

# ODPORNOŚĆ OGNIOWA KONSTRUKCJI STALOWYCH



prof. dr hab. inż.  
**Mirosław Kosiorek**  
Szkoła Główna Służby Pożarniczej

PARTNERZY TEMATU



W artykule omówiono podstawowe zasady projektowania konstrukcji stalowych w kontekście ognioochronnym, wpływ pola temperatury na odporność ogniową i metody ochrony przeciwpożarowej konstrukcji stalowych.

Z e stali nie wykonuje się konstrukcyjnych przegród budowlanych. Dlatego też rozważania dotyczące odporności ogniowej można ograniczyć do elementów prętowych, jak słupy czy belki, i właściwości użytkowej związanej z zapewnieniem w określonym czasie nośności konstrukcji, czyli z kryterium R.

## Podstawowe zasady projektowania zabezpieczeń

Długość prętów jest wielokrotnie większa od wymiarów przekroju poprzecznego. Zależność standardowa czas – temperatura, według której prowadzi się badania odporności ogniowej, określa jednorodne pole oddziaływań termicznych na element. Pomijając wymianę ciepła na końcach elementu, która ma niewielki wpływ na temperaturę pręta w pewnej odległości od brzegu, można pominąć przewodzenie ciepła wzdłuż elementu. W obliczeniach temperatury elementów stalowych przyjmuje się więc model nieskończenie długiego pręta poddanego jednorodnym oddziaływaniom termicznym. Przyjmując podane założenia rozważania ogranicza się do przekroju poprzecznego o długości jednostkowej.

Z uwagi na dużą przewodność cieplną stali  $\lambda_s = ca40W/(m \cdot K)$  można w przybliżeniu założyć, że temperatura przekroju jest jednorodna. Wtedy [1]:

$$c\rho V \frac{d\theta}{dt} = A_m \alpha (\theta_g - \theta_s), \quad (1)$$

lub

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{A_m \alpha}{V c\rho} (\theta_g - \theta_s). \quad (2)$$

gdzie:

$\theta_s$  – temperatura stali,

$\theta_g$  – temperatura spalin,

$c$  – ciepło właściwe,

$\rho$  – gęstość,  $kg/m^3$ ,

$\alpha$  – współczynnik przejmowania ciepła,  $W/(m^2 \cdot K)$ ,

$A_m$  – obwód nagrzewany,  $m$ ,

$V$  – powierzchnia przekroju poprzecznego,  $m^2$ .

Iloraz  $a/c\rho$  jest praktycznie niezależny od rodzaju stali. Można więc przyjąć, że temperatura przekroju poprzecznego jest funkcją wskaźnika  $A_m/V$ :

$$\theta_s = f(A_m/V).$$

Postać funkcji  $f(A_m/V)$  ustala się doświadczalnie na podstawie badań elementów stalowych zabezpieczonych daną izolacją.

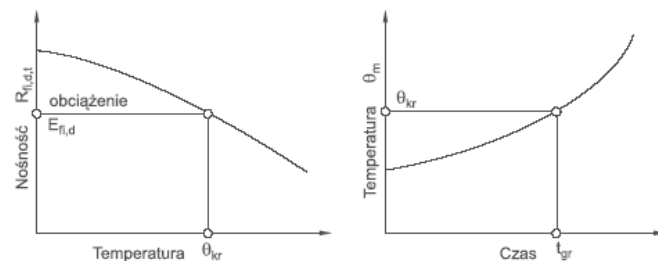
W tabeli 1 podano wartości temperatury przekroju poprzecznego nieizolowanych elementów stalowych w zależności od czasu nagrzewania wg krzywej standardowej i wskaźnika przekroju  $A_m/V$ . Jest on nazywany często wskaźnikiem masywności, ale jest to określenie mylące; im większa wartość tego wskaźnika tym mniejsza „masywność” i szybszy wzrost temperatury.

Na ogół wskaźniki  $A_m/V$  konstrukcji stalowych zawierają się w granicach 100-250  $m^{-1}$  (w kratownicach sięgają 400  $m^{-1}$ ). Nieizolowane konstrukcje stalowe w ciągu pierwszych 15 minut osiągają już stosunkowo wysoką temperaturę. Tylko słabo obciążone nieizolowane elementy o wskaźniku  $A_m/V$  mniejszym od 100  $m^{-1}$  mogą zachować nośność w czasie 15 min.

Czas min.	$\theta_s$	$A_m/V, m^{-1}$					
		20	30	50	100	150	200
0	20	20	20	20	20	20	20
15	739	171	236	347	534	632	700
30	842	375	493	648			

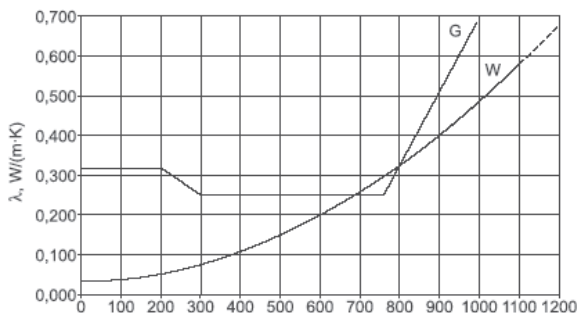
Tabela 1. Temperatura  $\theta_s$  elementów stalowych ogrzewanych wg zależności standardowej

Zakładając jednorodne pole temperatury przekroju poprzecznego, można ustalić temperaturę krytyczną, tzn. temperaturę, w której następuje wyczerpanie nośności (rys. 1). Czas, jaki upływa do osiągnięcia tej temperatury, określa odporność ogniową elementu.



Rys. 1. Zasada ustalania temperatury krytycznej i odporności ogniowej

Z tabeli 2 wynika, że aby konstrukcje stalowe uzyskały odporność ogniową 15 minut lub większą, powinny być chronione przed dopływem strumienia ciepła. Najbardziej rozpowszechnioną metodą jest izolowanie konstrukcji przy użyciu materiałów o znacznie mniejszej przewodności cieplnej niż przewodność cieplna stali (rys. 2).



Rys. 2. Współczynniki przewodności cieplnej materiałów izolacyjnych (wg badań ITB) G – płyta gipsowo-kartonowa, W – wełna skalna o gęstości 140 kg/m<sup>3</sup>

W obliczeniach uproszczonych pomija się pojemność cieplną izolacji, gdyż zarówno masa, jak i ciepło właściwe stali są wielokrotnie większe od masy i ciepła właściwego izolacji. W przypadku, gdy nie wprowadza się tych uproszczeń, związek pomiędzy temperaturą stali a temperaturą w bezpośrednim otoczeniu elementu wyraża się wzorem:

$$\frac{d\theta_a}{dt} = \left[ \frac{\lambda_p A_m}{d_p V} \frac{1}{\rho_a c_a} \frac{1}{1 + \frac{\phi}{s}} (\theta_g - \theta_a) \right] - \left[ \left( e^{\frac{\phi}{10}} - 1 \right) \frac{d\theta_g}{dt} \right] \quad (3)$$

gdzie:

$\theta_a$  – temperatura stali, °C,

$\theta_g$  – temperatura w otoczeniu elementu, °C,

$d_p$  – grubość izolacji, mm,

$$\phi = \frac{A_m d_p c_p \rho_p}{V c_a \rho_a}$$

$\rho_p$  – gęstość izolacji, kg/m<sup>3</sup>,

$\rho_a$  – gęstość stali, kg/m<sup>3</sup>,

$c_p$  – ciepło właściwe izolacji, J/(kg·K),

$c_a$  – ciepło właściwe stali, J/(kg·K),

$\lambda_p$  – przewodność cieplna izolacji, W/(m·K),

$V$  – pole przekroju poprzecznego stali, m<sup>2</sup>,

$A_m$  – długość obwodu nagrzewanego, m.

Zależność (3) jest wykorzystywana do określania grubości izolacji w funkcji  $A_m/V$ , jeżeli znany jest przebieg temperatury w elemencie stalowym i przebieg temperatury w otoczeniu zaizolowanego elementu oraz właściwości cieplne izolacji ogniochronnej.

Grubości izolacji są podawane w aprobatkach technicznych ITB w zależności od wskaźnika  $A_m/V$  i temperatury krytycznej  $\theta_{a,kr}$  (tabela 2). Zasady obliczania wskaźnika  $A_m/V$  podano w tabeli 3.

Temperaturę krytyczną oblicza się ze wzoru [3]:

$$\theta_{a,kr} = 39,19 \ln \left( \frac{1}{0,9674 \mu_0^{0,833}} - 1 \right) + 482 \quad (4)$$

W przekrojach klas 1, 2, 3 i elementach rozciąganych:

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,o}} \quad (5)$$

gdzie:

$E_{fi,d}$  – obliczeniowy efekt oddziaływań w sytuacji pożarowej wg EN 1991-1-2,

$R_{fi,d,o}$  – nośność obliczeniowa elementu dla  $t = 0$ .

W elementach skręconych i zginanych, jeżeli postacią zniszczenia nie jest utrata stateczności giętno-skrętnej, wartość  $\mu_0$  oblicza się ze wzoru:

$$\mu_0 = \eta_{fi} \left( \frac{\gamma_{M,fi}}{\gamma_{M1}} \right) \quad (6)$$

gdzie:

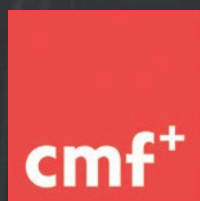
$\eta_{fi}$  – współczynnik redukcyjny charakteryzujący stopień wykorzystania nośności dla  $t = 0$ ,

$\gamma_{M1}$  – współczynnik częściowy dla właściwości materiału,

$\gamma_{M,fi}$  – współczynnik częściowy dla materiału w sytuacji pożarowej ( $\gamma_{M,fi} = 1$ ).

W przekrojach klasy 4, poza elementami rozciąganymi, temperatura krytyczna nie może być wyższa niż 350°C.

REKLAMA



Creative Methods  
in Fire Protection



CMFplus sp. z o.o.

ul. Broniewskiego 3, 01-858 Warszawa  
biuro@cmfplus.pl, www.cmfplus.pl  
tel.: 539 08 08 02, 539 08 08 01

## Zespół rzeczoznawców ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych

### ■ Rzeczoznawcy ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych

- uzgodnienia dokumentacji projektowej
- ekspertyzy i opinie techniczne, odstępstwa
- doradztwo techniczne
- przygotowanie budynków do odbiorów

### ■ Specjalistyczna dokumentacja techniczna:

- projektowanie systemów wentylacji pożarowej wg norm PN, NFPA i BS
- projekty SSP oraz innych instalacji i urządzeń przeciwpożarowych
- ocena zagrożenia wybuchem
- instrukcje bezpieczeństwa pożarowego
- jednostkowa dokumentacja techniczna
- analizy odporności ogniowej konstrukcji (wg EUROKODÓW)

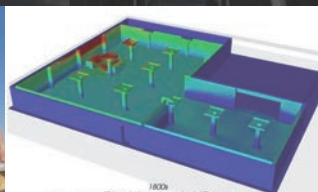
### ■ Analizy numeryczne

- symulacje CFD
- symulacje ewakuacji

### ■ Próby systemów wentylacji pożarowej metodą pożaru testowego z ciepłym dymem

### ■ Szkolenia BHP i PPOŻ

### ■ Sklep



Wartości temperatury krytycznej w zależności od wartości współczynnika  $\mu_0$  podano w tabeli 4 wg [3].

$A_m/V, m^{-1}$	Minimalne grubości zabezpieczeń w mm dla $\theta_{a,kr}$					
	350°C	350°C	350°C	350°C	350°C	350°C
0-80	12	15	15	15	15	10
81-100	20	20	20	15	15	10
101-120	25	20	20	20	15	10
121-140	25	25	20	20	20	10
141-160	25	25	20	20	20	10
161-180	30	25	25	20	20	10
181-200	30	25	25	25	20	15
201-220	30	30	25	25	20	15
221-240	30	30	25	25	20	15
241-260	30	30	25	25	20	15
261-280	30	30	25	25	20	15
281-300	35	30	30	25	25	20
301-320	35	30	30	25	25	20
321-340	35	30	30	25	25	20
341-360	35	35	30	25	25	20
361-280	40	35	35	30	25	20
281-400	40	40	35	30	25	20

Tabela 2. Ilustracja sposobu określania grubości\* izolacji w zależności od współczynnika  $A_m/V$  i temperatury krytycznej  $\theta_{a,kr}$   
 \*Podane w tabeli grubości są prawdopodobne, lecz fikcyjne, i nie można ich stosować w projektowaniu. W Aprobatach Technicznych podaje się osobne tabele dotyczące przekrojów otwartych i zamkniętych

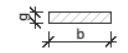
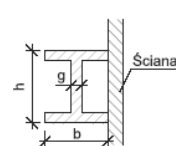
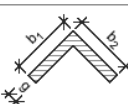
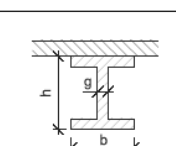
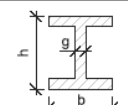
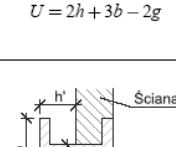
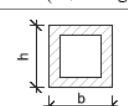
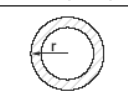
Ogrzewanie ze wszystkich stron	Ogrzewanie części obwodu
 $U = 2(b + g)$	 $U = h + 3b - g$
 $U = 2(b_1 + b_2)$	 $U = 2h + 3b - 2g$
 $U = 2(h + 2b - g)$	 $U = 2(b + h') - g$
 $U = 2(h + b)$	 $U = 2\pi r$

Tabela 3. Wartości  $U$  dla typowych przypadków nagrzewania

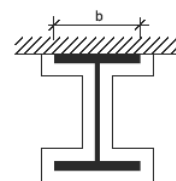
Grubości izolacji ogniochronnych przekrojów zamkniętych są zwykle większe niż w przypadku przekrojów otwartych, gdyż uwzględnia się możliwość miejscowej utraty stateczności.

$\mu_0$	$\theta_{a,kr}$	$\mu_0$	$\theta_{a,kr}$	$\mu_0$	$\theta_{a,kr}$
0,22	711	0,42	612	0,62	549
0,24	698	0,44	605	0,64	543
0,26	685	0,46	598	0,66	537
0,28	674	0,48	591	0,68	531
0,30	664	0,50	585	0,70	526
0,32	654	0,52	578	0,72	520
0,34	645	0,54	572	0,74	514
0,36	636	0,56	566	0,76	508
0,38	628	0,58	560	0,78	502
0,40	620	0,60	554	0,80	496

Tabela 4. Wartości temperatury krytycznej  $\theta_{a,kr}$  w zależności od współczynnika  $\mu_0$  wg (3)

### Pola temperatury z uwzględnieniem odprowadzania ciepła

W przypadku elementów częściowo obetonowanych lub przylegających np. do stropów na części obwodu następuje oddawanie ciepła. Temperaturę konstrukcji można obliczać za pomocą wzorów jednowymiarowego przewodzenia ciepła, przyjmując obwód nagrzewany pomniejszony o szerokość styku elementu konstrukcji stalowej z innym elementem (rys. 4). Uproszczenie to daje zapas bezpieczeństwa od 10 do 35%. Podczas projektowania nowych budynków nie jest celowe stosowanie bardziej skomplikowanego aparatu matematycznego do obliczenia grubości izolacji. W przypadku modernizacji, przebudowy lub zmiany sposobu użytkowania powstaje często szereg problemów związanych z koniecznością zwiększenia grubości izolacji ogniochronnej a nawet jej usunięcia i zastosowania nowej. Celowe się może wtedy okazać przeprowadzenie dokładniejszej oceny odporności ogniowej.



Rys. 4. Przykład elementu częściowo osłoniętego przed działaniem ognia

W rzeczywistości następuje odprowadzenie ciepła do betonu, obniżające znacznie temperaturę górnej półki w porównaniu z temperaturą dolnej półki i dolnej części środknika. Niejednorodne pole temperatury implikuje niejednorodne właściwości mechaniczne przekroju. Następuje przesunięcie osi obojętnej i wzrost nośności w stosunku do obliczeń uproszczonych, w przypadku belek stropowych rzędu 10-35%. Ocena odporności ogniowej z uwzględnieniem odprowadzania ciepła wymaga analizy dwuwymiarowego pola temperatury.

Pola temperatury w przekroju konstrukcji osłoniętych izolacjami ogniochronnymi opisać można równaniem

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + Q, \quad (7)$$

gdzie:

$T$  – temperatura,

$Q$  – źródła ciepła,

$\lambda_x, \lambda_y$  – anizotropowe współczynniki przewodności cieplnej zależne od temperatury i współrzędnych przestrzennych,

$\rho, c$  – gęstość i ciepło właściwe zależne od współrzędnych przestrzennych,

$x, y$  – prostokątny układ współrzędnych kartezjańskich,

$t$  – czas.

Warunek początkowy zdefiniowany jest przez rozkład temperatury w rozpatrywanym obszarze w czasie  $t = 0$  danej jako znana funkcja  $x$  i  $y$  [2]:

$$T(x, y, 0) = f(x, y) \text{ dla } t = 0. \quad (8)$$

Warunki brzegowe:

- znana temperatura na części  $\Gamma_T$  brzegu obszaru w dowolnej chwili zdefiniowanej jako znana funkcja zmiennych  $x, y, t$ ;
- znany strumień ciepła na części  $\Gamma_q$  brzegu obszaru zdefiniowanego w postaci:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n}(x, y, t) = q_n(x, y, t) \quad x, y \in \Gamma_q, \quad (9)$$

gdzie:

- $q_n$  – strumień ciepła na części  $\Gamma_q$  brzegu obszaru,
- $n$  – normalna do brzegu  $\Gamma_q$ ,
- $\lambda$  – współczynnik przewodności cieplnej,
- $\Gamma_q$  – część brzegu obszaru, na którym znany jest strumień ciepła,
- konwekcyjny warunek brzegowy dla przypadku swobodnej konwekcji zdefiniowany jest w postaci:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n}(x, y, t) = \alpha(T_e - T_s), \quad (10)$$

gdzie:

- $\alpha$  – współczynnik przejmowania ciepła,
- $T_e$  – znana temperatura otoczenia,
- $T_s$  – temperatura na brzegu obszaru,
- $T_a$  – część brzegu obszaru, na której jest zadany konwekcyjny warunek brzegowy,
- radiacyjny warunek brzegowy zdefiniowany jest następująco:

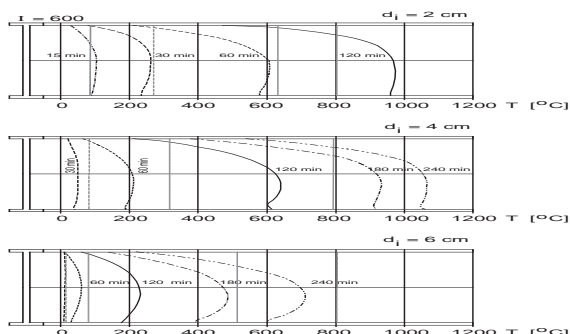
$$q_r(x, y, t) = V_k C_0 \left[ \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_r} - 1} \right] (T_R^{-4} - T_s^{-4}) \quad (11)$$

gdzie:

- $V_k$  – kątowy współczynnik promieniowania,
- $C_0$  – stała Stefana – Boltzman'a,
- $\varepsilon_r$  – współczynnik emisyjności spalin,
- $\varepsilon_s$  – współczynnik emisyjności powierzchni brzegu,
- $T_R$  – bezwzględna temperatura spalin,
- $T_s$  – bezwzględna temperatura powierzchni brzegu,
- $\Gamma_r$  – część brzegu obszaru, na którym zadany jest radiacyjny warunek brzegowy.

Brzeg obszaru  $\Gamma$  równy jest sumie brzegów  $\Gamma_T, \Gamma_q, \Gamma_a, \Gamma_r$ .

Na rysunku 5 porównano wartości temperatury belki stropowej z  $I 600$  z izolacją o grubości 4 cm ogrzewanego według krzywej standardowej z uwzględnieniem (dwukierunkowy przepływ ciepła) i bez uwzględnienia (model jednowymiarowy) odprowadzania ciepła do stropu.

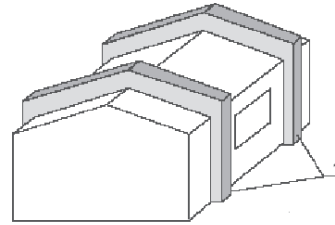


Rys. 5. Rozkład temperatury wzdłuż pionowej osi przekroju poprzecznego belki I 600 z izolacją 4 cm po: 30 min (— — —), 60 min (· · · · ·), 120 min (— — — — —), 180 min (— · · · —), 240 min (— · · · · —); liniami czerwonymi oznaczono wartości temperatury uzyskane przy założeniu modelu jednowymiarowego

## Zabezpieczenia ogniochronne konstrukcji stalowych

Konstrukcje stalowe zabezpiecza się przed wpływem ciepła wydzielanego podczas pożaru przez:

- sytuowanie elementów nośnych poza obrysem budynku (rys. 7),
- zabezpieczanie pojedynczych elementów (rys. 8),
- ostony ogniochronne grup elementów (sufity podwieszane, ściany działowe itp.) (rys. 9).



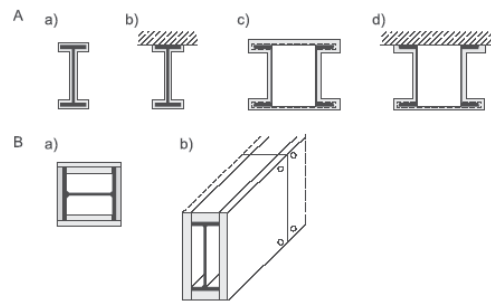
Rys. 6. Konstrukcja stalowa (1) poza obrysem budynku

Pojedyncze elementy zabezpiecza się, nanosząc izolację na powierzchnię elementu (zabezpieczenia konturowe – rys. 8A) lub obudowując element płytami (zabezpieczenia skrzynkowe – rys. 8B).

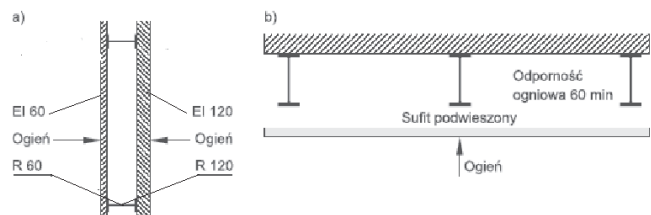
## Zabezpieczenia grupowe (rys. 9)

Mogą tu być stosowane sufity podwieszane z prasowanych płyt z wełny mineralnej, wełny szklanej, płyt gipsowo-kartonowych lub specjalnych płyt ogniochronnych. Rozwiązanie powinno obejmować zabezpieczenie opraw oświetleniowych, kratki wentylacyjnych i otworów rewizyjnych.

Słupy można zabezpieczać przy wykonywaniu ścian betonowych, murowanych lub lekkich ścian warstwowych, przy czym odporność ogniowa słupów zależy od odporności ogniowej ściany i może być niesymetryczna w zależności od tego, z której strony działa ogień (rys. 9a).



Rys. 7. Zabezpieczenia pojedynczych elementów: A – konturowe, B – skrzynkowe; a) słup, b) i d) podciąg, c) słup dwugąłzowy



Rys. 8. Zabezpieczenia grupowe: a) ściany, b) sufit podwieszony

Zabezpieczenia ogniochronne dzieli się niekiedy na tradycyjne i specjalne.

Technologie tradycyjne to obetonowanie lub obmurowanie, a więc zabiegi stosowane zwykle na placu budowy przy wykonywaniu innych robót. W ramach technologii specjalnych nakłada się farby ogniochronne, natryski i tynki ogniochronne oraz wykonuje się zabezpieczenia z płyt ogniochronnych.

Z uwagi na mechanizmy działania środki zabezpieczające dzieli się na:

- środki aktywizowane termicznie,
  - środki pasywne.
- Wśród środków aktywizowanych termicznie wyróżnia się:
- powłoki pęczniące,
  - powłoki absorpcyjne.

## Powłoki pęczniejące

Pod wpływem temperatury wytwarzają porowatą warstwę izolacyjną. Zwykle w procesie pęcznienia wyzwalają się cząsteczki wody, która pochłania część energii cieplnej przy odparowywaniu.

W materiałach ogniochronnych aktywowanych termicznie zachodzą procesy chemiczne związków węgla i fosforu. Substancje organiczne, rozkładając się pod wpływem temperatury, tworzą związki węglowodorowe, gazy oraz węgiel. W obecności kwasu fosforowego dodatkowo jest wyzwalana woda, umożliwiając powstanie pianki o własnościach termoizolacyjnych (rys. 9).

Większość środków aktywowanych termicznie zawiera następujące komponenty:

- generator kwasu fosforowego (np. fosforan amonu), który pod wpływem temperatury ulega rozpadowi, prowadzącemu do powstania kwasu fosforowego,
- substancje organiczne, rozkładające się z wytworzeniem zwęgliny,
- środki spieniające – materiały ulegające dekompozycji pod wpływem ciepła, które tworzą niepalne gazy decydujące o ekspansji pianki,
- spoiwo (materiał akrylowy lub epoksydowy) wiążące pęczniejące poroście i utrzymujące gazy wewnątrz porów.



Rys. 9. Farba pęczniająca po badaniu (ITB)

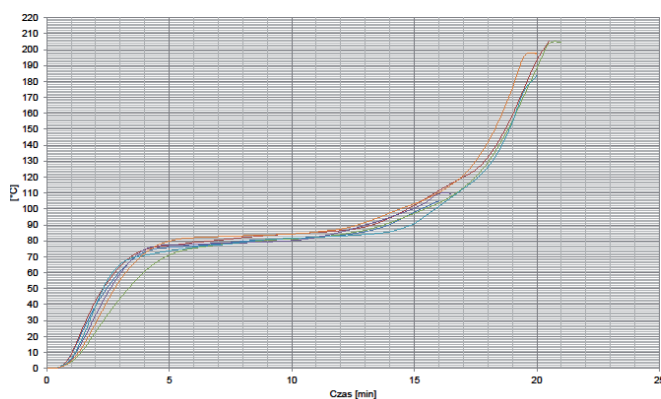
Proces pęcznienia rozpoczyna się w temperaturze 200–250°C. Zestawy farb do zabezpieczeń ogniochronnych składają się zwykle z trzech warstw. Warstwa podkładowa grubości 40–100 μm, nakładana na stal oczyszczoną metodą piaskowania do wymaganego stopnia czystości pełni funkcję antykorozyjną i przygotowuje przyczepne podłoże pod powłokę pęczniąca. Ogniochronna warstwa pęczniająca może być różnej grubości, zależnie od wskaźnika masywności zabezpieczanego przekroju, wymaganej klasy odporności ogniowej oraz temperatury krytycznej stali. W zastosowaniach praktycznych spotyka się grubości 300-4000 μm. Grube powłoki nakłada się warstwami. Nakładanie zestawu ogniochronnego kończy ułożenie warstwy nawierzchniowej grubości 40-120 μm, której zadaniem jest ochrona powłoki przed oddziaływaniem środowiska oraz wykończenie dekoracyjne powłoki.

Powłoki nanosi się ręcznie (wałkiem lub pędzlem) albo natryskowo. Najczęściej producenci farb dopuszczają obydwa sposoby malowania.

## Mechanizm działania powłok absorpcyjnych

Mechanizm działania tego rodzaju powłok wiąże się z pochłanianiem energii cieplnej w wyniku chłodzenia ablacyjnego, polegającego na topieniu materiału powłoki lub sublimacji, czyli przejściu materiału z fazy stałej bezpośrednio w stan gazowy. Jest to więc zmniejszenie strumienia energii cieplnej dopływającej do powierzchni stali w wyniku pochłaniania jej części potrzebnej na przemiany fazowe. Uważa się, że powłoki te powstały w związku z chłodzeniem powierzchni szybkich strumieni powietrznych, ale mechanizm ten charakteryzuje

się w dużym stopniu działaniem ogniochronnym tworzyw na bazie gipsu (rys. 10); stabilizacja temperatury w okolicy 90°C jest spowodowana odparowaniem wody.



Rys. 10. Mechanizm działania ogniochronnego płyt gipsowo-kartonowych

## Ogniochronne izolacje natryskowe

Są to zwykle izolacje z granulatu wełny mineralnej o gęstości 300-600 kg/m<sup>3</sup>. Przewodność cieplna w temperaturze 20°C tego typu izolacji wynosi ca 0,085 W/(m·K), a ciepło właściwe – 14 Wmin/(kg·K). Fabrycznie przygotowaną suchą masę miesza się z wodą lub ciepłym spoiwem w wylotu końcówki specjalnego agregatu natryskowego (rys. 11).



Rys. 11. Nakładanie natrysku na konstrukcję stalową

## Tynki ogniochronne

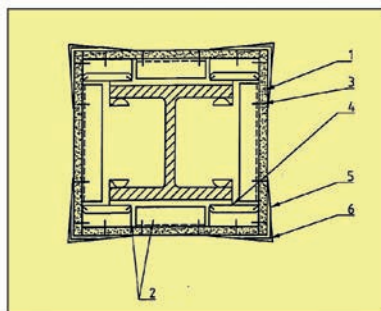
Są to wyprawy zawierające jako wypełniacz lekkie kruszywo (np. perlit) lub granulaty z wełny mineralnej nanoszone agregatem tynkarskim. Na ogół przy większych wysokościach belek stosuje się siatkowanie. Gęstość takich tynków wynosi 600-1000 kg/m<sup>3</sup>, a ich współczynnik przewodzenia ciepła, w zależności od gęstości, w granicach 0,09-0,20 W/(m·K).

## Zabezpieczenia płytowe

Stosuje się różnego rodzaju wyroby, od płyt z wełny mineralnej o gęstości 150 kg/m<sup>3</sup>, poprzez płyty gipsowo-kartonowe zbrojone rozproszonym włóknem szklanym o gęstości 800 kg/m<sup>3</sup>, po specjalne płyty sili-katowo-cementowe o zróżnicowanej gęstości (450-900 kg/m<sup>3</sup>) i współczynnika przewodzenia ciepła 0,08-0,20 W/(m·K).

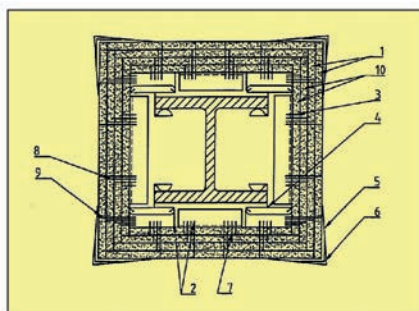
W niektórych technologiach płyty są klejone lub klejone mechanicznie. W innych wyłącznie mocowane mechanicznie.

Płyty gipsowo-kartonowe mocuje się do konstrukcji stalowej za pomocą profili zimnogiętych. Obecnie produkuje się specjalne płyty gipsowe, które można mocować w sposób pokazany na rys. 7, bez konieczności stosowania konstrukcji pośrednich.



**2x12.5 mm.**

1. Płyta gipsowo-kartonowa GKF o grubości 12.5 mm.
2. Kształtownik CD 60x28x0.6 mm.
3. Blachowkręty długości 25 mm.
4. Klamry-zatrzaski.
5. Gips szpachlowy.



**2x15 + 2x12.5 mm.**

6. Narożnik ochronny.
7. Blachowkręty długości 35 mm.
8. Blachowkręty długości 55 mm.
9. Blachowkręty długości 75 mm.
10. Płyta gipsowo-kartonowa GKF grubości 15 mm.

Rys. 12. Zabezpieczenia ogniochronne z płyt G-K

Przy wykonywaniu zabezpieczeń ogniochronnych konstrukcji stalowych należy przestrzegać następujących zaleceń:

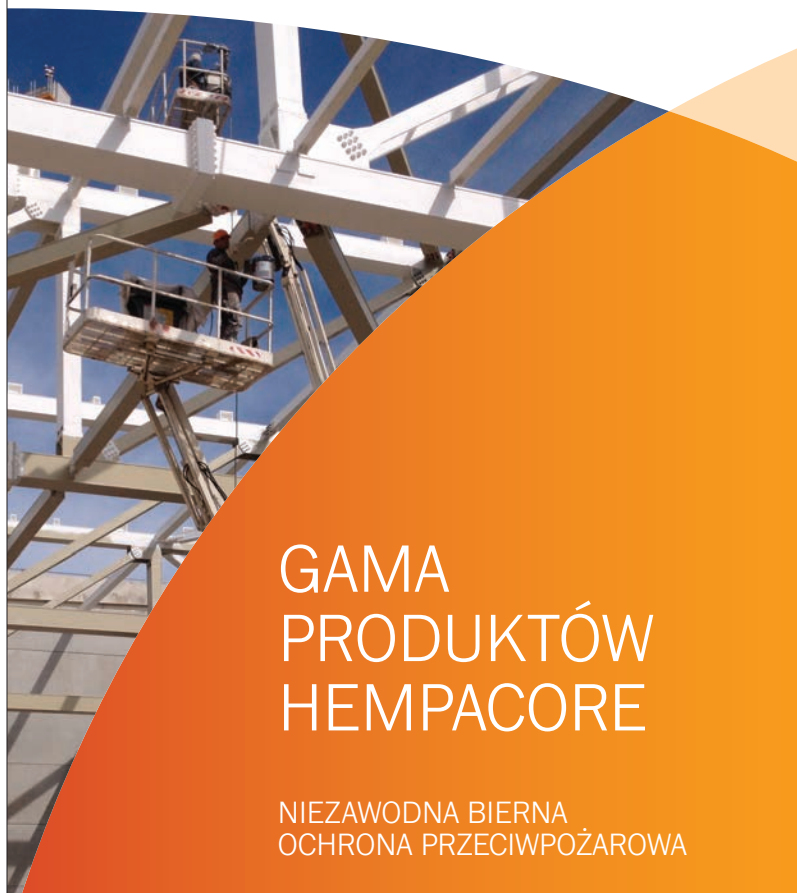
1. W przypadku wypełniania profili zamkniętych betonem należy w ściankach, u podstawy i przy głowicy słupa, wykonać otwory o powierzchni co najmniej po 3 cm<sup>2</sup>. Rozstaw otworów nie powinien być większy niż 5 m. Otwory te powinny przebiegać także przez izolację zewnętrzną.
2. W przypadku zastosowania ogniochronnych farb pęczniących instalacje i przewody wentylacyjne powinny przebiegać w odległości co najmniej 1,5 cm od profilu.
3. Przewody instalacyjne należy podwieszać w taki sposób, aby nie spoczywały na izolacji ogniochronnej.
4. Przed przystąpieniem do wykonywania zabezpieczeń ogniochronnych należy zamocować do konstrukcji łączniki, uchwyty itp. służące np. do montażu instalacji lub sufitów podwieszonych (w szczególności dotyczy to elementów mocowanych metodą spawania).

#### Literatura

Kosiorek M., Bezpieczeństwo pożarowe budynków. Rozdział 9. Budownictwo ogólne. Tom 2, Fizyka Budowli, Arkady 2005.  
 Laskowska Z., Stan graniczny nośności stalowych belek stropowych w warunkach pożaru. Rozprawa doktorska, ITB, Warszawa 2004.  
 PN-EN 1933-1-2, EUROKOD 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-2: Reguły ogólne – Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.

**Abstract** The article discusses the basic principles for the design of steel structures in fire conditions, the impact of the field of temperature on the fire resistance and methods of fire protection of steel structures.

**Key words:** Steel structures, general rules, fields of temperature, fire resistance, methods of fire protection.



## GAMA PRODUKTÓW HEMPACORE

### NIEZAWODNA BIERNĄ OCHRONA PRZECIWOPOŻAROWA

- Ochrona przeciwogniowa podczas pożaru celulozowego do 120 minut
- Wysoka efektywność
- Możliwość uzyskania wysokich grubości już przy jednej warstwie
- Doskonała trwałość
- Dostępność produktów rozcieńczalnikowych i wodorozcieńczalnych
- Dostępność szybkooschnącej wersji
- Zgodność z EN 13881-8 oraz BS 471
- Certyfikaty CE oraz CERTIFIRE

Firma Hempel dostarcza najwyższej klasy farby antykorozyjne dostosowane do potrzeb klientów oraz zapewnia profesjonalne doradztwo techniczne.

[www.hempel.pl](http://www.hempel.pl)