

Plan rozwoju: Podstawy projektowania pożarowego

Niniejszy dokument przedstawia wkład konstrukcyjnej analizy nośności pożarowej w całość problematyki bezpieczeństwa pożarowego. Przedstawiono proces wyznaczania konstrukcyjnej odporności pożarowej, włącznie z definicjami oddziaływań termicznych i mechanicznych, analizą przebiegu narastania temperatury w elementach konstrukcyjnych i analizą odpowiedzi mechanicznej.

Spis treści

1.	Cele bezpieczeństwa pożarowego	2
2.	Oddziaływania termiczne i odpowiedź termiczna	4
3.	Odpowiedź mechaniczna	6
4.	Podstawy teoretyczne	8

1. Cele bezpieczeństwa pożarowego

Ogólne cele bezpieczeństwa pożarowego to ograniczenie ryzyka strat będący wynikiem pożaru. Straty te mogą być określane w kategoriach śmierci lub zranienia osób, szkód finansowych z powodu zniszczenia nieruchomości, wyposażenia lub zniszczeń środowiskowych. Poziom bezpieczeństwa wymaganego odnośnie do konkretnego ryzyka pożaru jest wyszczególniony w przepisach krajowych, które są różne w różnych krajach członkowskich. Jednak te wszystkie przepisy krajowe mają na celu spełnienie tych samych podstawowych wymagań bezpieczeństwa pożarowego, które zdefiniowano w Dyrektywie 89/106/EEC ds. materiałów konstrukcyjnych, jak następuje.

„Prace budowlane muszą być zaprojektowane i wykonywane w taki sposób, by w razie wybuchu pożaru:

- Można przyjąć określony czas, w jakim będzie zapewniona nośność konstrukcji*
- Początek i rozprzestrzenianie się ognia i dymu na obszarze objętym pracami jest ograniczony*
- Rozprzestrzenianie się pożaru na sąsiadujące obszary robót budowlanych jest ograniczony*
- Osoby obecne na terenie budowy mogą ją opuścić samodzielnie lub być uratowane innymi sposobami*
- Uwzględniane jest bezpieczeństwo zespołu ratunkowego”*

Ogólnie, odpowiedni poziom bezpieczeństwa pożarowego w budynku będzie osiągnięty przez połączone użycie następujących środków bezpieczeństwa pożarowego:

- Systemu wykrywania i alarmowania, by umożliwić wczesne ostrzeżenie o wybuchu pożaru. ([SS063](#))
- Dróg ewakuacyjnych, w odpowiedniej liczbie i we właściwych miejscach, aby zapewnić szybką ewakuację. ([SS059](#))
- Systemy aktywnego zwalczania pożaru (to jest tryskacze i systemy kontroli zadymienia) ([SS063](#))
- Zastosowanie podziału na strefy pożarowe, by ograniczyć rozprzestrzenianie się ognia wewnątrz budynku ([SS060](#))
- Zapewnienie konstrukcyjnej odporności pożarowej, bez użycia lub z użyciem materiałów chroniących przed pożarem (patrz Tabela 1.1)
- Środki i drogi dostępu dla straży pożarnej. ([SS062](#))

Pomimo że konstrukcyjna odporność pożarowa sama w sobie nie może spełnić całości wymagań bezpieczeństwa pożarowego, to jest normalnie kluczowa część strategii bezpieczeństwa pożarowego dla budynku. Potencjalny wkład konstrukcyjnej odporności pożarowej do bezpieczeństwa pożarowego przedstawia Tabela 1.1.

Tabela 1.1 **Cele konstrukcyjnej analizy nośności pożarowej**

Cel	Wkład konstrukcyjnej analizy nośności pożarowej
Chronienie bezpieczeństwa użytkowników	<ul style="list-style-type: none"> - Utrzymywanie w stanie nienaruszonym obudowy strefy pożarowej <ul style="list-style-type: none"> - Zapobieganie wnikaniu ognia i dymu w przestrzeń dróg ewakuacyjnych - Utrzymanie stabilności konstrukcyjnej budynku przez sensowny i uzasadniony okres czasu
Umożliwienie straży pożarnej gaszenia pożaru w bezpiecznych warunkach	<ul style="list-style-type: none"> - Utrzymywanie w stanie nienaruszonym obudowy strefy pożarowej <ul style="list-style-type: none"> - Ograniczenie obszaru objętego pożarem poprzez zapobieżenie rozprzestrzeniania się pożaru na inne strefy pożarowe. - Zabezpieczenie bezpiecznych dróg dostępu strażakom - Utrzymanie stabilności konstrukcyjnej budynku przez sensowny i uzasadniony okres czasu
Zapobieganie rozprzestrzenianiu się ognia na inne posesje	<ul style="list-style-type: none"> - Utrzymywanie w stanie nienaruszonym obudowy budynku <ul style="list-style-type: none"> - Zapobieganie rozprzestrzenianiu się ognia na sąsiednie posesje - Utrzymanie stabilności konstrukcyjnej budynku przez sensowny i uzasadniony okres czasu

Przepisy urzędowe dotyczące konstrukcyjnej odporności pożarowej są generalnie wyrażane w kategoriach czasu, w którym konstrukcja poddana obciążeniom termicznym zdefiniowanym w postaci standardowych krzywych temperatura – czas⁽²⁾ musi zachować stabilność konstrukcyjną. Czas ten jest definiowany w przepisach krajowych, opartych o uświadomione ryzyko pożaru dla poszczególnych typów budynków.

Celem projektowania pod kątem konstrukcyjnej odporności pożarowej jest wykazanie, że elementy konstrukcyjne będą zachowywać się właściwie w sytuacjach pożarowych. Właściwości elementów konstrukcyjnych są zwykle oceniane w oparciu o zdolność do przeniesienia przyłożonych obciążeń, ale jeżeli element konstrukcyjny jest częścią granicy strefy pożarowej, muszą być spełnione kryteria izolacyjności i utrzymania elementu w stanie nienaruszonym; patrz [SS060](#).

Obliczenie właściwości pożarowych elementów konstrukcyjnych wymaga wykonania czterech głównych kroków, przedstawionych poniżej:

- Określenie oddziaływań termicznych, to jest intensywności pożaru, na jaki narażony będzie element konstrukcyjny
- Określenie odpowiedzi termicznej, to jest historii temperatura – czas elementu przy danym oddziaływaniu termicznym.
- Określenie oddziaływań mechanicznych, to jest obciążenia jakie element prawdopodobnie będzie musiał przenieść w czasie pożaru.
- Określenie odpowiedzi mechanicznej, to jest nośności elementu przy danej historii temperatura – czas.

2. Oddziaływania termiczne i odpowiedź termiczna

Rozważania dotyczące oddziaływań termicznych i odpowiedzi termicznej umożliwią projektantowi wyznaczenie temperatury elementu konstrukcyjnego. Wykorzystując znajomość tej temperatury projektant może wyznaczyć mechaniczne właściwości materiału konstrukcyjnego.

2.1 Oddziaływania termiczne

Oddziaływania termiczne są to warunki termiczne panujące otoczeniu elementów konstrukcyjnych, wywołane rozwojem pożaru. Natężenie oddziaływań termicznych będzie się zmieniać zależnie od zakresu możliwych scenariuszy pożarowych⁽²⁾ dla konkretnego budynku.

Wyznaczanie realistycznych scenariuszy pożarowych i powstających zgodnie z nimi oddziaływań termicznych to złożony proces, wymagający wiedzy na poziomie eksperta i użycia zaawansowanych modeli probabilistycznych i matematycznych. Dlatego też dla celów projektowych oddziaływania termiczne są zwykle uproszczone do krzywych temperatura – czas przedstawiających narastanie temperatury gazu w atmosferze otaczającej element konstrukcyjny.

2.1.1 Nominalne krzywe temperatura-czas:

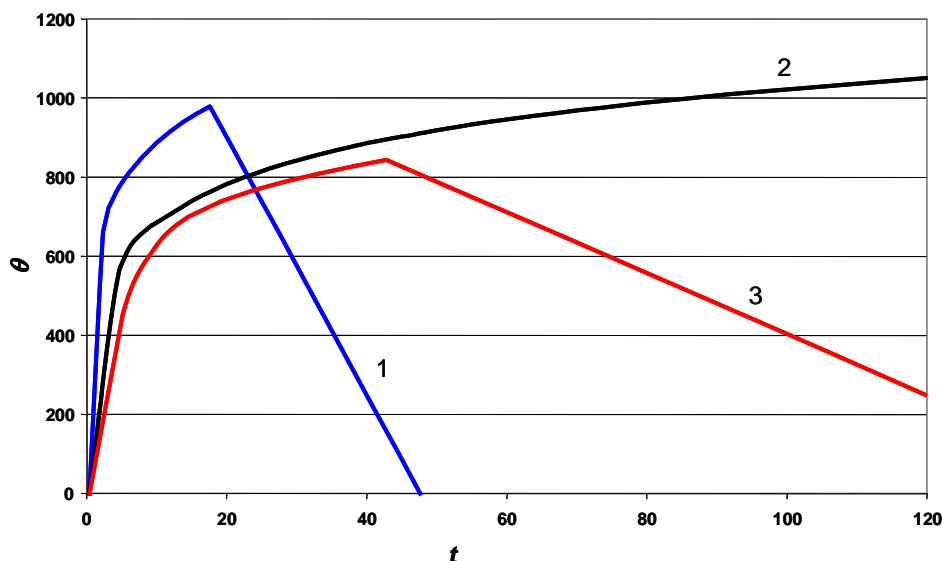
[EN 1991-1-2 §3.2](#) proponuje trzy różne krzywe przedstawiające zmiany temperatury gorących gazów wokół elementu konstrukcyjnego. Najczęściej używane w projektowaniu budowlanych i w przepisach nakazowych są standardowe krzywe temperatura-czas. Krzywe te są krzywymi referencyjnymi, i nie przedstawiają rzeczywistych oddziaływań termicznych rzeczywistych pożarów; nie biorą pod uwagę rzeczywistych właściwości stref pożarowych wpływających na rozwój pożaru i przyjmując jedynie wzrost temperatury, bez wzięcia pod uwagę zanikania obciążenia pożarowego.

2.1.2 Uprozczone modele pożarowe:

Uprozczone modele pożarowe definiują narastanie temperatury gazów i przepływów ciepła w oparciu o dostępne obciążenia pożarowe i o znajomość fizycznych charakterystyk strefy pożarowej, wpływających na rozwój pożaru (to jest warunki wentylacji, izolacja termiczna, rodzaj obudowy strefy pożarowej). Modele te ciągle dają jedynie wyidealizowane wartości oddziaływań termicznych, ale są bardziej zbliżone do rzeczywistości niż nominalne krzywe temperatura-czas. [EN 1991-1-2 §3.3](#) podaje wskazówki dotyczące następujących uproszczonych modeli pożarowych:

- Parametryczne krzywe dla pożarów na etapie rozgorzenia wewnątrz stref pożarowych
- Model pożaru lokalnego

Rys. 2.1 przedstawia porównanie pomiędzy standardową krzywą pożarową a dwuparametrową krzywą pożarową.



Opis: 1 parametryczna krzywa pożarowa – 10% otworów
 θ : temperatura (°C) 2 Standardowa krzywa pożarowa
 t : czas (minuty) 3 Parametryczna krzywa pożarowa – 5 % otworów

Rys. 2.1 Porównanie zmian temperatury przy krzywych standardowych i naturalnych

2.1.3 Zaawansowane modele pożarowe

Zaawansowane modele pożarowe dają bliższą rzeczywistości definicję oddziaływań termicznych, uwzględniają charakterystykę fizyczną strefy pożarowej. Aby w pełni wykorzystać zaawansowany model pożarowy, wymagana jest ocena ryzyka pożarowego, by określić odpowiednie projektowe scenariusze pożarowe i powiązane z nimi pożary projektowe.

Po identyfikacji właściwych pożarów projektowych można określić oddziaływania termiczne wykorzystując jeden z następujących zaawansowanych modeli pożarowych.

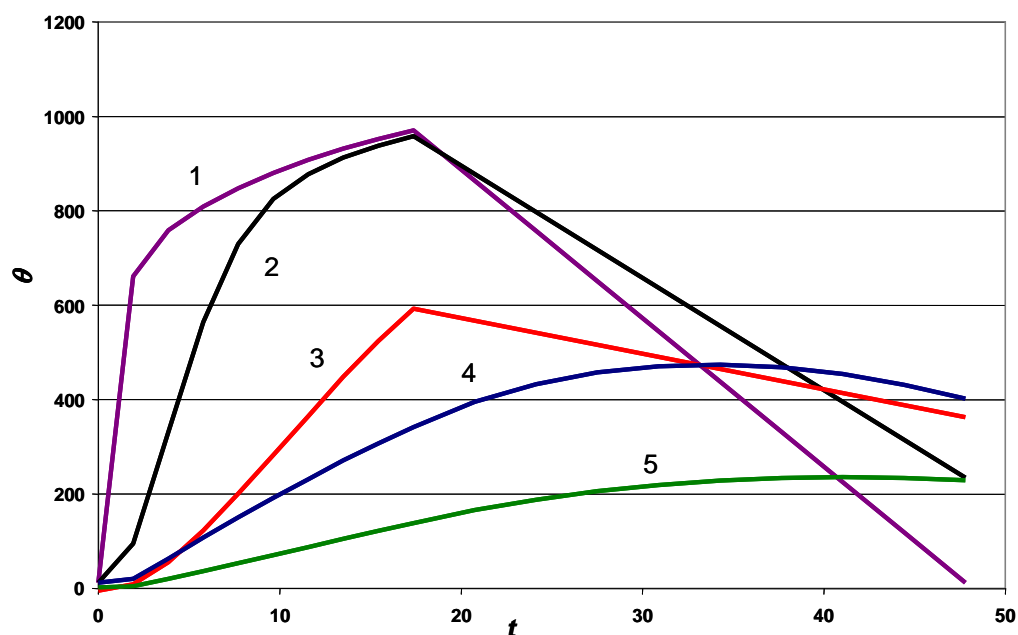
- Model jednostrefowy, przyjmujący równomierny, zależny od czasu rozkład temperatury w strefie pożarowej.
- Model dwustrefowy, składający się z warstwy wyższej o grubości zależnej od czasu i równomiernej temperaturze zależnej od czasu, oraz warstwy niższej o równomiernej temperaturze zależnej od czasu.
- Modele numerycznej mechaniki płynów dające rozkład temperatur w zależności od czasu i położenia w przestrzeni strefy pożarowej.

2.2 Odpowiedź termiczna (przepływ ciepła)

Przewodnictwo cieplne stali jest wysokie, dając w rezultacie szybkie rozprzestrzenianie się ciepła wewnątrz przekroju. W przypadkach braku dodatkowej izolacji i równomiernego nagrzewania (na przykład słupy nagrzewane z czterech stron), wystarczająco dokładne jest przyjęcie stałej temperatury w całym przekroju. W przeciwnym wypadku (na przykład belki podpierające płyty stropowe i nagrzewane tylko z trzech stron), oczekuje się zmiennych temperatur wewnątrz przekroju.

Materiały stosowane jako zabezpieczenie pasywne zapewniają izolację konstrukcji stalowej z powodu ich niskiej przewodności. Obudowa stworzona przez takie materiały izoluje kształtownik stalowy od oddziaływań termicznych, spowalniając wzrost temperatury w stali.

[PN-EN 1993-1-2 § 4.2.5](#) daje dwa wyrażenia umożliwiające obliczenie wzrostu temperatury w kształtownikach stalowych, w konstrukcjach stalowych bez zabezpieczeń albo zabezpieczonych, na bazie stałej temperatury. Oba wyrażenia zależne są od wskaźnika ekspozycji przekroju (powierzchnia przekroju elementu $[m^2]$ / objętość elementu o jednostkowej długości $[m^3]$). Jest to widoczne na Rys. 2.1, przedstawiającym wzrost temperatury różnych elementów stalowych o różnych wskaźnikach ekspozycji przekroju.



Opis:

θ temperatura ($^{\circ}C$)

t czas (minuty)

1 Oddziaływanie termiczne – krzywa parametryczna 10% otworów (krzywa pożarowa numer 1, Rys. 2.1)

2 Nagrzewanie HE 300 AA bez zabezpieczeń (wskaźnik ekspozycji przekroju $192 m^{-1}$)

3 Nagrzewanie HE 300 M bez zabezpieczeń (wskaźnik ekspozycji przekroju $60 m^{-1}$)

4 Nagrzewanie HE 300 AA zabezpieczonego przy pomocy 10 mm wermikulitu

5 Nagrzewanie HE 300 M zabezpieczonego przy pomocy 10 mm wermikulitu

Rys. 2.2 *Zmiany temperatury w słupach z HE 300 AA i z HE 300 M bez zabezpieczenia i zabezpieczonych wermikulitem, poddanych oddziaływaniu termicznemu według krzywej 1 Rys. 2.1*

3. Odpowiedź mechaniczna

3.1 Oddziaływania mechaniczne

Stabilność konstrukcyjna musi być sprawdzona w warunkach pożarowych uwzględniając właściwe dla sytuacji wyjątkowych kombinacje obciążeń, które różnią się od kombinacji obciążeń uwzględnianych w obliczeniach stanu granicznego nośności w warunkach normalnych, patrz [PN-EN1990 §A.1.3.2](#). Uwzględniają one prawdopodobieństwo że po wybuchu pożaru pewne obciążenia zmienne zmniejszają się lub zanikają, (na przykład obciążenie ciężarem ludzi w czasie ewakuacji budynku).

3.2 Metody sprawdzania

Zgodnie z [PN-EN1991-1-2 §2.5](#) nośność elementów konstrukcyjnych w warunkach pożarowych powinna być sprawdzana uwzględniając stosowny czas narażenia na oddziaływanie termiczne t , w następujący sposób:

W kategoriach czasu:

$$t_{fi,d} \geq t_{fi,requ}$$

W kategoriach nośności:

$$R_{d,fi,t} \geq E_{d,fi,t}$$

W kategoriach temperatury:

$$\theta_d \leq \theta_{cr,d}$$

$t_{fi,d}$ obliczeniowa wartość odporności pożarowej

$t_{fi,requ}$ wymagany czas odporności pożarowej

$E_{d,fi,t}$ obliczeniowa wartość efektów oddziaływań w sytuacji pożarowej w czasie t .

$R_{d,fi,t}$ obliczeniowa wartość nośności elementu w sytuacji pożarowej w czasie t .

θ_d obliczeniowa wartość temperatury elementu

$\theta_{cr,d}$ obliczeniowa wartość temperatury krytycznej elementu

EN 1993-1-2 and EN 1994-1-2 podaje trzy metody sprawdzania:

- Analiza elementu (na przykład belka, słup)
- Analiza fragmentów konstrukcji (na przykład rama): warunki podparcia fragmentu konstrukcji muszą uwzględniać oddziaływanie pozostałej części konstrukcji. Należy uwzględnić oddziaływania wyjątkowe wynikające z odkształceń termicznych wewnątrz analizowanej części konstrukcji. Uwzględnione powinny zostać wszystkie możliwe formy zniszczenia.
- Globalna analiza konstrukcyjna: ten typ analizy bierze pod uwagę całościowo oddziaływania wyjątkowe dla całej konstrukcji. W analizie rozważa się wszystkie możliwe formy zniszczenia.

3.3 Modele obliczeniowe

EN 1993-1-2 and EN 1994-1-2 pozwala na stosowanie następujących modeli obliczeniowych:

- Metoda tabelaryczna oparta o rezultaty badań doświadczalnych. Model ten można stosować wyłącznie przy analizie przekrojów zespolonych według [PN-EN 1994-1-2 § 4.2](#).
- Proste model obliczeniowe:

W przypadku przekrojów stalowych wykorzystują one założenie stałej temperatury wewnątrz kształtownika.. Jeden ze sposobów to obliczenia w kategoriach temperatury.

Sposób ten wykorzystuje kryterium temperatury krytycznej, temperatury powyżej której nośność elementu konstrukcyjnego staje się mniejsza niż obciążenia. W przypadku nierównomiernego rozkładu temperatury, wprowadzono pewne modyfikacje. Mamy dwa modele:

- Model umożliwiający sprawdzanie w kategoriach nośności: opiera się on wzory na sprawdzanie nośności w każdej temperaturze przekroju ([PN-EN 1993-1-2 §4.2.3](#)).
- Model umożliwiający sprawdzanie w kategoriach temperatury: ograniczony jest do elementów nie narażonych na zwichrzenie i do słupów krępych ([PN-EN 1993-1-2 §4.2.4](#)).

W przypadku przekrojów zespolonych, kilka modeli dla różnych konfiguracji elementów zespolonych (płyty, belki, słupy) przedstawiono w [PN-EN 1994-1-2 §4.3](#).

- Zaawansowane metody obliczeń mogą być zgodnie z [PN-EN 1993-1-2 §4.3](#) i [PN-EN 1994-1-2 §4.4](#) stosowane, ale podane są wyłącznie ogólne zalecenia do ich stosowania.

4. Podstawy teoretyczne

Reguły i zasady prezentowane w tym dokumencie opierają się o:

- (1) EN 1990 Eurocode: Basis of structural design. CEN.
- (2) EN 1991-1-2 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire. CEN.
- (3) EN 1993-1-2 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design. CEN.
- (4) EN 1994-1-2 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-2: General rules - Structural fire design. CEN.

Protokół jakości

TYTUŁ ZASOBU	Plan rozwoju: Podstawy projektowania pożarowego		
Odniesienie			
DOKUMENT ORYGINALNY			
	Imię i nazwisko	Instytucja	Data
Stworzony przez	J. Unanua	LABEIN	
Zawartość techniczna sprawdzona przez	J. A. Chica	LABEIN	
Zawartość redakcyjna sprawdzona przez			
Zawartość techniczna zaaprobowana przez:			
1. WIELKA BRYTANIA	G W Owens	SCI	9/6/06
2. Francja	A Bureau	CTICM	9/6/06
3. Szwecja	B Uppfeldt	SBI	9/6/06
4. Niemcy	C Müller	RWTH	9/6/06
5. Hiszpania	J Chica	Labein	9/6/06
6. Luksemburg	M Haller	Luksemburg	9/6/06
Zasób zatwierdzony przez Koordynatora Technicznego	G W Owens	SCI	14/7/06
TŁUMACZENIE DOKUMENTU			
Tłumaczenie wykonał i sprawdził:		B. Stankiewicz, PRz	
Tłumaczenie zatwierdzone przez:	B. Stankiewicz	PRz	

Informacje ramowe

Tytuł*	Plan rozwoju: Podstawy projektowania pożarowego	
Seria		
Opis*	Niniejszy dokument przedstawia wkład konstrukcyjnej analizy nośności pożarowej w całość problematyki bezpieczeństwa pożarowego. Przedstawiono proces wyznaczania konstrukcyjnej odporności pożarowej, włącznie z definicjami oddziaływań termicznych i mechanicznych, analizą przebiegu narastania temperatury w elementach konstrukcyjnych i analizą odpowiedzi mechanicznej.	
Poziom dostępu*	Umiejętności specjalistyczne	Profesjonalista
Identyfikator*	Nazwa pliku	D:\ACCESS_STEEL_PL\SS\SS058a-PL-EU.doc
Format	Microsoft Office Word; 11 Pages; 214kb;	
Kategoria*	Typ zasobu	Plan rozwoju
	Punkt widzenia	Architekt, Inżynier
Temat*	Obszar stosowania	Projektowanie z uwzględnieniem bezpieczeństwa pożarowego
Daty	Data utworzenia	12/09/2009
	Data ostatniej modyfikacji	
	Data sprawdzenia	
	Ważny od	
	Ważny do	
Język(i)*	Polski	
Kontakt	Autor	J. Unanua, LABEIN
	Sprawdził	J. A. Chica, LABEIN
	Zatwierdził	
	Redaktor	
	Ostatnia modyfikacja	
Słowa kluczowe*	Konstrukcyjna odporność pożarowa, odpowiedź termiczna, odpowiedź mechaniczna, oddziaływania termiczne, oddziaływania mechaniczne	
Zobacz też	Odniesienie do Eurokodu	PN-EN1990, PN-EN1991-1-2, PN-EN1993-1-2, PN-EN 1994-1-2
	Przykład(y) obliczeniowy	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	<i>Inne</i>	

Stosowanie	Przydatność krajowa	EU
Instrukcje szczególne		