

SZKOLENIE DLA RZECZOSNAWCÓW DO SPRAW ZABEZPIECZEŃ PRZECIWPOŻAROWYCH

Ochrona przeciwpożarowa budynków -wybrane problemy dotyczące bezpieczeństwa pożarowego budynków produkcyjno-magazynowych oraz wykorzystanie narzędzi inżynierii bezpieczeństwa pożarowego przy projektowaniu rozwiązań ponadstandardowych

**Gęstość obciążenia ogniowego - kluczowy parametr w projektowaniu. Dostępne metody obliczania.
Konsekwencje dla procesu projektowania i użytkowania budynku.**

- Rzeczoznawca ds. Zabezpieczeń Przeciwpożarowych
- Rzeczoznawca Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Pożarnictwa
- Członek Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Pożarnictwa, Członek Stowarzyszenia Inżynierów Bezpieczeństwa Pożarowego (SFPE - The Society of Fire Protection Engineers - Oddział Polska)
- Biegły Sądowy z Zakresu Pożarnictwa
- b. Wykładowca Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach
- **bryg w st. spocz. mgr inż. Ryszard Stępkowski**

ExpErt Biuro Techniczne Ochrony Przeciwpożarowej
Rok założenia 1995 25-363 Kielce, ul. Wesola 51 lok. 614 VI p
tel. 509-339-019; fax 41/34-70-144; e-mail: expertpoz@op.pl
www.pozarnictwo.com.pl

**Centrum Konferencyjne
Targi Kielce S.A. ul. Zakładowa 1**

**Organizator: Ośrodek Szkolenia
Komendy Wojewódzkiej PSP w
Kielcach**

Kielce 8.06.2018r.

Gęstość obciążenia ogniowego

Informacje wstępne

Obciążenie ogniowe strefy pożarowej Q [MJ] należy interpretować jako ilościową miarę energii, która przy nagromadzeniu w tej strefie materiałów palnych, będących potencjalnym paliwem, uwolni się w czasie trwania pożaru (maximum energii powstanie w punkcie „flasch over”).

Po uwzględnieniu współczynnika otworów pomieszczenia w $[m^{0,5}]$ – wymiana gazów z otoczeniem – wentylacja - Q_d decyduje o przebiegu pożaru, albo inaczej o szybkości uwalniania ciepła **HRR (heat release rate)** co przekłada się na efektywną intensywność spalania.

Wartość tej energii może służyć do szacowania zmieniającego się podczas pożaru poziomu bezpieczeństwa użytkowników tylko po jednoznacznym określeniu sposobu rozmieszczenia w niej materiałów palnych.

Przy szacowaniu Q_d → należy ustalić, czy są one rozłożone w sposób równomierny na całej powierzchni, czy raczej pogrupowane lokalnie generując maksima mocy pożaru znacznie odbiegające od średniego poziomu odniesienia.

Z tego powodu wartość obciążenia ogniowego najlepiej wyrażać w odniesieniu do powierzchni podłogi (*floor*) analizowanej strefy pożarowej A_f [m²], **określając gęstość obciążenia ogniowego q_f [MJ/m²]** – oznaczenie wg PN-EN zgodnie z zależnością

$$q_f = Q / A_f$$

Gęstość obciążenia ogniowego

Informacje wstępne

Gęstość obciążenia ogniowego q_f wg Eurokodu trzeba w sensie ilościowym odróżniać od gęstości q_t [MJ/m²] odniesionej do powierzchni wszystkich przegród (*total*) ograniczających strefę pożarową A_t [m²] (to znaczy zarówno podłogi, stropu i ścian). Obie wielkości w literaturze przedmiotu stosowane są wymiennie, niemniej jednak zawsze zachodzi relacja

$$q_f = q_t \left(\frac{A_t}{A_f} \right) \text{ przy czym } q_t = \frac{Q}{A_t} = \frac{Q}{2A_f + HC}$$

gdzie H i C są odpowiednio wysokością i obwodem strefy pożarowej; A_f - pow. podłogi strefy pożarowej; A_t – pow. podłogi, ścian i stropów z uwzględnieniem otworów.

Sposoby określania Q_d wg Eurokodu

Są co najmniej dwa jakościowo różne sposoby ustalania wartości gęstości obciążenia ogniowego:

- pierwszy opiera się na wykonaniu szczegółowej inwentaryzacji materiałów palnych w analizowanej strefie i wyznaczeniu wartości nominalnej q_{fn} (**na podstawie pomiarów i inwentaryzacji materiałów palnych**),
- drugi polega na wykorzystaniu statystycznych wartości charakterystycznych gęstości obciążenia ogniowego q_{fk} reprezentatywnych populacji stref pożarowych o podobnym sposobie użytkowania np. z literatury i norm (w Eurokodzie wskazano to w tabeli E.4).

Gęstość obciążenia ogniowego

Informacje wstępne

Zgodnie z normą PN-B-02852:2001 [1], a także z załącznikiem E do normy PN-EN 1991-1-2 [2], w celu oszacowania wartości obciążenia ogniowego Q_d należy zinwentaryzować zgromadzone w rozpatrywanym pomieszczeniu (ściślej – w strefie pożarowej) materiały palne, dla każdego z nich podać:

- masę G lub m_i [kg] oraz przypisać im efektywne ciepło spalania
- q_c lub $H_{u,eff,i}$ [MJ/kg] (*effective calorific value*). Q_d szacujemy wg

$$Q_{fi,k} = \sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot \Psi_i = \sum Q_{fi,k,i} \quad [\text{MJ}]$$

gdzie:

$M_{k,i}$ ilość materiałów palnych [kg], zgodnie z (3) i (4)

H_{ui} wartość ciepła spalania netto [MJ/kg], patrz (E.2.4)

$[\Psi_i]$ współczynnik opcjonalny uwzględniający zabezpieczone obciążenia ogniowe.

- wg Eurokodu

$$Q_d = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (Q_{ci} \times G_i)}{F} \quad [\text{MJ/m}^2] \quad - \text{ wg PN}$$

Gęstość obciążenia ogniowego

Informacje wstępne

Do podstawowych sposobów inwentaryzacji materiałów palnych dla rozpatrywanej strefy pożarowej wg Eurocodu należą:

- Metoda bezpośredniego ważenia (*direct weighing method*) – zgodnie z którą masy zidentyfikowanych materiałów palnych ustala się poprzez proste zważenie, a następnie przypisuje im odpowiednie wartości ciepła spalania,
- Metoda inwentaryzacji pośredniej (*inventory method*) – w tej metodzie poszukiwane wartości masy określa się, dokonując pomiaru objętości rozmaitych przedmiotów zawierających materiały palne, a następnie dobiera się dla nich miarodajną gęstość, co pozwala na oszacowanie masy, a w dalszej kolejności następuje przypisanie poszczególnych wartości ciepła spalania,
- Metoda kwestionariusza (*questionnaire method*) – zidentyfikowane materiały palne oraz wartość ich masy ustala się na podstawie danych zestawionych w kwestionariuszu dostarczonym do specjalisty
- metoda analizy fotograficznej (*real estate website review*) – szacowanie rodzajów materiałów palnych oraz ich masy odbywa się na podstawie dostarczonych zdjęć lub filmów ze strefy pożarowej

- na podstawie:

Yii H.W., *Effect of surface area and thickness on fire load. Fire Engineering Research Report 2000/13*, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, March 2000, ISSN 1173-5996.

Khorasani N.E., Garlock M., Gardoni P., *Fire load: Survey data, recent standards and probabilistic models for office buildings*, "Engineering Structures" 2014, 58, 152-165

Gęstość obciążenia ogniowego

Informacje wstępne

Standardy do oszacowania gęstości obciążenia ogniowego:

1. PN-B-02852:2001. Ochrona przeciwpożarowa budynków. Obliczanie gęstości obciążenia ogniowego oraz wyznaczanie względnego czasu trwania pożaru – *prosta metoda liczenia Q_d ; wada to brak ciepła spalania wielu materiałów i substancji występujących w gospodarce oraz użycie niejednorodnych wartości ciepła spalania tj. zarówno ciepła netto (wartość opałowa) jak i ciepła brutto (brak redukcji o ciepło potrzebne do odparowania wilgoci z palnego materiału)*
2. PN-EN 1991-1-2. Eurokod1. Oddziaływanie na konstrukcję. Część 1-2. Oddziaływanie ogólne. Oddziaływanie na konstrukcję w warunkach pożaru – *szczegółowa i dokładana metoda liczenia Q_d z uwzględnieniem tylko ciepła spalania netto; wada to pracochłonność i konieczność inwentaryzacji materiałów palnych w strefie*
3. NFPA 557 – Standard for determination of fire loads for use in structural fire protection design, 2012 Edition, National Fire Protection Association, Quincy, MA 02169-7471, USA – *szczegółowa podobnie jak dla PN-EN - Nie używamy w Polsce – bo zgodnie z WT Q_d możemy obliczać tylko wg PN*

Uwaga: wg PN-EN nie obliczmy Q_d dla poszczególnych pomieszczeń tylko dla całej strefy pożarowej Standard NFPA do obliczenia Q_d posługuje się wielkościami obciążenia opublikowanymi i na tej podstawie szacuje się Q_d dla danego budynku uwzględniając rozkład statystyczny Q_d , częstotliwość występowania pożaru, odchylenie standardowe od przyjętych wielkości w zależności od poziomu zabezpieczenia i typu budynku np. tryskacze SSP itp. Obliczenie końcowe podobne jest do metodologii stosowanej w PN-EN i PN

Gęstość obciążenia ogniowego

Informacje wstępne

7.3 The total fire load in a compartment shall be computed using the following equation:

$$Q = \sum k_i m_i h_{c_i}$$

Qd całkowite

where:

Q = total fire load in compartment (MJ)

k_i = proportion of content or building component, i , that is combustible

m_i = mass of item, i (kg)

h_{c_i} = calorific value of item, i (MJ/kg)

k_i – współczynnik proporcji materiałów palnych składowanych, przerabianych lub wbudowanych w konstrukcje budynku

7.4* The fire load density in a compartment is the total fire load per square meter of the floor area, Q'' (MJ/m²), as follows:

$$Q'' = Q / A_f$$

Gęstość obciążenia ogniowego odniesiona do pow. podłogi ocenianej przestrzeni np. strefy pożarowej

where:

Q'' = total fire load per m² of floor area

Q = total fire load in compartment

A_f = floor area of fire compartment (m²)

Gęstość obciążenia ogniowego wg PN-B-02852:2001

Definicja

Gęstość obciążenia ogniowego to energia cieplna, wyrażona w megadżulach, która może powstać przy spaleniu materiałów palnych znajdujących się w pomieszczeniu, strefie pożarowej lub składowisku materiałów stałych przypadająca na jednostkę powierzchni tego obiektu, wyrażona w metrach kwadratowych – oznaczenie **Q_d**

Uwaga: nie jest to równoważne mocy pożaru !

Podstawa określania Q_d

PN-B-02852:2001. Ochrona przeciwpożarowa budynków. Obliczanie gęstości obciążenia ogniowego oraz wyznaczanie względnego czasu trwania pożaru (poprzednie wersje z 1964r i 1970r.)

W normie określono sposób obliczania gęstości obciążenia ogniowego powstałego w wyniku spalania materiałów palnych w obiektach budowlanych lub składowiskach materiałów stałych oraz sposób wyznaczania względnego czasu trwania pożaru.

Gęstość obciążenia ogniowego wg PN-B-02852:2001

Wyłączenia: Postanowienia normy nie dotyczą:

- ❑ spalania cieczy i gazów palnych znajdujących się w zbiornikach i urządzeniach technologicznych wolno stojących, zlokalizowanych na zewnątrz budynków,
- ❑ spalania stałych materiałów palnych znajdujących się w zamkniętych silosach lub zasobnikach wykonanych z materiałów niepalnych, np. silosy zbożowe, zasobniki pyłu węglowego, mąki, tworzyw sztucznych itp. zlokalizowanych na zewnątrz budynków,
- ❑ spalania się materiałów palnych w ognioodpornych zasobnikach, pojemnikach i innych opakowaniach znajdujących się w budynkach

Materiały palne przyjmowane do obliczeń w ilości 20 % rzeczywistej ich masy

Przy obliczaniu gęstości obciążenia ogniowego uwzględnia się tylko 20 % masy rzeczywistej materiałów palnych o następującej postaci lub następującym sposobie składowania:

- zboże, cukier, mąka, kasze itp. w workach ułożonych w stosy, warstwy itp.; ograniczenie to nie dotyczy nasion oleistych,
- papa smołowa i asfaltowa w rolkach,
- papier w procesach poligraficznych prasowany w ściśle ukształtowane paczki półproduktu (krudy) oraz jako produkt gotowy po obróbce introligatorskiej, w pełnopaletowych ładunkach o masie ponad 400 kg.

Gęstość obciążenia ogniowego wg PN-B-02852:2001

Materiały palne przyjmowane do obliczeń w ilości 10 % rzeczywistej ich masy Przy obliczaniu gęstości obciążenia ogniowego uwzględnia się tylko 10 % masy rzeczywistej materiałów palnych o następującej postaci lub o następującym sposobie składowania:

- papier w rolach o średnicy co najmniej 0,5m i długości co najmniej 1,0m,
- papier w belach o wymiarach co najmniej 0,20m x 1,0m x 1,0m,
- drewno okrągłe o średnicy co najmniej 0,2m,
- węgiel kamienny i koks w pryzmach i zwałach o wysokości co najmniej 1,0m,
- zboże, wysłodki buraczane itp. w stosach i pryzmach wysokości powyżej 1,0m,
- płyty drewnopochodne, ułożone w stosy ściśle, bez przekładek, o wymiarach stosów 1,0x1,0x1,0m,
- zboże w zasiekach i komorach wykonanych z materiałów niepalnych,
- mrożonki owocowo-warzywne w kartonach, workach papierowych, foliowych itp., złożone na paletach drewnianych, w tym foliowanych,
- przetwory owocowo-warzywne w puszkach, słoikach, butelkach, na paletach drewnianych (w tym foliowanych), w skrzynkach drewnianych, plastikowych, kartonach,
- napoje niegazowane i gazowane, składowane jako wyrób gotowy na paletach drewnianych (w tym foliowanych), w skrzynkach drewnianych, plastikowych, kartonach

Gęstość obciążenia ogniowego wg PN-B-02852:2001

Materiały palne nie uwzględniane w oszacowaniach Qd

- palne materiały wbudowane w konstrukcje budynku
- materiały palne użyte do wykonania podłóg, stałych osłon stanowisk pracy i urządzeń technologicznych
- drzwi, bramy i okna
- materiały palne zanurzone w wodzie i roztworach wodnych,
- materiały o zawartości wody w swojej strukturze ponad 60 %

Wg normy **PN-EN 1991-1-2. Eurokod1. Oddziaływanie na konstrukcję. Część 1-2. Oddziaływanie ogólne. Oddziaływanie na konstrukcję w warunkach pożaru.**

do obliczenia gęstości obciążenia ogniowego przyjmuje się tylko te materiały które dla warunków użytkowania w budynku lub na terenie zewnętrznym (np. plac składowy) posiadają **ciepło spalania netto !**

Ciepło spalania netto = wartość opałowa

W PN w tabeli zestawieniowej ciepła spalania występuje ciepło spalania zarówno netto jak i brutto.

Ciepło spalania określa się na podstawie normy PN-EN-ISO 1716:2002 . Reakcja na ogień wyrobów budowlanych - Oznaczanie ciepła spalania.

Ciepło spalania (GCV Gross Calorific Value) oznacza całkowitą ilość ciepła uwalnianego przez jednostkową ilość paliwa o odpowiedniej wilgotności podczas jego pełnego spalania w obecności tlenu oraz podczas ochładzania produktów spalania do temperatury otoczenia; ilość ta obejmuje ciepło kondensacji pary wodnej w wyniku spalania wodoru zawartego w paliwie

Gęstość obciążenia ogniowego wg PN-B-02852:2001

Parametr	Jednostka	Słoma	Drewno	Torf	Węgiel brunatny	Węgiel kamienny i antracyty
Wilgoć W_t^r	% _{mas.}	12,0-70,0	20-60,0	90,0-95,0	20,0-55,0	5,0-20,0
Popiół A^d	% _{mas.}	4,3-6,5	0,8-1,6	1,00-25,0	1,0-50,0	3,0-20,0 (30,0)
Węgiel C^{daf}	% _{mas.}	47,1-48,5	50,0-52,0	55,0-60,0	58,0-78,0	75,0-93,0
Tlen O^{daf}	% _{mas.}	38,3-44,1	40,0-44,0	30,0-40,0	12,0-30,0	2,0-15,0
Wodór H^{daf}	% _{mas.}	5,3-6,5	6,0-6,5	5,5-6,5	4,9-7,0	3,5-6,0
Azot N^{daf}	% _{mas.}	0,3-0,8	0,35	0,8-3,0	0,6-2,4	1,0-1,5
Siarka S_t^{daf}	% _{mas.}	0,05-0,12	0,06	0,1-1,2	0,3-6,0	0,3-2,5(6,0)
Części lotne V^{daf}	% _{mas.}	73,0-80,0	76,0-80,0	65,0-70,0	54,0-65,0	3,0-45,0
Wartość opałowa Q_s^d	MJ/kg	16,1-17,3	17,-20,0	20,0-21,0	21,0-30,7	do 35,6
Ciepło spalania Q_i^d	MJ/kg	17,2-18,4	18,1-21,2	21,5-22,2	22,6-31,8	do 36,5

Ciepło spalania netto (wartość opałowa i ciepło spalania brutto – tabela z Eurokodu

Gęstość obciążenia ogniowego wg PN-B-02852:2001

PN-B-02852:2001 - wybrane przykłady

Rodzaj materiału	Ciepło spalania MJ/kg
Papier	16
Tekstylia	19
Benzyna (średnio)	47(wartość brutto)
Guma (średnio)	40
Alkohol Etylowy	30
Alkohol Metylowy	23
Ropa naftowa	41
Słoma	15
Węgiel kamienny	32 (wartość brutto)

PN-EN 1991-1-2. Eurokod 1 - wybrane przykłady

Rodzaj materiału	Ciepło spalania MJ/kg
Papier	20 !
Ubrania	20
Benzyna, ON	45
Opona gumowa	30 !
Alkohol Etylowy	30
Alkohol Metylowy	30 !
Ropa naftowa	45
Słoma	20 !
Węgiel kamienny	30

Gęstość obciążenia ogniowego wg PN-B-02852:2001 sposób obliczania

Gęstość obciążenia ogniowego Q_d dla pomieszczenia obliczamy ze wzoru:

$$Q_d = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (Q_{ci} \times G_i)}{F} \text{ [MJ/m}^2\text{]}$$

n - liczba rodzajów materiałów palnych znajdujących się w pomieszczeniu lub strefie pożarowej

Q_{ci} - ciepło spalania występujących materiałów w MJ/kg,

G_i - masa poszczególnych materiałów w kg,

F - powierzchnia rzutu poziomego pomieszczenia, strefy pożarowej lub składowiska w m^2

Dla strefy pożarowej wg wzoru

$$Q_d = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (Q_{di} \cdot F_i)}{\sum_{i=1}^{i=n} F_i}$$

uwzględniamy łączną powierzchnie pomieszczeń w jednej strefie pożarowej F_i

*Uwaga: norma nie podaje jaką powierzchnie należy przyjąć; zasadnym jest przyjmowanie pow. wewnętrznej, która wg WT odnosi się do strefy pożarowej. **Nota:** mamy ponadto pow. całkowitą i użytkową, które różnią zasadniczo wielkością i są używane w obiegu prawnym*

Gęstość obciążenia ogniowego wg PN-B-02852:2001 sposób obliczania

Przykład obliczeń Pomieszczenie produkcyjno-magazynowe PM o pow. 10.000m² zakład produkcji elementów metalowych maszyn - materiały niepalne w pomieszczeniu w ilości:

- ubrania, rękawice, czapki z bawełny - 2000kg; Q_c bawełny 17MJ/kg
- opakowania cz. maszyn niepalnych - karton ok. 200kg; Q_c papier 16MJ/kg
- pomieszczenie produkcyjne olej mineralny do smarowania elementów giętych 100kg; Q_c 44MJ/kg

$$Q_d = Q_c \times G / F = (2000 \times 17 + 200 \times 16 + 100 \times 44) / 10000 = 12000 / 10000 = 4,2 \text{ MJ/m}^2$$

Wariant strefy pożarowej dla tych samych materiałów

Strefa pożarowa składająca się z 3 pomieszczeń o pow. F₁=25m² cz. do maszyn niepalne w opakowaniu - karton ok. 200kg (Q_c=16MJ/kg); F₂=35m² olej mineralny do konserwacji maszyn 800kg (Q_c=44MJ/kg); F₃=40m² ubrania z bawełny w ilości 1000kg

Q_{d1}=2000x17/25=1360,0MJ/m² **pożar w tym pomieszczeniu stanowi zagrożenie dla budynku, który może być zaprojektowany w klasie „E”**

$$Q_{d2} = 200 \times 16 / 35 = 92,0,0 \text{ MJ/m}^2$$

$$Q_{d3} = 100 \times 44 / 9940 = 0,44 \text{ MJ/m}^2$$

Q_d strefy pożarowej

$$Q_d \text{ sp} = (Q_{d1} \times 25 + Q_{d2} \times 35 + Q_{d3} \times 9940) / 10000 = (34000 + 3220 + 4374) / 10000 = 4,1 \text{ MJ/m}^2$$

Gęstość obciążenia ogniowego wg PN-B-02852:2001 sposób obliczania

Wniosek:

Gęstość obciążenia ogniowego strefy pożarowej jest sumarycznie zawsze mniejsza od Q_d pomieszczenia z najwyższym Q_d dla układu zróżnicowanej gęstości obciążenia w poszczególnych pomieszczeniach produkcyjnych i/lub magazynowych.

Konsekwencje: pożar powstały w pom. o najwyższym Q_d może spowodować zniszczenie wyposażenia i częściowo konstrukcji budynku – dobieranej wg Q_d strefy pożarowej – np. dla bud. o 1-kon. klasa „E” wg Q_d strefy i „D” wg Q_d pomieszczenia z max. Q_d .

Dlatego ustalając klasę odporności pożarowej budynku PM należy zawsze sprawdzić czy Q_d w określonym pomieszczeniu nie powoduje konieczności zwiększenia klasy budynku – taka zasada wynika z WT dla przypadku pom. PM nie związanych funkcjonalnie z bud. ZL. W którym to pom. PM znajdują się.

Gęstość obciążenia ogniowego wg PN-EN 1991-1-2. Eurokod1

Gęstość obciążenia ogniowego opis i procedura obliczeniowa zawarta jest w załączniku E normy PN-EN 1991-1-2. Eurokod1

E.1 Postanowienia ogólne

(1) Zaleca się przyjmowanie wartości obliczeniowej gęstości obciążenia ogniowego, wynikającej z pomiarów lub w szczególnych przypadkach ustalonej na podstawie wymagań w zakresie oporności ogniowej, podanych w przepisach krajowych.

(2) Wartość obliczeniowa może być wyznaczona:

- na podstawie klasyfikacji krajowej obciążenia ogniowego wynikającego ze sposobów użytkowania i/lub
- ściśle dla pojedynczego projektu przez sporządzenie opinii technicznej obciążenia ogniowego.

Gęstość obciążenia ogniowego wg PN-EN 1991-1-2. Eurokod1

(3) Obliczeniowa wartość obciążenia ogniowego $q_{f,d}$ jest określona wzorem:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \quad [\text{MJ/m}^2] \quad (\text{E.1})$$

gdzie

m	współczynnik spalania (patrz E.3) (To jest ciepło spalania wg tabeli E3 normy)
δ_{q1}	współczynnik uwzględniający ryzyko pojawienia się pożaru spowodowane wielkością strefy (patrz Tablica E.1)
δ_{q2}	współczynnik uwzględniający ryzyko pojawienia się pożaru spowodowane sposobem użytkowania (patrz Tablica E.1)
$\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni}$	współczynnik uwzględniający różne czynne środki ochrony przeciwpożarowej i (tryskacze, wykrywanie, samoczynna transmisja sygnału alarmu, strażacy...). Te czynne środki są zazwyczaj wymagane z powodu bezpieczeństwa życia (patrz Tablica E.2 oraz punkty (4) i (5)).
$q_{f,k}$	charakterystyczna gęstość obciążenia ogniowego na jednostkę powierzchni podłogi $[\text{MJ/m}^2]$

Gęstość obciążenia ogniowego wg PN-EN 1991-1-2. Eurokod1

Charakterystyczna gęstość obciążenia ogniowego

(2) Charakterystyczna gęstość obciążenia ogniowego $q_{f,k}$ na jednostkę powierzchni jest określona wzorem:

$$q_{f,k} = Q_{fi,k} / A \quad [\text{MJ/m}^2] \quad (\text{E.3})$$

gdzie:

A powierzchnia podłogi (A_f) strefy pożarowej lub obszar odniesienia, lub wewnętrzna powierzchnia (A_t) strefy pożarowej, określająca $q_{f,k}$ lub $q_{t,k}$

$Q_{fi,k}$ charakterystyczne obciążenie ogniowe

$$Q_{fi,k} = \sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot \Psi_i = \sum Q_{fi,k,i} \quad [\text{MJ}]$$

gdzie:

$M_{k,i}$ ilość materiałów palnych [kg], zgodnie z (3) i (4)

H_{ui} wartość ciepła spalania netto [MJ/kg], patrz (E.2.4)

$[\Psi_i]$ współczynnik opcjonalny uwzględniający zabezpieczone obciążenia ogniowe, patrz (E.2.3)

(1) Nie wymaga się uwzględniania obciążeń ogniowych w obudowach, które zostały zaprojektowane w celu przetrwania w warunkach działania pożaru.

(tylko obudowy w klasie odporności ogniowej odpowiednio do klasy odporności pożarowej budynku)

Gęstość obciążenia ogniowego wg PN-EN 1991-1-2. Eurokod1

Przykładowe wartości współczynników do obliczeń Q_d ryzyko pojawienia się pożaru spowodowane δ_{q1} - wielkością strefy pożarowej i δ_{q2} - sposobem użytkowania

Tablica E.1 – Współczynniki δ_{q1}, δ_{q2}

Powierzchnia podłogi strefy A_f [m ²]	Niebezpieczeństwo pojawienia się pożaru δ_{q1}	Niebezpieczeństwo pojawienia się pożaru δ_{q2}	Przykłady sposobów użytkowania
25	1,10	0,78	galeria sztuki, muzeum, basen
250	1,50	1,00	biura, mieszkanie, hotel, przemysł papierniczy
2 500	1,90	1,22	wytwórnia maszyn i silników
5 000	2,00	1,44	laboratorium chemiczne, warsztat malarski
10 000	2,13	1,66	wytwórnia fajerwerków lub farb

Współczynnik spalania „m”

Dla materiałów głównie celulozowych można przyjąć współczynnik spalania $m = 0,8$.

Gęstość obciążenia ogniowego wg PN-EN 1991-1-2. Eurokod1

Współczynnik δ_{qn} ;

$\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni}$ współczynnik uwzględniający różne czynne środki ochrony przeciwpożarowej

δ_{ni} Wartości charakteryzujące czynne środki ochrony przeciwpożarowej											
Stałe automatyczne urządzenia gaśnicze				Samoczynne wykrywanie pożaru		Gaszenie pożaru siłami ludzkimi					
Samoczynne urządzenia gaśnicze wodne δ_{n1}	Niezależne zaopatrzenie w wodę dla SUG δ_{n2}			Samoczynna detekcja pożaru i alarm pożarowy δ_{n3} δ_{n4}		Samoczynna transmisja alarmu pożarowego do straży pożarnej δ_{n5}	Zakładowa zawodowa straż pożarna δ_{n6}	Zewnętrzna publiczna straż pożarna δ_{n7}	Bezpieczne pożarowe drogi dostępu δ_{n8}	Urządzenia przeciwpożarowe δ_{n9}	System oddymiania δ_{n10}
	0	1	2	detekcja ciepła	detekcja dymu						
0,61	1,0	0,87	0,7	0,87 lub 0,73		0,87	0,61 lub 0,78		0,9 lub 1,0 lub 1,5	1.0 lub 1,5	1.0 lub 1,5
0 1 2 NZW											

- gdy urządzenia pożarowe są w budynku $\delta_9 = 1$; gdy nie ma choćby jednego $\delta_9 = 1,5$
- dla klatki chronionej nadciśnieniem $\delta_{10} = 0,9$

po ustaleniu δ_1 , δ_2 , δ_n i m obliczmy wartość obciążenia ogniowego q_{fc}

Gęstość obciążenia ogniowego wg PN-EN 1991-1-2. Eurokod1

Współczynnik δ_{qn} cd.

(4) Przy normalnych środkach ochrony przeciwpożarowej, w odniesieniu do których zalecane jest, by niemal zawsze były obecne, takich jak bezpieczne pożarowe drogi dostępu, urządzenia przeciwpożarowe i systemy odprowadzenia dymu na klatkach schodowych, zaleca się, aby wartości δ_{ni} z Tablicy E.2 przyjmowano jako równe 1,0. Jednak jeżeli te środki ochrony przeciwpożarowej nie zostały przewidziane, zaleca się, aby odpowiednią wartość δ_{ni} przyjmowano jako równą 1,5.

(5) Jeżeli klatki schodowe są poddawane nadciśnieniu w przypadku alarmu pożaru, współczynnik δ_{n8} z Tablicy E.2 może być przyjmowany jako równy 0,9.

Ważne:

E.2.1 Postanowienia ogólne

(1) Zaleca się, aby obciążenie ogniowe składało się ze wszystkich elementów palnych wyposażenia budynku i elementów palnych konstrukcji, łącznie z okładzinami, wykładzinami i innymi wykończeniami. Nie wymaga się, aby części palne, które nie zwęglają się w pożarze, były uwzględniane w obliczeniach.

wyznaczamy δ_1 do δ_{10} obliczymy ich iloczyn; wynik wstawiamy do wzoru na obliczeniową wartość obciążenia ogniowego q_{fc}

Po ustaleniu δ_1 , δ_2 , δ_n i m (dla materiałów celulozowych $m=0,8$ dla innych przyjmujemy $m=1$) obliczymy wartość obciążenia ogniowego q_{fc}

δ = iloczynowi δ_1 do δ_{10}

Gęstość obciążenia ogniowego w przepisach techniczno-budowlanych i przeciwpożarowych

Parametr lub wielkość gęstości obciążenia ogniowego Qd występuje w następujących przepisach

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 75/2002, poz.690 z późn. zm. tekst jednolity Dz. U. 2015r. poz. 1422), oraz zmiany Dz. U 2017 nr 2285 – obowiązywanie od 1.01.2018r. – przepisy techniczno-budowlane WT
2. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7.06.2010 r. w sprawie ochrony ppożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów. (Dz.U. nr 109, poz. 719) – przepisy ppożarowe
3. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009 r. w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych. (Dz. U. 2009, nr 124, poz. 1030) – przepisy ppożarowe

Gęstość obciążenia ogniowego w przepisach techniczno-budowlanych i przeciwpożarowych

Przepisy techniczno-budowlane - Wielkość Q_d warunkuje

- ✓ Klasę odporności pożarowej budynków PM
- ✓ Klasę odporności ogniowej elementów budynku PM
- ✓ Klasę odporności ogniowej ścin oddzielenia przeciwpożarowego
- ✓ Klasę odporności ogniowej biegów i spoczników klatek i schodów stałych
- ✓ Wysokość pasa m-kondygnacyjnego w budynku PM o $Q_d > 1000 \text{ MJ/m}^2$ – wymagana wysokość 1,2m (dla przypadku gdy $Q_d < 1000 \text{ MJ/m}^2$ 0,8m)
- ✓ Maksymalną powierzchnię strefy pożarowej zarówno w budynku 1-kondygnacyjnym jak i wielokondygnacyjnym
- ✓ Długość przejść i dojść ewakuacyjnych w strefach pożarowych PM
- ✓ Wymóg stosowania klatek obudowanych i zamykanych drzwiami ppożarowymi oraz wyposażonych w oddymianie grawitacyjne lub wyposażonych w urządzenia zapobiegające zadymieniu – dla budynków PM o $Q_d > 500 \text{ MJ/m}^2$
- ✓ Odległość pomiędzy budynkami na tej samej działce lub w stosunku do budynku na działce sąsiedniej
- ✓ Odległość budynku od granicy działki

Gęstość obciążenia ogniowego w przepisach techniczno-budowlanych i przeciwpożarowych

Przepisy przeciwpożarowe Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7.06.2010 r. w sprawie ochrony ppożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów - Wielkość Qd warunkuje:

- ❖ Stosowanie lub nie hydrantów wewnętrznych – *brak wymogu projektowanie hydrantów w strefie pożarowej, w której nie ma pomieszczeń o Qd ponad 500MJ/m²*
- ❖ Wymaganie projektowania hydrantów 52 w strefach pożarowych o Qd > 500MJ/m²
- ❖ Stosowanie hydrantów 33 w strefie pożarowej gdy jej Qd nie przekracza 1000MJ/m²
- ❖ Projektowanie instalacji hydrantowej przy warunku jednoczesnego działania 4 sąsiednich hydrantów gdy Qd > 500MJ/m² i pow. przekracza 3000,0m²
- ❖ Ilość środka gaśniczego w gaśnicach; dla Qd > 500MJ/m² min. 2kg/100m²; gdy Qd < 500MJ/m² min. 2kg/300m² powierzchni strefy pożarowej

Gęstość obciążenia ogniowego w przepisach techniczno-budowlanych i przeciwpożarowych

**Przepisy przeciwpożarowe Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24.07.2009 r. w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych-
Wielkość Q_d warunkuje:**

- ☐ Konieczność zapewnienia drogi pożarowej do budynku, urządzenia technologicznego, placu składowego lub wiaty gdy $Q_d > 500 \text{ MJ/m}^2$ i pow. $> 1000 \text{ m}^2$ oraz gdy $Q_d < 500$ a pow. strefy jest większa od 20.000 m^2
- ☐ Zapewnienie przeciwpożarowego zaopatrzenia wodnego do gaszenia pożaru w ilości odpowiedniej do Q_d i wielkości strefy pożarowej

większe Q_d dla tej samej powierzchni strefy pożarowej może powodować istotne zwiększenie ilości wody do zewnętrznego gaszenia pożaru (dla pow. 1000 m^2 mamy przy Q_d do 200 MJ/m^2 $10 \text{ dm}^3/\text{s}$ a przy $Q_d > 4000 \text{ MJ/m}^2$ $20 \text{ dm}^3/\text{s}$ (zwiększenie 2-krotne)

Dla strefy pożarowej o pow. ok. 3000 m^2 przy Q_d do 200 MJ/m^2 $10 \text{ dm}^3/\text{s}$ a przy $Q_d > 4000 \text{ MJ/m}^2$ $40 \text{ dm}^3/\text{s}$ (zwiększenie 4-krotne)

Uwaga: większa ilość wody do celów pożarowych generuje b. wysokie koszty jej zapewnienia (sieć wodociągowa, zbiornik przeciwpożarowy ze stanowiskiem czerpania i dojazdem pożarowym)

Gęstość obciążenia ogniowego w przepisach techniczno-budowlanych i przeciwpożarowych

Konsekwencje zawyżenia gęstości obciążenia ogniowego Q_d na etapie projektowania:

- **Ustalenie wyższej od wymaganej klasy odporności pożarowej budynku**
- **Zmniejszenie dop. powierzchni strefy pożarowej a w konsekwencji stosowanie elementów oddzielen ppożarowych co może stać w kolizji z procesami technologicznymi i konieczność stosowania drogich zabezpieczeń (bramy, drzwi, zamknięcia ciągów technologicznych, przejścia przez elementy oddzielen ppożarowych w tym kalpy odcinające ppożarowe)**
- **Konieczność stosowania hydrantów 52 zamiast 33**
- **Instalacja hydrantowa projektowana przy warunku jednoczesnego działania 4 sąsiednich hydrantów gdy $Q_d > 500 \text{ MJ/m}^2$ i pow. przekracza $3000,0 \text{ m}^2$**
- **Zwiększenie odległości od granicy działki i budynków sąsiednich (często brak możliwości lokalizacji budynku o zakładanych parametrach na dostępnej działce)**
- **Projektowanie ppożarowego zaopatrzenia wodnego o wyższych parametrach ilości wody niż rzeczywista potrzeba**
- **Zwiększona ilość środka gaśniczego w gaśnicach dla tej samej powierzchni strefy.**

Gęstość obciążenia ogniowego w przepisach techniczno-budowlanych i przeciwpożarowych

Konsekwencje zawyżenia gęstości obciążenia ogniowego Q_d na etapie użytkowania budynku

- Większy poziom ryzyka pożarowego
- Zmiana wielkości mocy i temperatury ew. pożaru w tym budynku co przekłada się na znaczące zwiększenie szybkości rozprzestrzeniania się ognia w obiekcie
- Formalna konieczność stosowania hydrantów w strefie pożarowej PM po przekroczeniu Q_d ponad 500MJ/m²
- Zmiana warunków umowy ubezpieczenia od ognia co skutkuje prawie zawsze wykazaniem nie spełniania wymagań przepisów, norm i założeń projektu budowlanego i w konsekwencji odmowa wypłaty odszkodowania po pożarze
- Zmiana Q_d w magazynie ponad określoną wartość, powyżej ustalonej w projekcie dla obiektu ZL gdy to pomieszczenie jest funkcjonalnie zw. z ZL (nie jest wydzielone pożarowo) skutkuje zmianą klasy odporności pożarowej

Gęstość obciążenia ogniowego w przepisach techniczno-budowlanych i przeciwpożarowych

Konkluzja generalna

- ❖ w budynkach PM prawie wszystkie wymagania, które powinny być spełnione zależą od wartości gęstości obciążenia ogniowego Q_d , a niewielka różnica w obliczeniach powoduje zasadnicze jakościowo różnice w sposobie zabezpieczenia przeciwpożarowego obiektu i generuje duże koszty zabezpieczeń
- ❖ w praktyce projektowej wartość Q_d można tylko oszacować, a nie dokładnie wyliczyć; przykład - magazyn firmy logistycznej, w którym znajdują się takie produkty jak np. różnego typu, różnej wielkości i w różnych opakowaniach: pralki, lodówki, zmywarki, kuchenki, czajniki, odkurzacze itp. i dodatkowo papier toaletowy; jak obliczyć gęstość obciążenia ogniowego wg PN-B-02852:2001 w takim magazynie

Czy to w ogóle jest możliwe na poziomie potrzeb projektowych

- Teoretycznie TAK
- **Praktycznie niemożliwe aby dokładnie zinwentaryzować** wszystkie materiały palne i ich ilość (to się zmienia dynamicznie; bezpiecznie jest przyjąć poziom najwyższy w oparciu o dane inwestora i projektanta)

Gęstość obciążenia ogniowego w przepisach techniczno-budowlanych i przeciwpożarowych

Konkluzja generalna

W 2001 r. gdy nowelizowano PN to zamieszczono w niej wartości ciepła spalania dla różnych materiałów (substancji) wyliczone ze współczynników przeliczeniowych zawartych w normie z 1970 r., uzupełniając „wykaz” nowymi wartościami ciepła spalania substancji, które nie występowały w PN z 1970 r..

Nie byłoby to dziwne, gdyby nie fakt, że wartości ciepła spalania przejęte z normy PN-B-02852 z 1970 r. (te same co w wydaniu z 1964 r.), to **wartości ciepła spalania brutto**, a **wartości dopisane jako nowe w 2001 r. to wartości ciepła spalania netto (wartość opałowa)** zaczerpnięte z eurokodu wydanego w 1995r. (*Eurocode 1. Part 2:2-1995 Basis of Design and Design Actions on Structures. Part 2:2 Actions on Structures Exposed to Fire*) od dawna wycofanego i zastąpionego nowym z 2006r, w którym zastosowano inne podejście do obliczeń Qd.

Najciekawsze jest to, iż z w/w Eurokodu przepisano tylko część danych dot. substancji, których nie było we wcześniejszych wydaniach normy PN-B-02852 nie biorąc pod uwagę, iż wartości podane w eurokodzie odbiegają od tych zawartych w PN-B-02852 (1964/1970). Wnioski są ciekawe, bo okazuje się, że po zestawieniu odpowiednich wartości pewna grupa materiałów wyszczególniona w eurokodzie ma wyższe **ciepła spalania netto** niż **ciepła spalania brutto** podane w PN-B-02852 !!! ... warto to wziąć pod uwagę.

Całkowite ciepło spalania/ciepło spalania netto ustala się wg PN-EN ISO 1716:2010

Gęstość obciążenia ogniowego porównanie metod obliczeniowych

Przykład obliczeniowy Qd wg PN i PN-EN pokazujący jak skrajne wielkości można uzyskać

Hala PM z materiałów niepalnych o wym. 100x120m i $F=12000\text{m}^2$; w hali jest 5000szt. europalet z wyrobami papierowymi (opakowania kartonowe dla fabryki TV); na jednej palecie jest 800kg tektury o cieple spalania $c_p=16\text{MJ/kg}$ – wg PN i 20MJ/kg – wg Eurokodu; dla drewna $c_p=17,5\text{MJ/kg}$ (Eurokod) i 18MJ/kg (PN); waga europalety 26kg

Warunki dodatkowe

-zakładowa straż pożarna, tryskacze, SSP (czujki dymu) z monitoringiem pożarowym, PSP w odległości do 3km, oddymianie, droga pożarowa, dostęp do budynku, ppożarowe zaopatrzenie wodne zgodnie z przepisami (1 źródło)

Wg PN-B-02852:2001

$$Q_d = 5000 \times 26 \times 18 + (5000 \times 800 \times 16) / 12000 = 2340000 + 64000000 = 5528,3 \text{ MJ/m}^2$$

$$Q_d = 5528,3 \text{ MJ/m}^2$$

Gęstość obciążenia ogniowego porównanie metod obliczeniowych

Wg PN-EN 1991-1-2. Eurokod1

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n$$

gdzie:

m współczynnik spalania
 δ_{q1} współczynnik uwzględniający ryzyko pojawienia się pożaru spowodowane wielkością strefy
 δ_{q2} współczynnik uwzględniający ryzyko pojawienia się pożaru spowodowane sposobem użytkowania
 δ_n współczynnik uwzględniający istnienie aktywnych środków ochrony przeciwpożarowej

Obciążenie ogniowe składa z papieru i drewna a więc materiałów celulozowych;
dlatego współczynnik spalania wg PN-EN $m=0,8$

Ψ i współczynnik uwzględniający obciążenie ogniowe zabezpieczone (w obudowie ognioodpornej); dla większości przypadków można przyjmować 1 (wg PN-EN tam wskazanych)

Ψ - **w przykładzie obliczeniowym nie występuje**

Charakterystyczne obciążenie ogniowe jest określone wzorem:

$$Q_{fi,k} = \sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot \psi_i$$

gdzie:

$M_{k,i}$ ilość materiałów palnych [kg]
 H_{ui} wartość ciepła spalania netto [MJ/kg], patrz PN-EN 1991-1-2, Tablica E.3
 ψ_i współ. opcjonalny uwzględniający zabezpieczone obciążenia ogniowe

Gęstość obciążenia ogniowego porównanie metod obliczeniowych

Gęstość obciążenia ogniowego

$$q_{f,k} = Q_{f,k} / A_f$$

Obliczeniowa wartość obciążenia ogniowego

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n$$

wg PN-EN wyznacza się:

$m=0,8$

$\delta_1=2,13$ (ryzyko pożaru od wielkości strefy – wg tabeli E1 Eurokodu)

$\delta_2=1,0$ (ryzyko pożaru od sposobu użytkowania – wg tabeli E1 Eurokodu)

δ_n = (istnienie aktywnych środków ochrony ppożarowej)

$\delta_n=0,61 \times 0,87 \times 0,73 \times 0,87 \times 0,78 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,27$

$Q_{fk} = 5528,3 \text{ MJm}^2$ (masa m. palnych x ciepło spalania)

$q_{fk} = Q_{fk} \times 0,8 \times 2,13 \times 1,0 \times 0,27 = \underline{\underline{2543,5 \text{ MJ/m}^2}}$

Gęstość obciążenia ogniowego porównanie metod obliczeniowych

Wnioski

- ❑ Zmiana sposobu użytkowania niektórych budynków przemysłowych i magazynowych w trakcie ich „życia” powoduje zmianę Q_d , często drastyczną np. zamiast $Q_d < 500 \text{ MJ/m}^2$ jak założono w projekcie budowlanym po wprowadzeniu innych jakościowo materiałów mamy $Q_d > 4000 \text{ MJ/m}^2$ – zaprojektowana konstrukcja budynku nie wytrzyma w warunkach pożaru przy nowej ilości materiałów palnych a straż pożarna nie będzie mogła skutecznie takiego pożaru ugasić m. innymi z powodu zbyt małej ilości wody do gaszenia skutki to np. brak odszkodowania z polisy „ogniowej”
- ❑ Przykład obliczeniowy powyżej wskazuje jak dobór metody obliczeniowej Q_d jest istotny dla projektownego budynku i doboru zabezpieczeń ppożarowych
- ❑ Obliczanie gęstości obciążenia ogniowego wg Eurokodu uwzględnia m. in. wilgotność materiałów, wielkość strefy, sposób użytkowania, czynne środki ochrony przeciwpożarowej występujące w danej strefie (uwag: nie można uwzględniać systemów inertyzujących np. stosowanych w chłodniach pieczywa i ciast jako substytutu urządzeń gaśniczych dla obliczeń Q_d wg Eurokodu)
- ❑ Wg przepisów WT do określenia Q_d można używać tylko PN lub PN-EN Eurokodu 1.

Gęstość obciążenia ogniowego wg PN-B-02852:2001 i PN-EN 1991-1-2. Eurokod1

Dziękuję za uwagę
mgr inż. Ryszard Stępkowski

Rzeczoznawca ds. Zabezpieczeń Przeciwpożarowych
Rzeczoznawca Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Pożarnictwa
Członek Stowarzyszenia Inżynierów Bezpieczeństwa Pożarowego
(SFPE - The Society of Fire Protection Engineers - Oddział Polska)

Biegły Sądowy z Zakresu Pożarnictwa
b. Wykładowca Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach

Expert Biuro Techniczne Ochrony Przeciwpowozarowe
25-363 Kielce, ul. Wesola 51 lok. 614 VI p
tel. 509-339-019; fax 41/34-70-144; e-mail: expertpoz@op.pl
www.pozarnictwo.com.pl

Kielce 8.06.2018 r.

