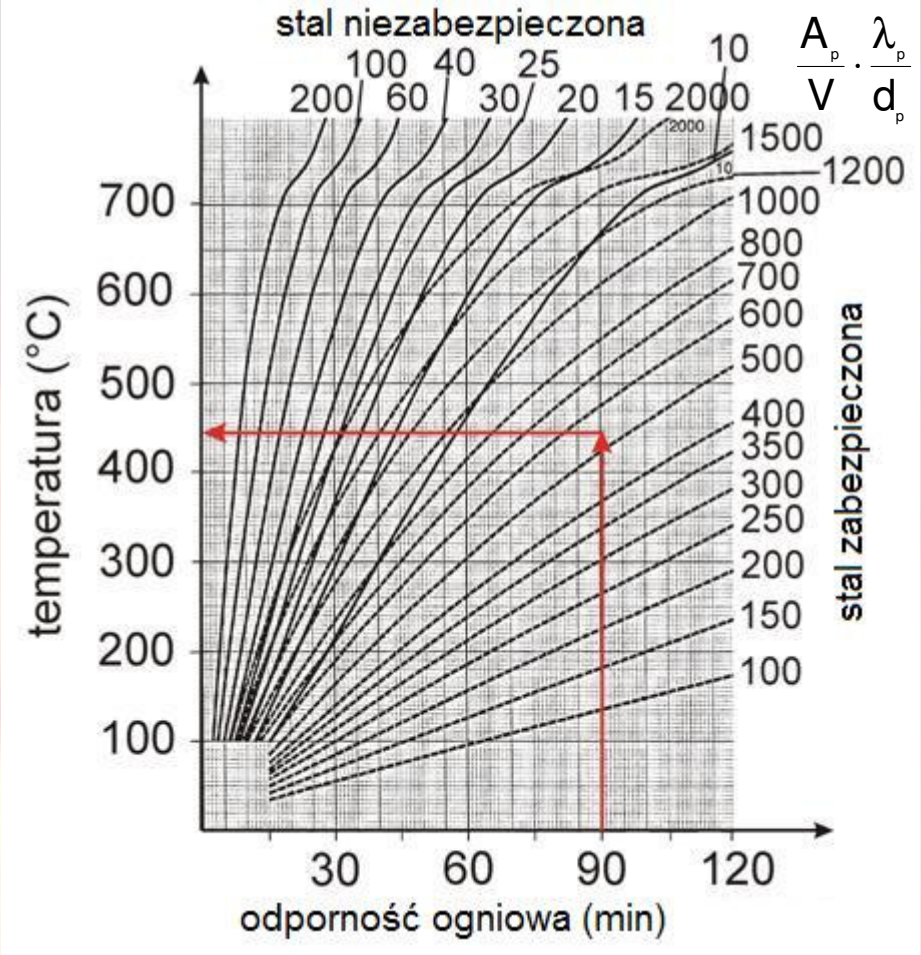
$$\frac{2\cdot(b+h)}{A_a}\cdot\frac{\lambda_p}{d_p}=540\,\frac{W}{m^3\cdot K}$$

Euro-Nomogram:

$$\Rightarrow\ \theta_{a,max,90}\approx 445\ ^\circ C$$

Współczynniki redukcyjne:

$$\Rightarrow k_{y,\theta}=0.901$$
$$\Rightarrow k_{E,\theta}=0.655$$

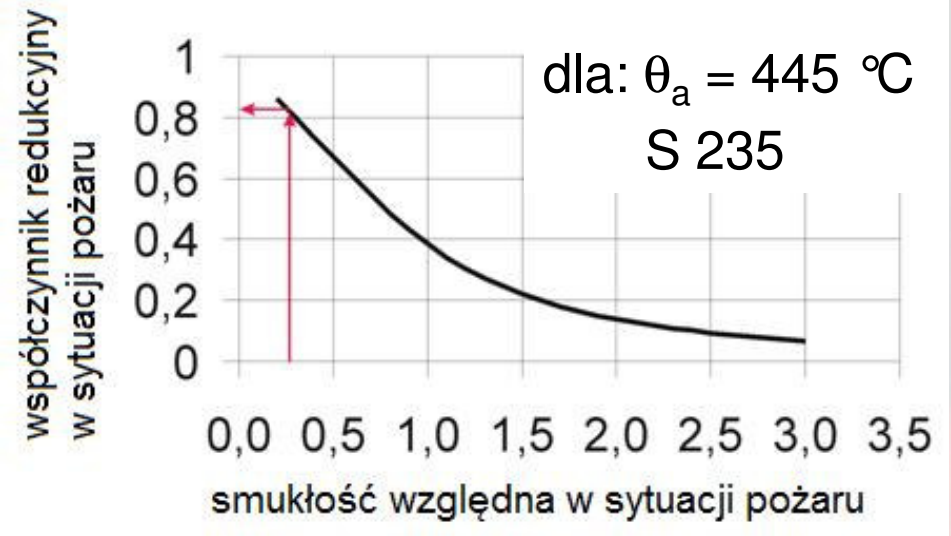


Słup stalowy
współczynnik redukcyjny, sprawdzenie

- Współczynnik redukcyjny χ_{fi}:

$$\bar{\lambda}_{fi,\theta} = \bar{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = 0.25$$

$$\Rightarrow \quad \chi_{fi} = 0.86$$



- Wyboczenie giętne:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta,max} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

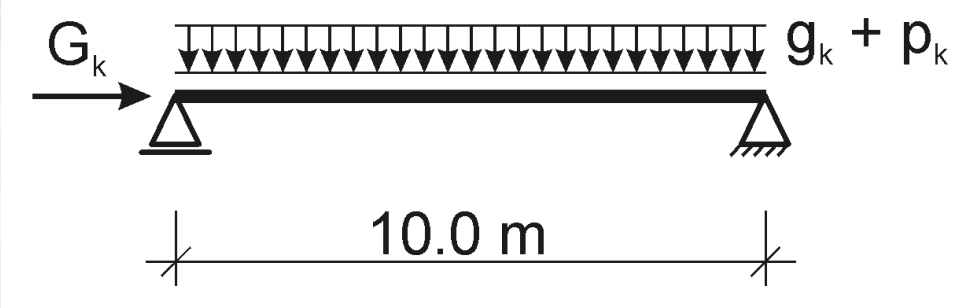
$$N_{fi,d} / N_{b,fi,t,Rd} = 0.58 < 1$$

Przykłady - przegląd

- Oddziaływania
  - Pożar strefowy
  - Pożar lokalny
- Konstrukcje stalowe
  - Słup stalowy
  - **Belka stalowa(N + M)**
  - Belka stalowa (przekrój skrzynkowy)
- Konstrukcje zespolone
  - Płyta zespolona
  - Belka zespolona (belka stalowa)
  - Belka zespolona (belka częściowo obetonowana)
  - Słup zespolony

Belka stalowa (N + M)
zadanie

Sprawdzenie belki stalowej zginanej i ściskanej.

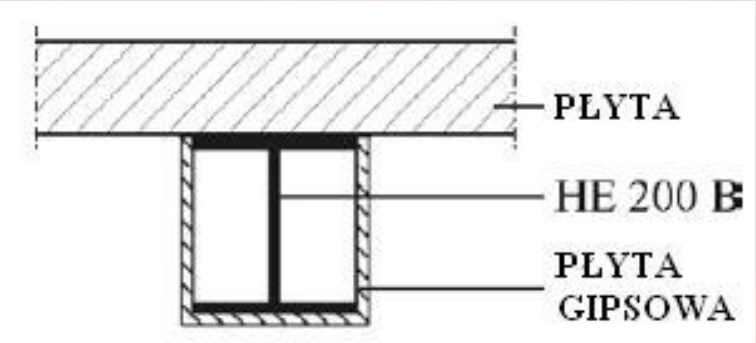


⇒ Prosty model obliczeniowy dla elementów zginanych i ściskanych

PN-EN 1993-1-2: Podpunkt 4.2.3.5

Belka stalowa (N + M)
parametry

budynek: budynek biurowy
klasa odporności ogniowej: R 90



obciążenia: G_k = 96.3 kN
g_k = 1.5 kN/m
p_k = 1.5 kN/m

kształtownik: element walcowany HE 200 B
izolacja: obudowa skrzynkowa z płyt gipsowych (d_p = 2 cm)
gatunek stali: S 235

Stalowa belka (N + M)

oddziaływanie mechaniczne w sytuacji pożaru

Sytuacja wyjątkowa:

$$E_{dA} = E \cdot \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

Współczynnik kombinacji obciążeń dla powierzchni biurowych: $\Rightarrow \psi_{2,1} = 0.3$

$$\Rightarrow \quad N_{fi,d} = 96.3\,\text{kN}$$

$$M_{fi,d} = 24.38\,\text{kNm}$$

Belka stalowa (N + M)

temperatura maksymalna w stali

$$\frac{2 \cdot h + b}{A_a} \cdot \frac{\lambda_p}{d_p} = 770 \frac{W}{m^3 \cdot K}$$

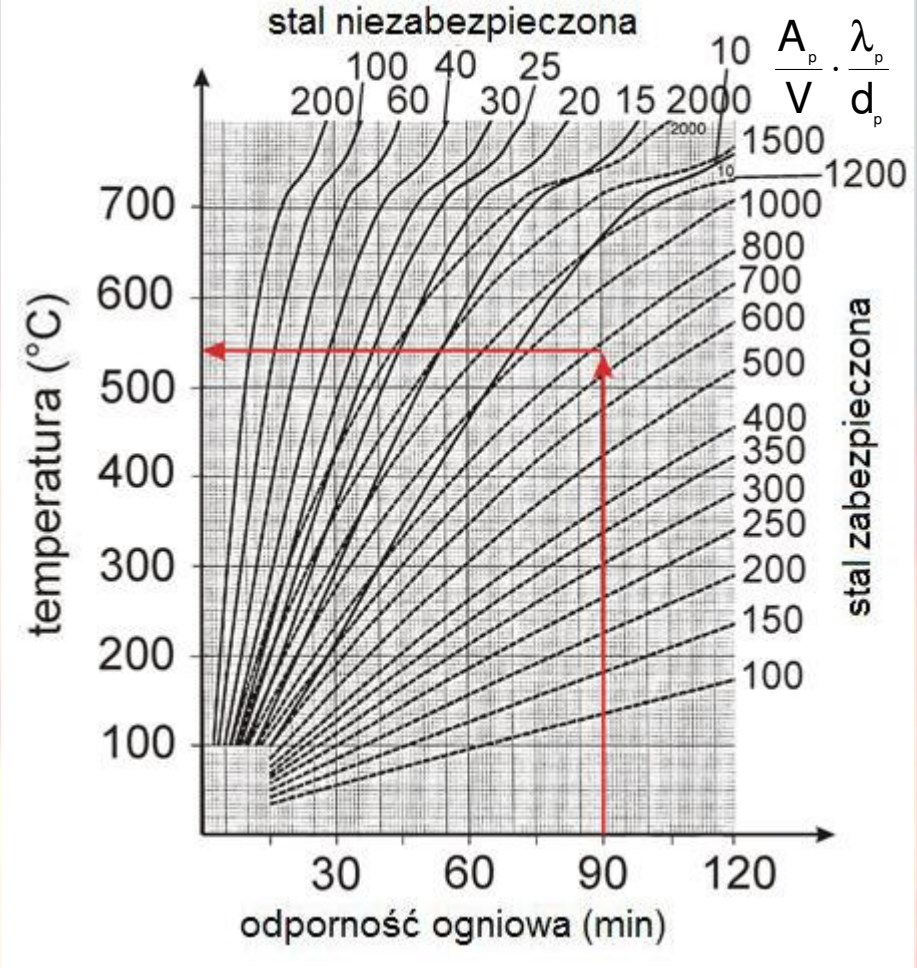
Euro-Nomogram:

$\Rightarrow \theta_{a,max,90} \approx 540$ °C

Współczynnik redukcyjny:

$\Rightarrow k_{y,\theta} = 0.656$

$\Rightarrow k_{E,\theta} = 0.484$



Belka stalowa (N + M)

współczynniki redukcyjne, sprawdzenie

- Współczynniki redukcyjne $\chi_{i,fi}$:

  Podobnie jak dla słupa stalowego

- Wyboczenie:

$$\frac{N_{fi,d}}{\chi_{min,fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} + \frac{k_y \cdot M_{y,fi,d}}{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} = 0.98 \leq 1$$

- Zwichrzenie:

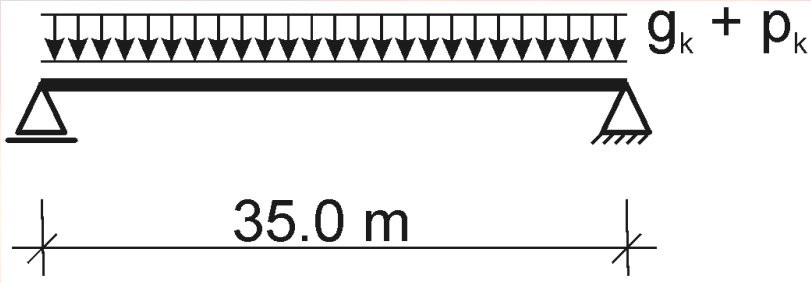
$$\frac{N_{fi,d}}{\chi_{z,fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,fi,d}}{\chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} = 1.14 \leq 1$$

Przykłady - przegląd

- Oddziaływania
  - Pożar strefowy
  - Pożar lokalny
- Konstrukcje stalowe
  - Słup stalowy
  - Belka stalowa(N + M)
  - **Belka stalowa (przekrój skrzynkowy)**
- Konstrukcje zespolone
  - Płyta zespolona
  - Belka zespolona (belka stalowa)
  - Belka zespolona (belka częściowo obetonowana)
  - Słup zespolony

Belka stalowa (przekrój skrzynkowy)
zadanie

Określenie obliczeniowej nośności na zginanie stalowej belki



⇒ Prosty model obliczeniowy:

- dla elementów poddanych obciążeniu zginającemu
- dla elementów zabezpieczonych przed utratą stateczności

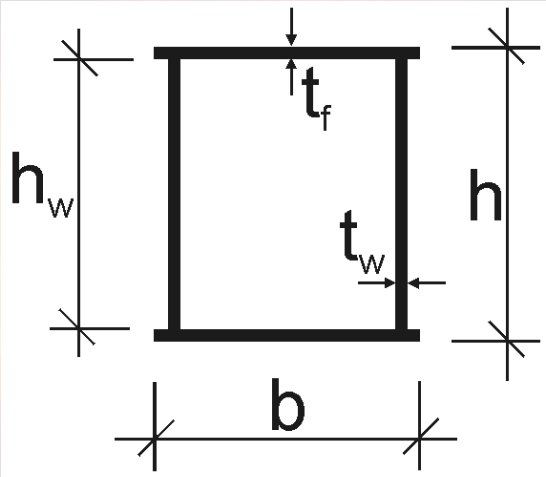
PN-EN 1993-1-2: Podpunkt 4.2.3.3

Belka stalowa (przekrój skrzynkowy)

parametry

budynek: Konstrukcja dachu hali

klasa odporności ogniowej: R 30



obciążenia: g_k = 9.32 kN/m
p_k = 11.25 kN/m

przekrój: przekrój spawany
h / b = 70 cm / 45 cm
$t_w = t_f$ = 25 mm

zabezpieczenie ppoż.: brak

gatunek stali: S 355

Belka stalowa (przekrój skrzynkowy)
oddziaływania mechaniczne w sytuacji pożaru

Sytuacja wyjątkowa:

$$E_{dA} = E \cdot \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

Współczynnik kombinacji obciążeń dla obciążenia śniegiem: $\Rightarrow \psi_{2,1} = 0.0$

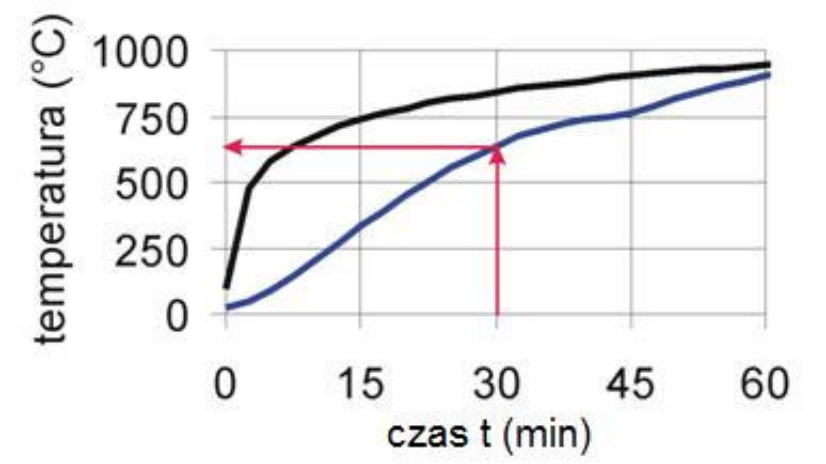
$$\Rightarrow M_{fi,d} = 1427.1\,\text{kNm}$$

Belka stalowa (przekrój skrzynkowy)

temperatura maksymalna w stali

- Normowa krzywa temperatura-czas:

$$\theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1)$$



- Krzywa temperatura-czas dla stali:

$$\Delta\theta_{a,r} = k_{sh} \cdot \frac{A_p / V}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \dot{h}_{net} \cdot \Delta t$$

Współczynnik przekroju dla równych grubości środnika i pasów. $\Rightarrow \quad \frac{A_p}{V} = \frac{1}{t} = 40 \ \frac{1}{m}$

Belka stalowa (przekrój skrzynkowy)
sprawdzenie

- Weryfikacja według kryterium temperaturowego:

$$\mu_0 = E_{fi,d} / R_{fi,d,0} = 0.31$$

$$\Rightarrow \theta_{a,cr} = 659\ ^\circ C$$

$$\frac{\theta_{a,max,30}}{\theta_{a,cr}} = 0.98 < 1$$

- Weryfikacja według kryterium wytrzymałościowego:

$$M_{fi,t,Rd} = M_{pl,Rd,20°C} \cdot k_{y,\theta} \cdot \frac{\gamma_{M,1}}{\gamma_{M,fi}} \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} = 1645.4\ \text{kNm}$$

gdzie

$k_{y,\theta} = 0.360$
$\kappa_1 = 1.0$
$\kappa_2 = 1.0$

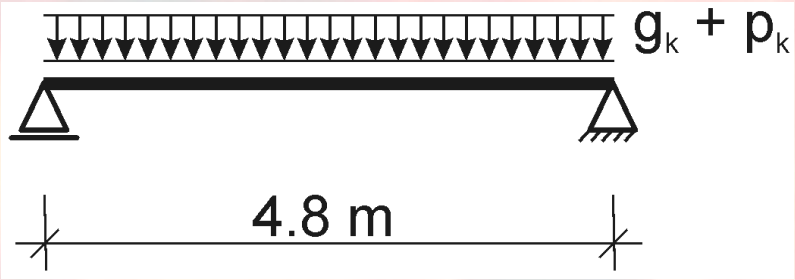
$$\frac{M_{fi,d}}{M_{fi,t,Rd}} = 0.87 < 1$$

Przykłady - przegląd

- Oddziaływania
  - Pożar strefowy
  - Pożar lokalny
- Konstrukcje stalowe
  - Słup stalowy
  - Belka stalowa(N + M)
  - Belka stalowa (przekrój skrzynkowy)
- Konstrukcje zespolone
  - **Płyta zespolona**
  - Belka zespolona (belka stalowa)
  - Belka zespolona (belka częściowo obetonowana)
  - Słup zespolony

Płyta zespolona
zadanie

Określenie obliczeniowej nośności na zginanie (moment przęsłowy) dla płyty zespolonej.



⇒ Prosty model obliczeniowy dla płyt zespolonych w sytuacji pożaru

PN-EN 1994-1-2: Załącznik D

Płyta zespolona
parametry

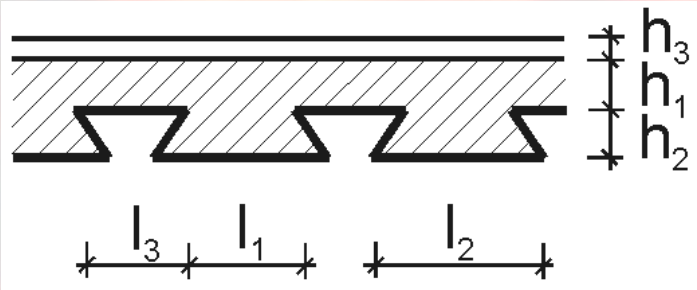
budynek: Centrum handlowe

klasa odporności ogniowej: R 90

obciążenia: g_k = 4.62 kN/m²
p_k = 5.0 kN/m²

wysokość płyty: h = 14.0 cm

klasa betonu: C 25/30



typ blachy: trapezowa
h_2 = 5.1 cm

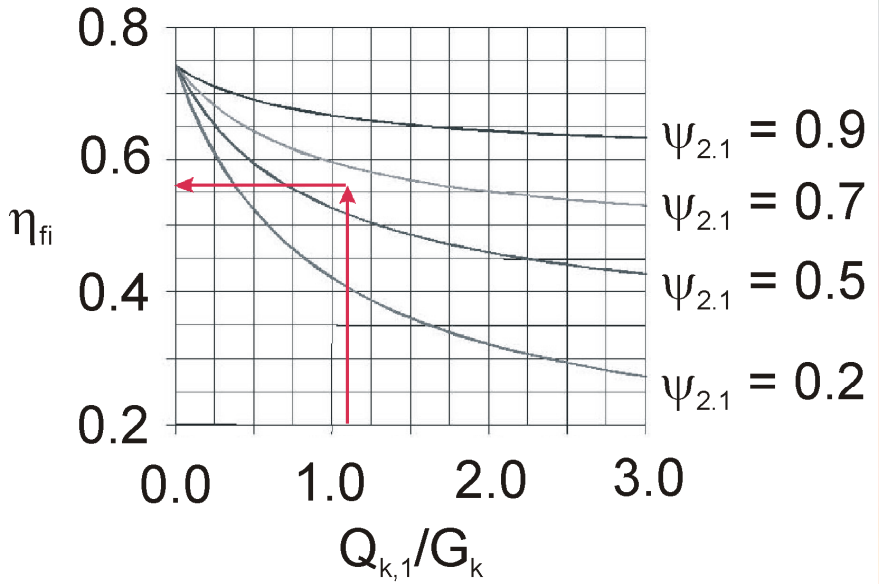
granica plastyczności: f_y = 350 N/mm²

Płyta zespolona
oddziaływania mechaniczne w sytuacji pożaru

Sytuacja wyjątkowa:

$$E_{dA} = E \cdot \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

$$\frac{Q_{k,1}}{G_k} = \frac{q_{k,1}}{g_k} = 1.1$$

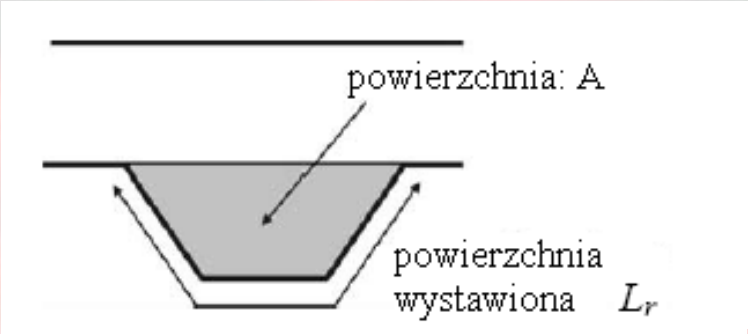


Moment zginający w sytuacji pożaru:

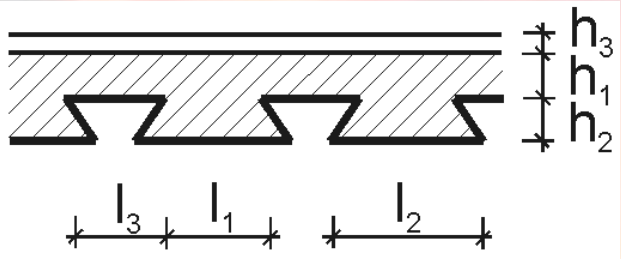
$$M_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot M_{sd} = 21.76 \text{ kNm/m}$$

Płyta zespolona
geometria żebra

Współczynnik geometrii żebra uwzględnia pozytywny wpływ ciężaru i wysokości żebra.



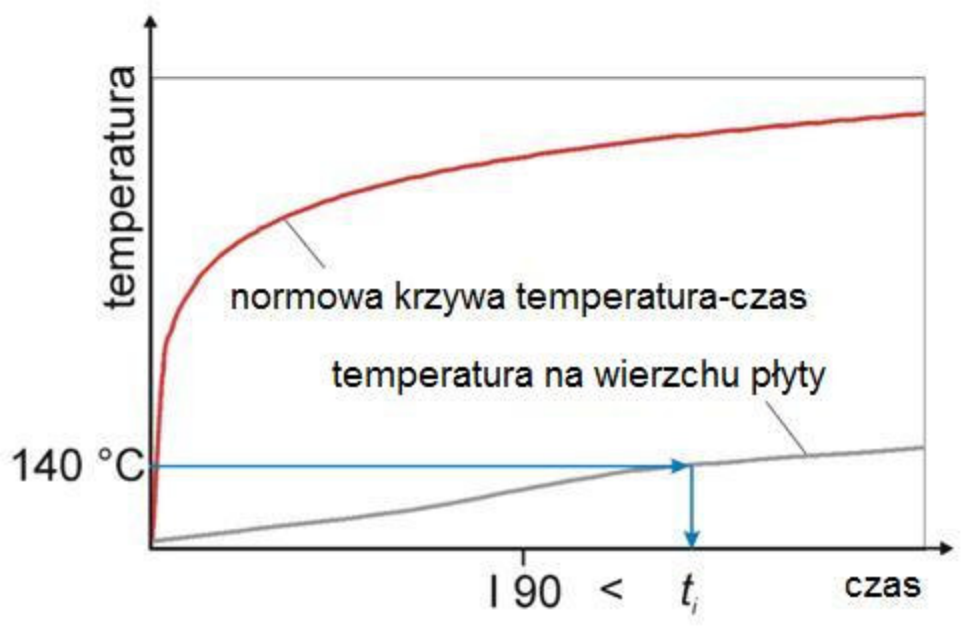
$$\frac{A}{L_r} = \frac{h_2 \cdot \left(\frac{l_1 + l_2}{2}\right)}{l_2 + 2 \cdot \sqrt{h_2^{\,2} + \left(\frac{l_1 - l_2}{2}\right)^2}} = 27 \text{ mm}$$



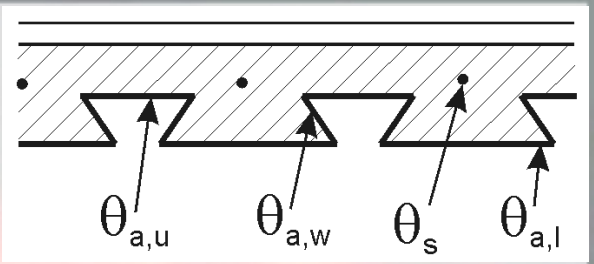
Płyta zespolona
izolacja termiczna

Temperatura na wierzchu płyty nie powinna przekraczać temperatury średniej 140 ℃ i maksymalnej 180 ℃.

$$t_i = 131.48 \text{ min} > 90 \text{ min}$$



Płyta zespolona
maksymalna temperatura w stali, weryfikacja



- Obliczenie temperatury w stali:

Blacha stalowa

$$\theta_{a,i} = b_{0,i} + b_{1,i} \cdot \frac{1}{l_3} + b_{2,i} \cdot \frac{A}{L_r} + b_{3,i} \cdot \Phi + b_{4,i} \cdot \Phi^2$$

Pręty zbrojeniowe

$$\theta_s = c_0 + c_1 \cdot \frac{u_3}{h_2} + c_2 \cdot z + c_3 \cdot \frac{A}{L_r} + c_4 \cdot \alpha + c_5 \cdot \frac{1}{l_3}$$

- Sprawdzenie:

$$M_{fi,t,Rd} = \sum A_i \cdot z_i \cdot k_{y,\theta,i} \cdot \left(\frac{f_{y,i}}{\gamma_{M,fi}} \right) + \alpha_{slab} \cdot \sum A_j \cdot z_j \cdot k_{c,\theta,j} \cdot \left(\frac{f_{c,j}}{\gamma_{M,fi,c}} \right)$$

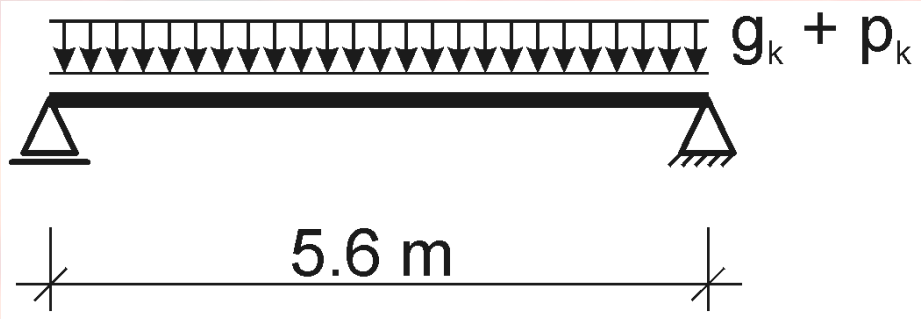
$$= 25.00 \text{ kNm/m} > 21.76 \text{ kNm/m}$$

Przykłady - przegląd

- Oddziaływania
  - Pożar strefowy
  - Pożar lokalny
- Konstrukcje stalowe
  - Słup stalowy
  - Belka stalowa(N + M)
  - Belka stalowa (przekrój skrzynkowy)
- Konstrukcje zespolone
  - Płyta zespolona
  - **Belka zespolona (belka stalowa)**
  - Belka zespolona (belka częściowo obetonowana)
  - Słup zespolony

Belka zespolona (belka stalowa)
zadanie

Określenie obliczeniowej nośności na zginanie (moment przęsłowy) dla belki zespolonej.



⇒ Prosty model obliczeniowy dla belek zespolonych w sytuacji pożaru

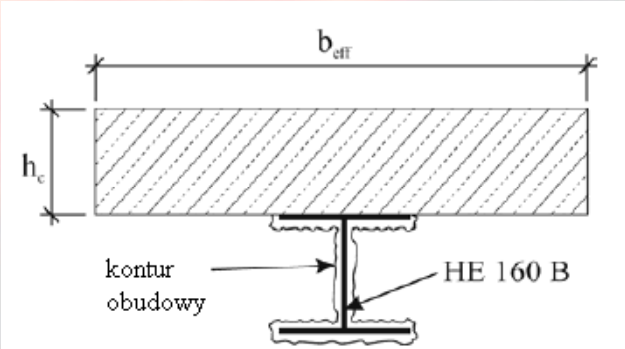
PN-EN 1994-1-2: Załącznik E

Belka zespolona (belka stalowa)
parametry

budynek: Biuro
klasa odporności ogniowej: R 60

obciążenia: g_k =28.0 kN/m
p_k =15.0 kN/m

wysokość płyty: h_c = 16.0 cm
klasa betonu: C 25/30



profil: gorąco walcowany HE 160 B
zabezpieczenie ppoż.: izolacja tynkowa (izolacja konturowa) (d_p = 1.5 cm)
gatunek stali: S 235

Belka zespolona (belka stalowa)
oddziaływania mechaniczne w sytuacji pożaru

Sytuacja wyjątkowa:

$$E_{dA} = E \cdot \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

Współczynnik kombinacji obciążeń

dla powierzchni biurowych: $\Rightarrow \psi_{2,1} = 0.3$

$$\Rightarrow M_{fi,d} = 127.4 \text{ kNm}$$

Belka zespolona (belka stalowa)

temperatura maksymalna w stali

Pas górny:

$\theta_{a,max,u} \approx 390\ ℃$

$\Rightarrow k_{y,\theta} = 1.0$

Środnik:

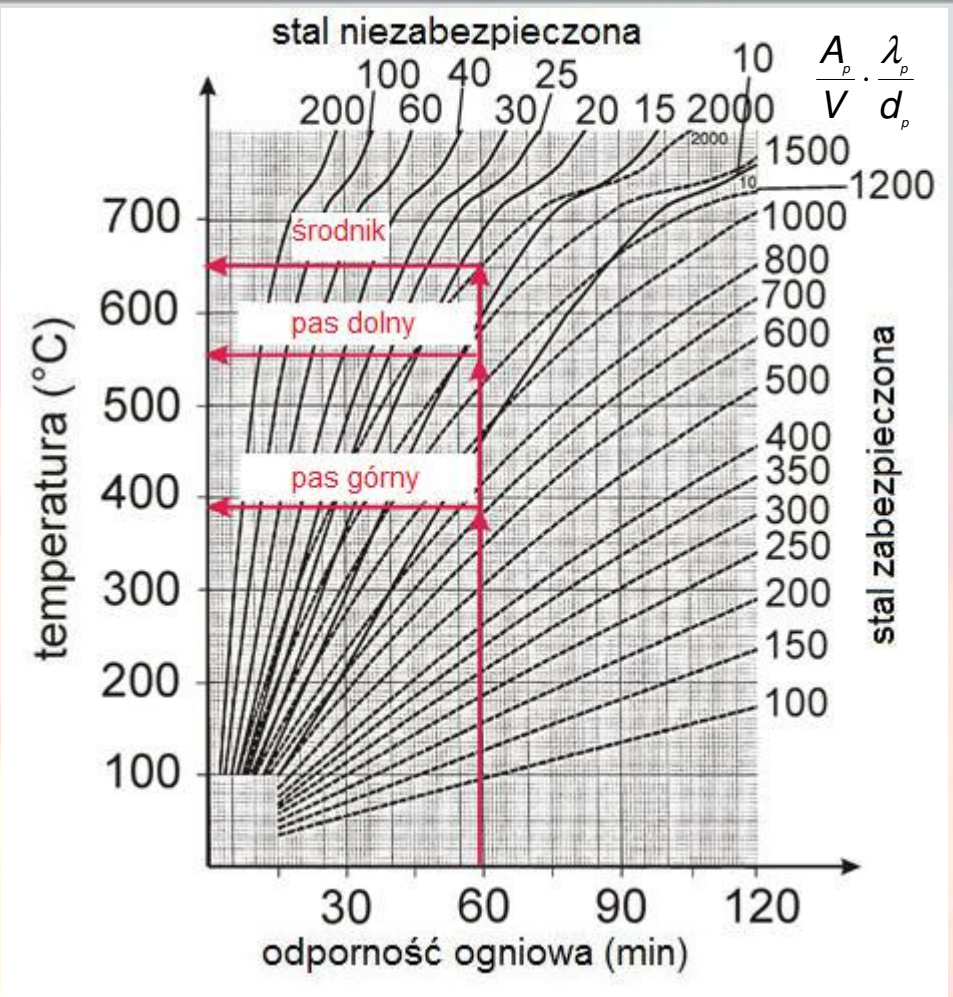
$\theta_{a,max,w} \approx 650\ ℃$

$\Rightarrow k_{y,\theta} = 0.350$

Pas dolny:

$\theta_{a,max,l} \approx 550\ ℃$

$\Rightarrow k_{y,\theta} = 0.625$

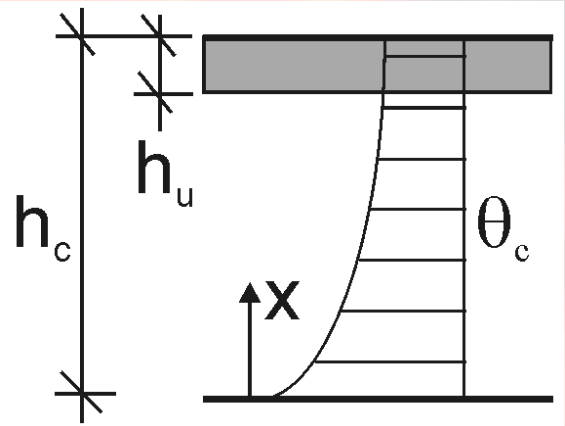


Belka zespolona (belka stalowa)
temperatura w strefie ściskanej betonu

Jeżeli temperatura w strefie ściskanej jest niższa niż 250 °C:

$$(h_c - h_u) = 12.2 \text{ cm} > x = 5 \text{ cm}$$

$\Rightarrow$ w strefie ściskanej betonu nie redukujemy wytrzymałości



gdzie

x: strefa betonu, w której temperatura $\theta_c > 250$ °C

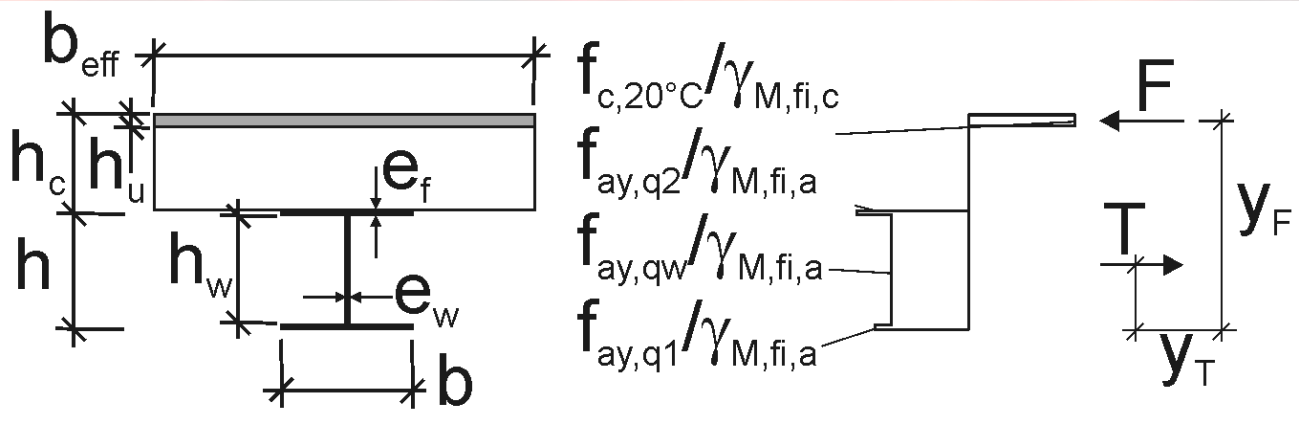
h_u: wysokość strefy ściskanej

Belka zespolona (belka stalowa)

Design sagging moment resistance and verification

- Obliczeniowa nośność na zginanie (moment przęsłowy):

$$M_{fi,Rd} = T \cdot (y_F - y_T) = 274.2 \text{ kNm}$$



- Sprawdzenie:

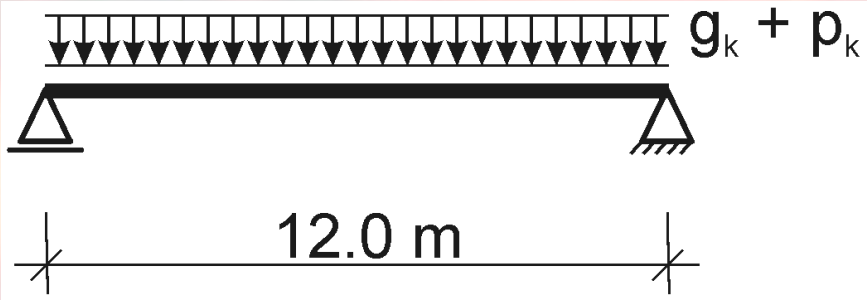
$$\frac{M_{fi,d}}{M_{fi,Rd}} = 0.46 < 1$$

Przykłady - Przegląd

- Oddziaływania
  - Pożar strefowy
  - Pożar lokalny
- Konstrukcje stalowe
  - Słup stalowy
  - Belka stalowa(N + M)
  - Belka stalowa (przekrój skrzynkowy)
- Konstrukcje zespolone
  - Płyta zespolona
  - Belka zespolona (belka stalowa)
  - **Belka zespolona (belka częściowo obetonowana)**
  - Słup zespolony

Belka zespolona (częściowo obetonowana belka)
zadanie

Określenie obliczeniowej nośności na zginanie dla belki zespolonej (moment przęsłowy)



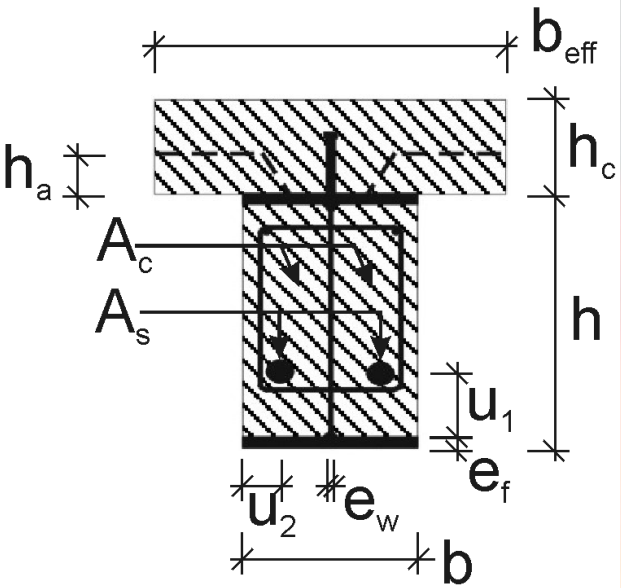
⇒ Prosty model obliczeniowy dla belek zespolonych w sytuacji pożaru (belka stalowa częściowo obetonowana).

PN-EN 1994-1-2: Załącznik F

Belka zespolona (częściowo obetonowana belka)

parametry

budynek:	magazyn
klasa odporności ogniowej:	R 90
obciążenia:	g_k = 21.0 kN/m p_k = 30.0 kN/m
wysokość płyty:	h_c = 16 cm
klasa betonu:	C 25/30
szerokość obetonowania:	b_c = b = 20 cm
klasa betonu:	C 25/30
profil:	gorąco walcowany, IPE 500
gatunek stali:	S 355



Belka zespolona (częściowo obetonowana belka)

oddziaływania mechaniczne w warunkach pożaru

Sytuacja wyjątkowa:

$$E_{dA} = E \cdot \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

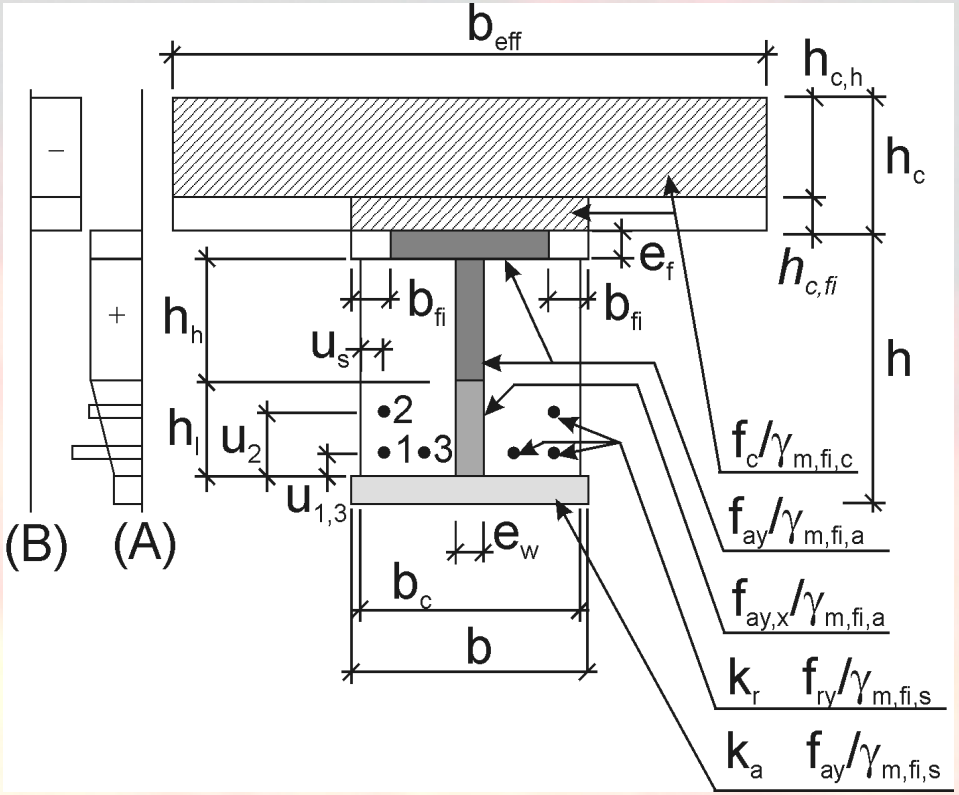
Współczynnik kombinacji obciążeń dla powierzchni magazynowych: $\Rightarrow \psi_{2,1} = 0.8$

$$\Rightarrow M_{fi,d} = 810.0 \text{ kNm}$$

Belka zespolona (częściowo obetonowana belka)

redukcja przekroju w sytuacji pożaru

- Płyta betonowa
  - redukcja wysokości
- Pas górny
  - redukcja szerokości
- Środnik
  - wyznaczenie wysokości bez redukcji wytrzymałości
- Pas dolny
  - redukcja wytrzymałości
- Zbrojenie
  - redukcja wytrzymałości



Belka zespolona (belka częściowo obetonowana)

obliczeniowa nośność na zginanie (moment przęsłowy), sprawdzenie

- Obliczeniowa nośność na zginanie (moment przęsłowy):

$$M_{fi,Rd} = \sum T_i \cdot z_i = 942.7 \text{ kNm}$$

gdzie

T_i: siła rozciągająca części przekroju

z_i: odległość między siłą ściskającą a rozciągającą

- Sprawdzenie:

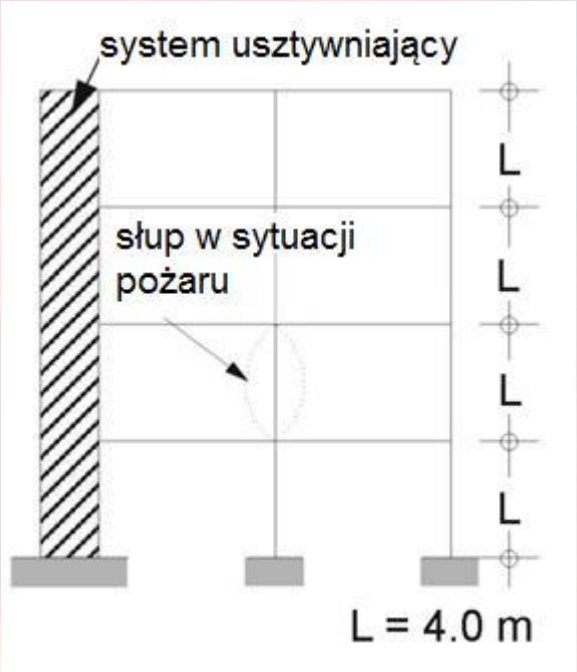
$$\frac{M_{fi,d}}{M_{fi,Rd}} = 0.86 < 1$$

Przykłady - przegląd

- Oddziaływania
  - Pożar strefowy
  - Pożar lokalny
- Konstrukcje stalowe
  - Słup stalowy
  - Belka stalowa(N + M)
  - Belka stalowa (przekrój skrzynkowy)
- Konstrukcje zespolone
  - Płyta zespolona
  - Belka zespolona (belka stalowa)
  - Belka zespolona (belka częściowo obetonowana)
  - **Słup zespolony**

Słup zespolony
zadanie

Określenie nośności obliczeniowej na ściskanie dla słupa zespolonego



⇒ prosty model obliczeniowy dla słupów zespolonych w sytuacji pożaru oraz metoda danych tabelarycznych

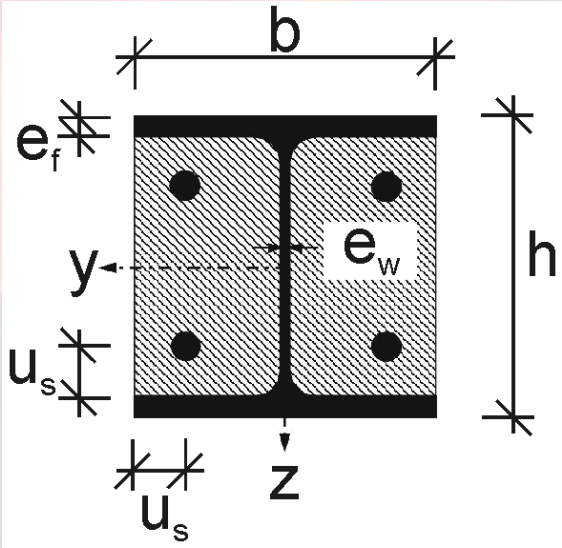
PN-EN 1994-1-2: Załącznik G
PN-EN 1994-1-2: punkt 4.2.3.3

Słup zespolony
parametry

budynek: biuro
klasa odporności ogniowej: R 60

obciążenia: G_k = 960.0 kN
P_k = 612.5 kN

Beton
klasa betonu: C 25/30



profil: gorąco walcowany
HE 300 B
gatunek stali: S 235

Słup stalowy
oddziaływania mechaniczne w sytuacji pożaru

Sytuacja wyjątkowa:

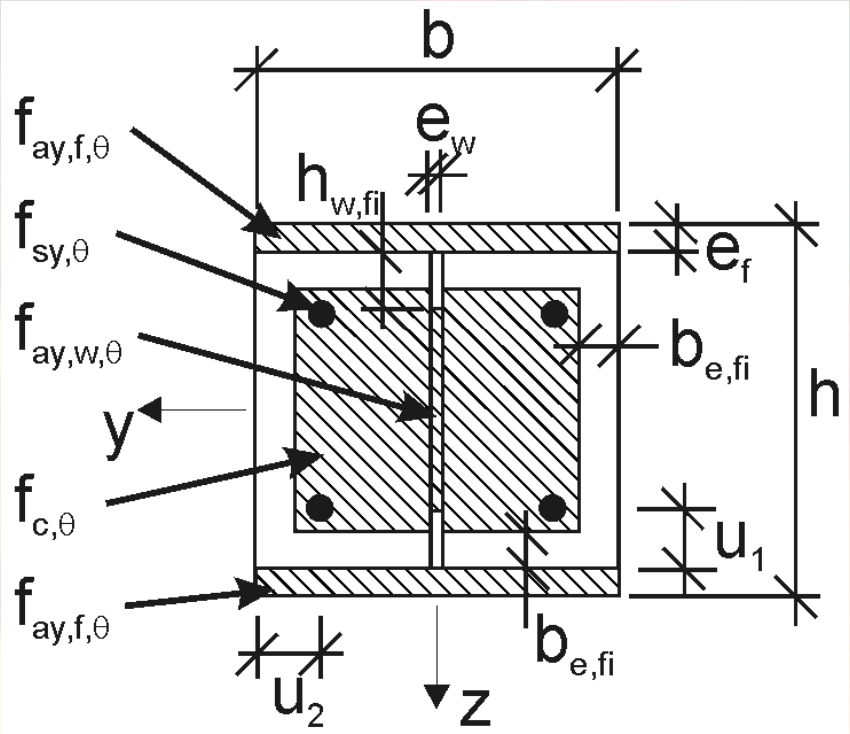
$$E_{dA} = E \cdot \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

Współczynnik kombinacji obciążeń
dla powierzchni biurowych: $\Rightarrow \psi_{2,1} = 0.3$

$$\Rightarrow N_{fi,d} = 1143.8\,\text{kN}$$

Słup zespolony
redukcja przekroju w sytuacji pożaru

- Półki
  - Redukcja wytrzymałości
  - Redukcja sztywności
- Środnik
  - Redukcja wysokości
  - Redukcja wytrzymałości
  - Redukcja sztywności
- Zbrojenie
  - Redukcja wytrzymałości
  - Redukcja sztywności
- Beton
  - Redukcja grubości
  - Redukcja wytrzymałości
  - Redukcja sztywności



Słup zespolony
obliczeniowa nośność na ściskanie, sprawdzenie

- Wyznaczenie obliczeniowej nośności na ściskanie:

$$N_{fi,pl,Rd} = \sum N_{fi,pl,Rd,i} = 2659.8\,kN$$

gdzie

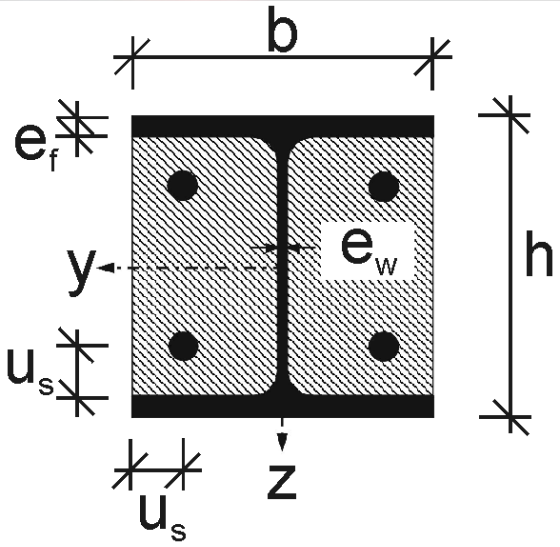
$N_{fi,pl,Rd,i}$ plastyczna obliczeniowa nośność kilku części

- Wyboczenie:

$$\frac{N_{fi,d}}{\chi_{z,fi} \cdot N_{fi,pl,Rd}} = 0.50 \leq 1$$

$\chi_{z,fi}$ jest określona podobnie jak w przykładzie dotyczącym słupa stalowego

Słup zespolony
metoda danych tabelarycznych



Istniejące parametry:

$e_w / e_f = 0.58$

$b = h = 300$ mm

$u_s = 50$ mm

$\eta_{fi,t} = 0.28$

$\frac{A_s}{A_c + A_s} = 3\%$

		R30	R60
	minimalny stosunek grubości środnika do półek e_w/e_f	*0,5*	*0,5*
1	minimalne wymiary przekroju dla poziomu obciążenia $\eta_{fi,t} \leq 0{,}28$		
1.1	minimalny wymiar h i b [mm]	*160*	*200*
1.2	minimalna odległość osiowa prętów zbrojeniowych u_s [mm]	-	*50*
1.3	minimalny stosunek zbrojenia $A_s/(A_c+A_s)$ w %	-	*4*

Dziękuję za uwagę

DIFISEK