

Szkoła Główna
Służby Pożarniczej

Scenariusze rozwoju pożaru na potrzeby analizy nośności konstrukcji

Szkoła Główna Służby Pożarniczej


st. bryg. dr hab. inż. Adam Krasuski, prof. ucz.
st. kpt. mgr inż. Andrzej Krauze

Kościelisko, 2022 r.



Szkoła Główna
Służby Pożarniczej

Wprowadzenie


Standardy projektowe:

 **POLSKA NORMA**
ICS 13.220.50; 91.010.30
PN-EN 1991-1-2
kwiecień 2008
Wprowadza
EN 1991-1-2:2005, CEN
Zastępuje
PN-EN 1991-1-2:2005 (U)

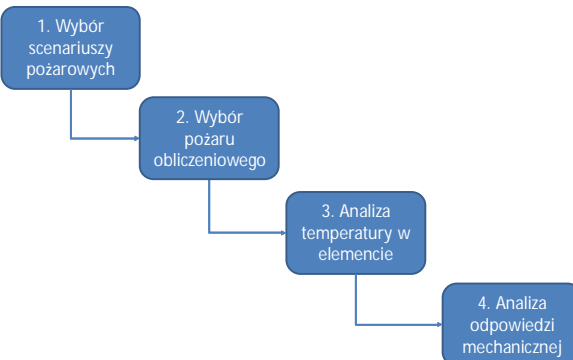
**Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje
Część 1-2: Oddziaływania ogólne
Oddziaływania na konstrukcje w warunkach
pożaru**


 **POLSKA NORMA**
ICS 13.220.50; 91.010.30; 91.080.10
PN-EN 1993-1-2
kwiecień 2007
Wprowadza
EN 1993-1-2:2005 + AC:2006, CEN
Zastępuje
PN-EN 1993-1-2:2005 (U)

**Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych
Część 1-2: Reguły ogólne – Obliczanie konstrukcji
z uwagi na warunki pożarowe**

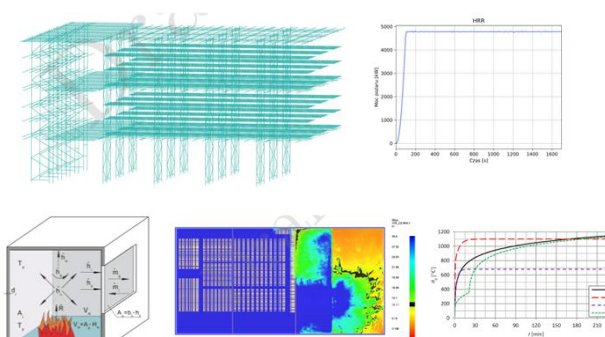

Szkoła Główna
Służby Pożarniczej


Schemat obliczeniowy




Szkoła Główna
Służby Pożarniczej

1. Scenariusz pożarowy




Szkoła Główna
Służby Pożarniczej

2. Pożar obliczeniowy

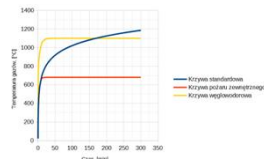
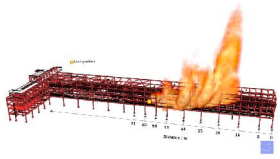
Procedury projektowania


Reguły tradycyjne

Oddziaływanie termiczne pochodzące od pożaru nominalnego

Zasady ustalone na podstawie właściwości użytkowych

Oddziaływanie termiczne ustalone na przesłankach o podłożu fizycznym


Szkoła Główna
Służby Pożarniczej

2. Pożar obliczeniowy

Nominalne krzywe temperatura-czas

Krzywa standardowa

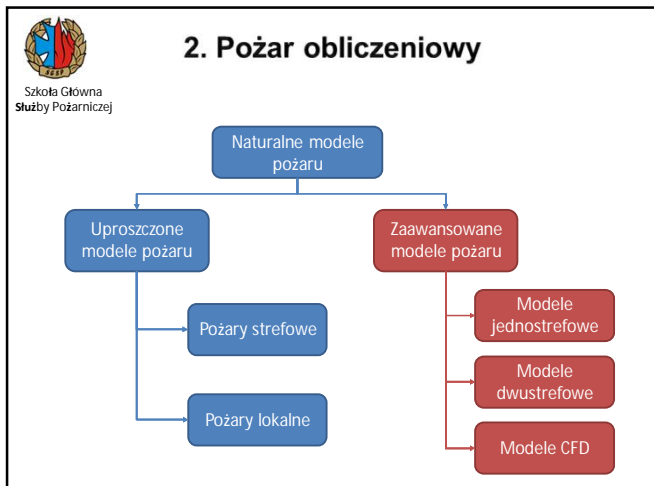
$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1)$$

Krzywa pożaru zewnętrznego

$$\theta_g = 20 + 660 \left(1 - 0.687e^{-0.32t} - 0.313e^{-3.8t} \right)$$

Krzywa węglowodorowa

$$\theta_g = 20 + 1080 \left(1 - 0.325e^{-0.167t} - 0.675e^{-2.5t} \right)$$



Oddziaływanie termiczne

1. Wybór scenariuszy pożarowych
2. Wybór pożaru obliczeniowego

Konwekcja Promieniowanie

$$\dot{h}_{net} = \alpha_c (\theta_g - \theta_m) + \Phi \epsilon_m \epsilon_r \sigma \left[(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right]$$

α_c – współczynnik przejmowania ciepła przez konwekcję [W/m²K]
 θ_g – temperatura gazu w otoczeniu elementu poddawane działaniu pożaru [°C]
 θ_m – temperaturą powierzchni elementu [°C]
 Φ – współczynnik konfiguracji
 ϵ_m – emisyjność powierzchni elementu
 ϵ_r – emisyjność ognia
 σ – stała Stefana Boltzmanna (= 5, 67 · 10⁻⁸ W/m² K⁴)
 θ_r – efektywna temperatura promieniowania środowiska pożaru [°C]

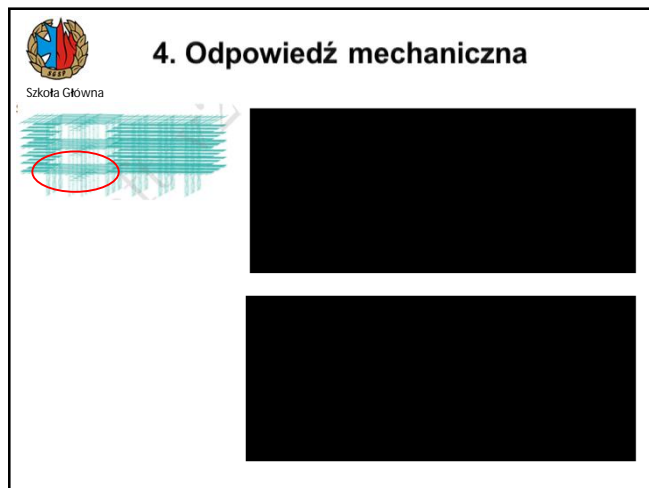
3. Analiza temperatury w elemencie

$$\Delta\theta_{d,t} = k_{sh} \frac{A_m / V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net,d,t} \Delta t \text{ [°C]}$$

$\frac{\text{obwód}}{\text{pole przekroju}}$

k_{sh} – współczynnik poprawkowy uwzględniający efekt zacienienia, patrz (2);
 A_m / V – wskaźnik ekspozycji przekroju elementów nieosłoniętych [1/m];
 A_m – pole powierzchni elementu na jednostkę długości [m²/m];
 V – objętość elementu na jednostkę długości [m³/m];
 c_a – ciepło właściwe stali według Rozdziału 3 [J/kgK];
 Δt – przedział czasu [sekundy];
 ρ_a – gęstość masy stali według Rozdziału 3 [kg/m³].

Ciepło właściwe [kJ/kg K]



1. Scenariusz pożarowy

PN-EN-1991-1-2

(1) Podane niżej krzywe temperatura-czas są ważne dla stref pożarowych o powierzchni podłogi do 500 m², bez otworów w dachu i dla maksymalnej wysokości strefy 4 m. Przyjmuje się, że obciążenie ogniowe strefy podlega całkowitemu spalaniu.

Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes

Für Bauteile im Deckenbereich wie z. B. Unterzüge ist i. d. R. die Heißgastemperatur bemessungsrelevant. In größeren Räumen (> 400 m²) ist die lokale Beanspruchung im Plume-Bereich zu berücksichtigen. Für Stützen ist in der Brandanfängsphase die Plume-Temperatur bzw. Flammentemperatur im Bereich des Brandherdes maßgebend. In größeren Räumen (> 400 m²) wird die Heißgastemperatur für die Bemessung von Stützen und Trägern maßgebend, sobald die Brandlast im Bereich der Stützen abgebrannt ist.

Bei sehr großen und/oder hohen Räumen - wie bei großen Industriehallen und Atrien - ist die mittlere Heißgastemperatur im Deckenbereich nicht bemessungsrelevant für die Standsicherheit und den Raumschluss der Bauteile im brandnahen Bereich. Hierfür müssen lokale Temperaturen und Strahlungseinwirkungen (z. B. aus einer Plume-Berechnung oder CFD-Simulation) verwendet werden.

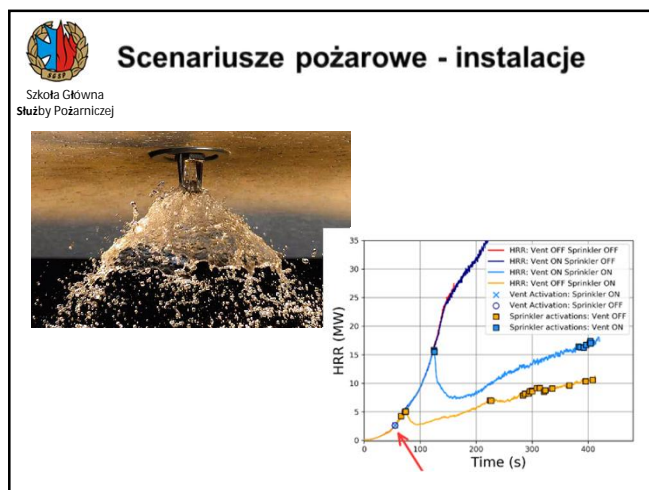
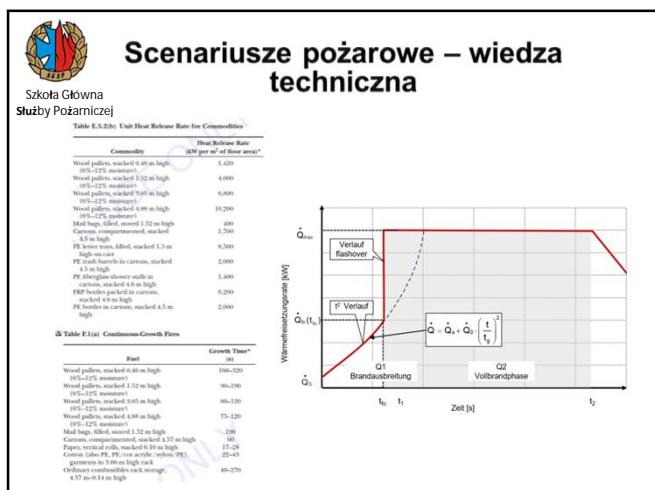
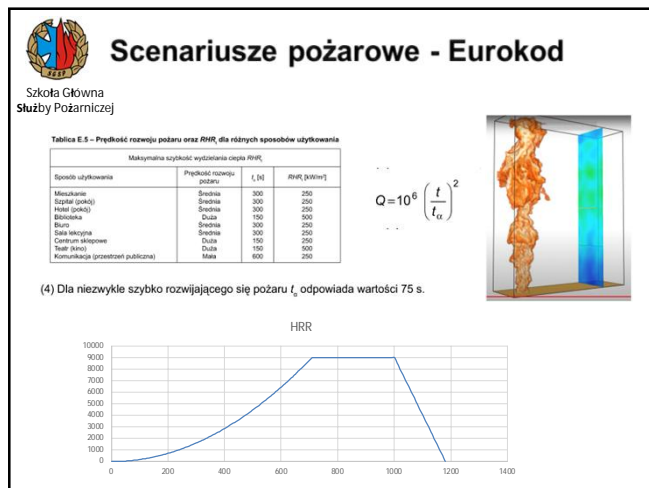
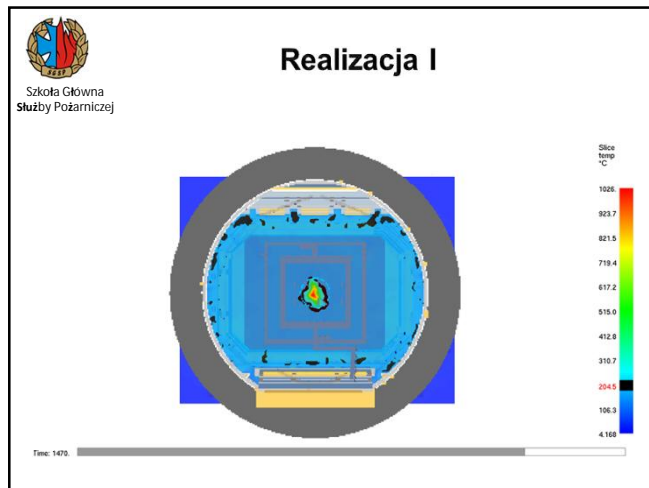
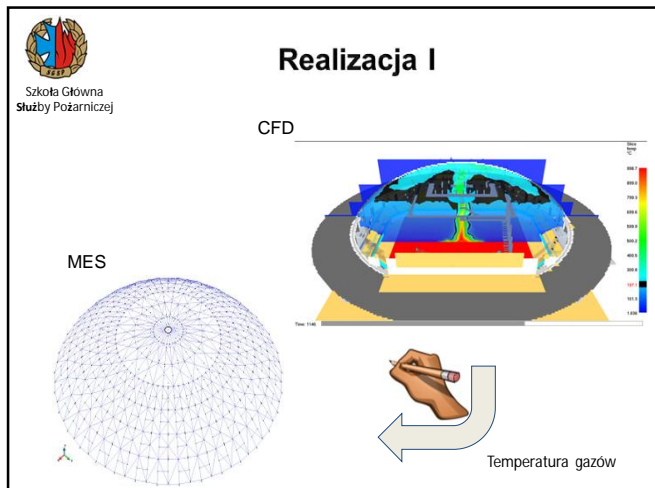
Ograniczenia

Załącznik krajowy NB
(informacyjny)

Postanowienia krajowe dotyczące oddziaływań na konstrukcje w warunkach pożaru

NB.1 – dotyczy punktu: 2.4 (4). Zaleca się, przy analizie temperatury w elemencie, stosowanie przedziałów czasu podanych w polskich przepisach techniczno-budowlanych, wykorzystując nominalną krzywą temperatura-czas, jeżeli w polskich przepisach techniczno-budowlanych nie zostaną wprowadzone inne postanowienia.

NB.2 – dotyczy punktu: 3.1. (10) Zaleca się, przy przyjmowaniu temperatury gazów θ_g , stosowanie nominalnych krzywych temperatura-czas zgodnie z 3.2 lub zaawansowanych naturalnych modeli pożaru opartych na modelach numerycznej mechaniki płynów zgodnie z 3.3.2. (2).



Scenariusze pożarowe - instalacje

Szkoła Główna
Służby Pożarniczej

Four graphs showing fire scenarios for a single section and a section during analysis time. The top-left graph shows heat flux (kW/m²) vs. time (s) for a single section. The top-right graph shows heat flux (kW/m²) vs. time (s) for a section during analysis time. The bottom-left graph shows heat flux (kW/m²) vs. time (s) for a single section. The bottom-right graph shows heat flux (kW/m²) vs. time (s) for a section during analysis time.

Scenariusze pożarowe - instalacje

Szkoła Główna
Służby Pożarniczej

Tabela 10. Prawdopodobieństwo zainicjowania pożaru w różnych rodzajach obiektów

Typ obiektu	Prawdopodobieństwo [1/rok]
Obiekt przemysłowy	$9 \cdot 10^{-3}$
Biura	$4 \cdot 10^{-3}$
Salę widowiskowe	$7 \cdot 10^{-3}$
Szpital	$2,6 \cdot 10^{-2}$
Szkoła	$1,4 \cdot 10^{-3}$
Obiekt mieszkalny	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Instalacje obiektów zamieszkania zbiorowego	$4,6 \cdot 10^{-2}$
Obiekt użyteczności publicznej	$1,8 \cdot 10^{-2}$

- wylączona instalacja – 62%;
- ręczna interwencja uszkodziła system – 16%;
- uszkodzenie elementów instalacji tryskaczowej – 7%;
- brak przeglądów – 5%;
- nieodpowiednie dobranie systemu do typu pożarów – 9%.

Analiza ryzyka

Szkoła Główna
Służby Pożarniczej

Risk analysis tree diagram showing various fire scenarios and their consequences. The tree starts with a root node 'TAK' and branches into 'TAK' and 'NIE' nodes, leading to different fire scenarios and their consequences.

Analiza ryzyka

Szkoła Główna
Służby Pożarniczej

Zdarzenie	Częstotliwość [1/rok]	DCBE	WCBE	DCBE+WCBE?	Skutki
ZD 3	$9,09 \cdot 10^{-3}$	>300	250	NIE	pojemnik
ZD 4	0,0	<250	<250	TAK	wysokie
ZD 7	$1,25 \cdot 10^{-5}$	>300	250	NIE	pojemnik
ZD 8	0,0	<250	<250	TAK	wysokie
ZD 11	$1,60 \cdot 10^{-5}$	>300	250	NIE	pojemnik
ZD 12	$9,33 \cdot 10^{-7}$	<250	250	TAK	wysokie

P	$\leq 10^{-6}$	$10^{-6} - 10^{-4}$	$10^{-4} - 10^{-2}$	$> 10^{-2}$
S	1	2	3	4
H _{gh}	7	4	1	
M _{edium}	10	8	5	2
L _{ow}		9	6	3
N _{egligible}	11	12		

RYZYKO
 wysokie średnie niskie nieistotne

Połączenia, węzły

Szkoła Główna
Służby Pożarniczej

Można przyjąć, że odporność ogniowa węzła na śruby lub spawanego jest wystarczająca, jeśli spełnione są następujące warunki:

- Odporność termiczna izolacji jest co najmniej równa minimalnej wartości odporności termicznej łączonych elementów.
- Wskaźnik wykorzystania nośności węzła jest co najmniej równy maksymalnej wartości wskaźników łączonych elementów.
- Nośność węzła wyznacza się zgodnie PN EN 1993-1-8.

Czas trwania analizy

Szkoła Główna
Służby Pożarniczej

(4) W zależności od pożaru obliczeniowego, ustalonego w rozdziale 3, zaleca się stosowanie następujących procedur:

- wykorzystując nominalną krzywą temperatura-czas, przeprowadza się analizę temperatury w elementach konstrukcyjnych w określonym przedziale czasu, z pominięciem fazy studzenia.

UWAGA 1 Określony przedział czasu może być podany w przepisach krajowych lub ustalony na podstawie załącznika F, po ustaleniu w załączniku krajowym.

- wykorzystując model pożaru, dokonuje się analizy temperatury elementów konstrukcyjnych dla pełnego czasu trwania pożaru, łącznie z fazą studzenia.



Szkoła Główna
Służby Pożarniczej

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

Adam Krasuski akrasuski@sgsp.edu.pl
Andrzej Krauze akrauze@sgsp.edu.pl