

# **KONSTRUKCJE STALOWE W EUROPIE**

**Wielokondygnacyjne  
konstrukcje stalowe  
Część 3: Oddziaływania**



**Wielokondygnacyjne  
konstrukcje stalowe  
Część 3: Oddziaływania**



## PRZEDMOWA

Niniejsza publikacja stanowi trzecią część przewodnika projektanta *Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe*.

Przewodnik *Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe* składa się z 10 następujących rozdziałów:

- Część 1: Poradnik architekta
- Część 2: Projekt koncepcyjny
- Część 3: Oddziaływania
- Część 4: Projekt wykonawczy
- Część 5: Projektowanie połączeń
- Część 6: Inżynieria pożarowa
- Część 7: Wzorcowa specyfikacja konstrukcji
- Część 8: Opis kalkulatora do obliczania nośności elementów konstrukcyjnych
- Część 9: Opis kalkulatora do obliczania nośności połączeń prostych
- Część 10: Wskazówki dla twórców oprogramowania do projektowania belek zespolonych

*Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe* to jeden z dwóch przewodników projektanta. Drugi przewodnik nosi tytuł *Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe*.

Obydwa przewodniki projektanta powstały w ramach europejskiego projektu „Wspieranie rozwoju rynku kształtowników na potrzeby hal przemysłowych i niskich budynków (SECHALO) RFS2-CT-2008-0030”.

Przewodniki projektanta zostały opracowane pod kierownictwem firm ArcelorMittal, Peiner Träger oraz Corus. Treść techniczna została przygotowana przez ośrodki badawcze CTICM oraz SCI współpracujące w ramach joint venture Steel Alliance.



## Spis treści

	<b>Nr strony</b>
PRZEDMOWA	iii
STRESZCZENIE	vi
1 WPROWADZENIE	1
2 FILOZOFIA BEZPIECZEŃSTWA WEDŁUG NORMY EN 1990	2
2.1 Ogólny format sprawdzania	2
2.2 Stany graniczne nośności i stany graniczne użytkowości	2
2.3 Wartości charakterystyczne i wartości obliczeniowe oddziaływań	3
3 KOMBINACJE ODDZIAŁYWAŃ	5
3.1 Ogólne	5
3.2 Kombinacje SGN	5
3.3 Kombinacje SGU	7
4 ODDZIAŁYWANIA STAŁE	9
5 OBCIĄŻENIA KONSTRUKCJI	10
6 OBCIĄŻENIA UŻYTKOWE	11
6.1 Ogólne	11
6.2 Redukcja ze względu na obciążoną powierzchnię	11
6.3 Redukcja ze względu na liczbę kondygnacji	12
6.4 Obciążenia poziome na atykach	12
7 OBCIĄŻENIA ŚNIEGIEM	13
8 ODDZIAŁYWANIE WIATRU	14
8.1 Ogólne	14
8.2 Współczynnik konstrukcyjny $c_s c_d$	14
9 WPŁYW TEMPERATURY	19
LITERATURA	20
ZAŁĄCZNIK A PRZYKŁAD PRAKTYCZNY: ODDZIAŁYWANIE WIATRU NAŻBUDYNEK WIELOKONDYGNACYJNY	22

## **STRESZCZENIE**

Niniejszy dokument zawiera wytyczne dotyczące wyznaczenia obciążeń w zwykłym budynku wielokondygnacyjnym, zgodnie z normami EN 1990 i EN 1991. Oprócz krótkiego opisu ogólnego formatu projektowania metodą stanów granicznych, niniejszy przewodnik zawiera informacje dotyczące oddziaływań stałych, zmiennych i ich kombinacji. Niniejszy przewodnik zawiera także praktyczny przykład obliczania oddziaływania wiatru na budynek wielokondygnacyjny.



# 1 WPROWADZENIE

Niniejszy przewodnik zawiera podstawowe informacje o wyznaczaniu oddziaływań obliczeniowych na budynek wielokondygnacyjny. Opisano w nim podstawy projektowania w nawiązaniu do metody stanów granicznych oraz metody współczynników częściowych, zgodnie z następującymi częściami Eurokodów:

- EN 1990: Podstawy projektowania konstrukcji<sup>[1]</sup>
- EN 1991: Oddziaływania na konstrukcje
  - Część 1-1: Oddziaływania ogólne — Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach<sup>[2]</sup>
  - Część 1-3: Oddziaływania ogólne — Obciążenia śniegiem<sup>[3]</sup>
  - Część 1-4: Oddziaływania ogólne — Oddziaływania wiatru<sup>[4]</sup>
  - Część 1-5: Oddziaływania ogólne — Oddziaływanie termiczne<sup>[5]</sup>
  - Część 1-6: Oddziaływania ogólne — Oddziaływania w czasie wykonywania konstrukcji.<sup>[6]</sup>

## **2 FILOZOFIA BEZPIECZEŃSTWA WEDŁUG NORMY EN 1990**

### **2.1 Ogólny format sprawdzania**

Wyróżnia się stany graniczne nośności (SGN) i stany graniczne użyteczności (SGU).

Stany graniczne nośności są związane z następującymi sytuacjami obliczeniowymi:

- Trwałe sytuacje obliczeniowe (warunki normalnego użytkowania)
- Przejściowe sytuacje obliczeniowe (tymczasowe warunki użytkowania konstrukcji, np. podczas wykonywania konstrukcji, napraw itp.)
- Wyjątkowe sytuacje obliczeniowe (wyjątkowe warunki użytkowania konstrukcji)
- Sytuacje obliczeniowe dla oddziaływań sejsmicznych (warunki użytkowania konstrukcji poddanych zjawiskom sejsmicznym). Zjawiska te są omówione w normie EN 1998<sup>[7]</sup> i wykraczają poza zakres niniejszego przewodnika.

Stany graniczne użyteczności dotyczą funkcjonowania konstrukcji w warunkach normalnych, komfortu ludzi i wyglądu budynku.

Sprawdzanie należy przeprowadzić dla wszystkich stosownych sytuacji obliczeniowych i przypadków obciążeń.

### **2.2 Stany graniczne nośności i stany graniczne użyteczności**

#### **2.2.1 Stany graniczne nośności (SGN)**

Do stanów granicznych nośności zalicza się stany dotyczące bezpieczeństwa ludzi i/lub bezpieczeństwa konstrukcji. Konstrukcja musi zostać sprawdzona metodą stanów granicznych nośności (SGN) w przypadku możliwości:

- Utraty równowagi całości lub części konstrukcji (EQU)
- Zniszczenia w wyniku nadmiernego odkształcenia, zerwania, utraty stateczności całości konstrukcji lub jej części (STR)
- Zniszczenia lub nadmiernego odkształcenia podłoża (GEO)
- Zniszczenia spowodowanego zmęczeniem lub innymi zjawiskami zależnymi od czasu (FAT)

### 2.2.2 Stany graniczne użyteczności (SGU)

Konstrukcja powinna zostać sprawdzona metodą stanów granicznych użyteczności (SGU) w przypadku możliwości wystąpienia:

- Odształceń mających wpływ na wygląd zewnętrzny, komfort użytkowników lub funkcjonowanie konstrukcji
- Drgań powodujących dyskomfort u ludzi lub ograniczających funkcjonalną efektywność konstrukcji
- Uszkodzeń, które mogą niekorzystnie wpłynąć na wygląd zewnętrzny, trwałość lub funkcjonowanie konstrukcji

## 2.3 Wartości charakterystyczne i wartości obliczeniowe oddziaływań

### 2.3.1 Ogólne

Oddziaływania są następująco klasyfikowane ze względu na zmienność w czasie:

- Oddziaływania stałe ( $G$ ), np. ciężar własny konstrukcji, stałe wyposażenie itp.
- Oddziaływania zmienne ( $Q$ ), np. obciążenia użytkowe, oddziaływania wiatru, obciążenia śniegiem itp.
- Oddziaływania wyjątkowe ( $A$ ), np. wybuchy, uderzenia pojazdami itp.

Pewne oddziaływania mogą być uznane za oddziaływania wyjątkowe i/lub zmienne, np. oddziaływania sejsmiczne, obciążenia śniegiem, oddziaływania wiatru w niektórych sytuacjach obliczeniowych.

### 2.3.2 Wartości charakterystyczne oddziaływań

Wartość charakterystyczna ( $F_k$ ) oddziaływania to jego główna wartość reprezentatywna. W związku z tym, że wartość ta może zostać zdefiniowana w sposób statystyczny, wybiera się ją tak, aby odpowiadała zalecanemu prawdopodobieństwu niewykraczania na niekorzystną stronę podczas „okresu referencyjnego”, biorąc pod uwagę obliczeniowy okres użytkowania konstrukcji.

Te wartości charakterystyczne są określone w różnych częściach normy EN 1991.

### 2.3.3 Obliczeniowe wartości oddziaływań

Obliczeniowa wartość  $F_d$  oddziaływania  $F$  może być wyrażona ogólnie jako:

$$F_d = \gamma_f \psi F_k$$

gdzie:

$F_k$  to wartość charakterystyczna oddziaływania

$\gamma_f$  to współczynnik częściowy oddziaływania

$\psi$  wynosi 1,00,  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  lub  $\psi_2$

#### **2.3.4 Współczynniki częściowe**

Współczynniki częściowe są wykorzystywane do weryfikacji konstrukcji metodami stanów granicznych nośności (SGN) i użyteczności (SGU). Powinny one pochodzić z Załącznika A1 normy EN 1990, lub z normy EN 1991 albo z odpowiedniego Załącznika krajowego.

#### **2.3.5 Współczynniki $\psi$**

W kombinacjach oddziaływań współczynniki  $\psi$  mają zastosowanie do oddziaływań zmiennych w celu uwzględnienia zmniejszonego prawdopodobieństwa jednoczesnego wystąpienia ich wartości charakterystycznych.

Zalecane wartości współczynników  $\psi$  dla budynków należy pobrać z tabeli A1.1 w Załączniku A1 normy EN 1990, lub z normy EN 1991 albo z odpowiedniego Załącznika krajowego.

## 3 KOMBINACJE ODDZIAŁYWAŃ

### 3.1 Ogólne

Poszczególne oddziaływania powinny być łączone, tak aby nie przekraczały stanu granicznego dla odpowiednich sytuacji obliczeniowych.

Oddziaływania, które nie mogą wystąpić jednocześnie, np. z przyczyn fizycznych, nie powinny być analizowane razem w tej samej kombinacji.

W zależności od przeznaczenia budynku, jego formy i lokalizacji, kombinacje oddziaływań mogą być oparte na nie więcej niż dwóch zmiennych oddziaływaniach — patrz uwaga 1 w normie EN 1990, § A1.2.1(1). Dodatkowe informacje mogą być podane w Załączniku krajowym.

### 3.2 Kombinacje SGN

#### 3.2.1 Równowaga statyczna

Aby sprawdzić stan graniczny równowagi statycznej konstrukcji (EQU), należy upewnić się, że:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$$

gdzie:

$E_{d,dst}$  to wartość obliczeniowa wpływu oddziaływań destabilizujących

$E_{d,stab}$  to wartość obliczeniowa wpływu oddziaływań stabilizujących

#### 3.2.2 Zerwanie lub nadmierne odkształcenie elementu

Aby sprawdzić stan graniczny zerwania lub nadmiernego odkształcenia profilu, elementu konstrukcji lub połączenia (STR i/lub GEO), należy się upewnić, że:

$$E_d \leq R_d$$

gdzie:

$E_d$  to wartość obliczeniowa wpływu oddziaływań

$R_d$  to wartość obliczeniowa odpowiadającej nośności

Każda kombinacja oddziaływań powinna zawierać główne oddziaływanie zmienne lub oddziaływanie wyjątkowe.

#### 3.2.3 Kombinacje oddziaływań dla trwałych lub przejściowych sytuacji obliczeniowych

Zgodnie z normą EN 1990, § 6.4.3.2(3) kombinacje oddziaływań mogą być wyprowadzone z wyrażenia (6.10) lub z wyrażeń (6.10a i 6.10b — tego, które jest bardziej obciążające). Wybór jednego z tych dwóch układów wyrażeń może zostać narzucony przez Załącznik krajowy.

Zazwyczaj wyrażenie (6.10) jest zachowawcze w porównaniu z parą wyrażeń (6.10a i 6.10b), ale prowadzi ono do zmniejszenia liczby analizowanych kombinacji.

	Stałe oddziaływania	Główne oddziaływanie zmienne	Towarzyszące oddziaływania zmienne			
$E_d =$	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j}$	$+$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$+$	$\sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$	(6.10)
$E_d =$	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j}$	$+$	$\psi_{0,1} \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$+$	$\sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$	(6.10a)
$E_d =$	$\xi \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j}$	$+$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$+$	$\sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$	(6.10b)

Wartości wielkości  $G_k$  oraz  $Q_k$  podano w normie EN 1991 lub w Załączniku krajowym do tej normy.

Wartości wielkości  $\gamma_G$  oraz  $\gamma_Q$  podano dla równowagi statycznej (EQU) w tabeli A1.2(A) a dla zerwania (STR i/lub GEO) w tabelach A1.2(B) i A1.2(C) pochodzących z normy EN 1990 lub w Załączniku krajowym do tej normy.

**Tabela 3.1 Zalecane wartości współczynników częściowych**

Tabela (EN 1990)	Stan graniczny	$\gamma_{Gj,inf}$	$\gamma_{Gj,sup}$	$\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,1}$	$\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,1}$
A1.2(A)	EQU	0,90	1,10	1,50	1,50
A1.2(B)	STR/GEO	1,00	1,35	1,50	1,50
A1.2(C)	STR/GEO	1,00	1,00	1,30	1,30

Współczynniki  $\psi_0$  podano w tabeli A1.1 normy EN 1990 lub w Załączniku krajowym do tej normy. Ten współczynnik zmienia się pomiędzy 0,5 a 1 z wyjątkiem dachów kategorii H ( $\psi_0 = 0$ ).

$\xi$  to współczynnik redukcyjny dla obciążeń stałych. Zgodnie z tabelą A1.2(B) normy EN 1990 jego zalecana wartość dla budynków wynosi  $\xi = 0,85$ . W Załączniku krajowym może być określona inna wartość.

Na przykład zgodnie z wyrażeniem 6.10:

Gdy śnieg jest głównym oddziaływaniem zmiennym:

$$E_d = 1,35 G + 1,5 S + (1,5 \times 0,6) W = 1,35 G + 1,5 S + 0,9 W$$

Gdy wiatr jest głównym oddziaływaniem zmiennym:

$$E_d = 1,35 G + 1,5 W + (1,5 \times 0,5) S = 1,35 G + 1,5 W + 0,75 S$$

### 3.2.4 Kombinacje oddziaływań dla wyjątkowych sytuacji obliczeniowych

Kombinacje oddziaływań dla wyjątkowych sytuacji obliczeniowych powinny zawierać jawne oddziaływanie wyjątkowe lub odnosić się do sytuacji po wystąpieniu wyjątkowego zdarzenia.

	Stałe oddziaływania	Wyjątkowe oddziaływanie	Główne oddziaływanie zmienne	Towarzyszące oddziaływania zmienne
$E_d =$	$\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$	$+$	$A_d$	$+$
			$(\psi_{1,1} \text{ lub } \psi_{2,1})$	$+$
			$Q_{k,1}$	$\sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Wybór pomiędzy  $\psi_{1,1} Q_{k,1}$  lub  $\psi_{2,1} Q_{k,1}$  powinien zależeć od danej wyjątkowej sytuacji obliczeniowej. Wskazówki podano w normie EN 1990 lub w Załączniku krajowym do tej normy.

### 3.3 Kombinacje SGU

#### 3.3.1 Stan graniczny użytkowości (SGU)

Aby sprawdzić stan graniczny użytkowości, należy się upewnić, że:

$$E_d \leq C_d$$

gdzie:

$E_d$  to wartość obliczeniowa wpływu oddziaływań określona w kryterium użytkowości,

$C_d$  to graniczna wartość obliczeniowa odpowiedniego kryterium użytkowości.

#### 3.3.2 Kombinacja charakterystyczna

Kombinacja charakterystyczna jest zwykle wykorzystywana w przypadku nieodwracalnych stanów granicznych.

	Stałe oddziaływania		Główne oddziaływanie zmienne		Towarzyszące oddziaływania zmienne
$E_d =$	$\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$	$+$	$Q_{k,1}$	$+$	$\sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Na przykład gdy śnieg jest głównym oddziaływaniem zmiennym:

$$E_d = G + S + 0,6 W$$

$$E_d = G + S + 0,7 Q \quad (Q \text{ jest obciążeniem użytkowym w biurcu})$$

#### 3.3.3 Kombinacja częsta

Kombinacja częsta jest zwykle wykorzystywana w przypadku odwracalnych stanów granicznych.

	Stałe oddziaływania		Główne oddziaływanie zmienne		Towarzyszące oddziaływania zmienne
$E_d =$	$\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$	$+$	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$+$	$\sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$

### Część 3: Oddziaływania

Na przykład gdy śnieg jest głównym oddziaływaniem zmiennym:

$$E_d = G + 0,2 S (\psi_2 = 0 \text{ dla oddziaływania wiatru})$$

$$E_d = G + 0,2 S + 0,3 Q (Q \text{ jest obciążeniem użytkowym w biurówcu})$$

#### 3.3.4 Kombinacja quasi-stała

Kombinacja quasi-stała wykorzystywana jest zwykle w przypadku długotrwałych skutków i ze względu na wygląd konstrukcji.

	Stałe oddziaływania		Zmienne oddziaływania
$E_d =$	$\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$	+	$\sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$

Na przykład:

$$E_d = G + 0,3 Q (Q \text{ jest obciążeniem użytkowym w biurówcu})$$

#### 3.3.5 Drgania stropu

W budynkach wielokondygnacyjnych, drgania stropu są czasem zaliczane do stanu granicznego użyteczności o krytycznym znaczeniu w projekcie. Eurokody nie zawierają specjalnej zasady w tym względzie. Ograniczenia mogą być podane w Załącznikach krajowych.

Zgodnie z prostą zasadą częstotliwość drgań powinna być wyższa niż wartość minimalna (przykładowo 3 lub 5 Hz); częstotliwość jest obliczana z całości obciążeń stałych i części obciążeń użytkowych  $I$  (na przykład:  $G + 0,2 I$ ). To podejście jest często zbyt zachowawcze, gdy tymczasem dostępne są bardziej zaawansowane metody, patrz dokument: *Drgania stropów — poradnik projektanta*<sup>[8]</sup>. Dodatkowe informacje podano w przewodniku *Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 4: Projekt wykonawczy*<sup>[9]</sup>.



## 4 ODDZIAŁYWANIA STAŁE

Ciężar własny konstrukcji stanowi zasadniczo główne obciążenie stałe. Jak podano w normie EN 1991-1-1, § 2.1(1), powinien on być zaliczony do oddziaływań stałych

W kombinacjach oddziaływań całkowity ciężar własny elementów konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych, łącznie ze stałymi instalacjami, powinien być przyjmowany jako pojedyncze oddziaływanie.

Do elementów niekonstrukcyjnych zalicza się zadaszenia, powierzchnie, pokrycia, ścianki działowe i wykładziny, poręcze, bariery ochronne, balustrady, okładziny ścian, podwieszane sufity, izolację termiczną, urządzenia zamocowane na stałe i wszystkie stałe instalacje (urządzenia do obsługi wind i ruchomych schodów, urządzenia grzewcze, wentylacyjne, elektryczne i klimatyzacyjne, rury bez ich zawartości, kanały i rurki kablowe).

Wartości charakterystyczne ciężaru własnego powinny być określone na podstawie wymiarów i ciężaru objętościowego elementów.

Wartości ciężaru objętościowego materiałów konstrukcyjnych podano w normie EN 1991-1-1, załącznik A (tabele od A.1 do A.5).

Na przykład:

Stal:  $\gamma = 77,0$  do  $78,5$  kN/m<sup>3</sup>

Zwykły żelbet  $\gamma = 25,0$  kN/m<sup>3</sup>

Aluminium:  $\gamma = 27,0$  kN/m<sup>3</sup>

W przypadku elementów wyprodukowanych (fasady, sufity i inne wyposażenie budynków) dane mogą być podane przez producenta.

## 5 OBCIĄŻENIA KONSTRUKCJI

W normie EN 1991-1-6 podano zasady wyznaczania oddziaływań podczas wykonywania konstrukcji. Zarówno w przypadku stanów granicznych użytkowalności jak i stanów granicznych nośności wymagana jest weryfikacja.

W tabeli 4.1 zdefiniowano obciążenia konstrukcji, które muszą zostać uwzględnione:

- Personel i narzędzia ręczne ( $Q_{ca}$ )
- Magazyn sprzętu ruchomego ( $Q_{cb}$ )
- Wyposażenie tymczasowe ( $Q_{cc}$ )
- Ruchome ciężkie maszyny i urządzenia ( $Q_{cd}$ )
- Nagromadzenie odpadów ( $Q_{ce}$ )
- Obciążenia wywierane przez części konstrukcji w stanie tymczasowym ( $Q_{cf}$ ).

Zalecane wartości są podane w tej samej tabeli, ale mogą też być podane w Załączniku krajowym.

W budynkach wielokondygnacyjnych, projektowanie stropów lub belek zespolonych powinno przebiegać w oparciu o normę EN 1991-1-6, § 4.11.2 celem wyznaczenia obciążeń konstrukcji podczas wylewania betonu.

## 6 OBCIĄŻENIA UŻYTKOWE

### 6.1 Ogólne

Zasadniczo obciążenia użytkowe budynków powinny być klasyfikowane jako oddziaływania zmienne nieumiejscowione. Wynikają one z użytkowania i zajmowania. Zalicza się do nich zwykle użytkowanie przez ludzi oraz zajmowanie przestrzeni przez meble, przedmioty ruchome i pojazdy z przewidywaniem zdarzeń rzadko występujących (koncentracja ludzi lub mebli, chwilowe przestawianie lub gromadzenie przedmiotów itp.). Przenośne ściany działowe należy traktować jako obciążenia użytkowe.

Obciążenia użytkowe mogą być modelowane jako obciążenia równomiernie rozłożone, obciążenia liniowe lub obciążenia skupione na dachach lub stropach, lub jako kombinacja tych obciążeń.

Powierzchnie stropów i dachów w budynkach są podzielone na kategorie zgodnie z ich użytkowaniem (tabela 6.1). Wartości charakterystyczne  $q_k$  (obciążenie rozłożone równomiernie) i  $Q_k$  (obciążenie skupione) związane z tymi kategoriami podano w tabeli 6.2 (lub w Załączniku krajowym).

W przypadku projektowania pojedynczego stropu lub dachu, obciążenie użytkowe powinno być uwzględnione jako oddziaływanie nieumiejscowione wywierane na najbardziej niekorzystną część powierzchni wpływu analizowanych skutków oddziaływania.

Jeśli występują obciążenia innych kondygnacji, można przyjąć, że są one rozłożone równomiernie (oddziaływania ustalone).

Wartości charakterystyczne obciążeń użytkowych są określone w paragrafie 6.3 normy EN 1991-1-1 w następujący sposób:

6.3.1 Powierzchnie mieszkalne, socjalne, handlowe i administracyjne

6.3.2 Powierzchnie składowania i działalności przemysłowej

6.3.3 Garaże i powierzchnie przeznaczone do ruchu pojazdów

6.3.4 Dachy.

### 6.2 Redukcja ze względu na obciążoną powierzchnię

W budynkach wielokondygnacyjnych, wartość charakterystyczna  $q_k$  obciążeń użytkowych na stropach i dostępnych dachach może zostać zredukowana przez współczynnik  $\alpha_A$ , dla kategorii od A do D, gdzie:

$$\alpha_A = \frac{5}{7}\psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1,0$$

Z ograniczeniem dla kategorii C i D:  $\alpha_A \geq 0,6$

gdzie:

$\psi_0$  to współczynnik zdefiniowany w normie EN 1990, załącznik A1, tabela A1.1.

$$A_0 = 10 \text{ m}^2$$

$A$  to obciążona powierzchnia

W Załączniku krajowym może być podana metoda alternatywna.

### 6.3 Redukcja ze względu na liczbę kondygnacji

W przypadku projektowania słupów i ścian obciążonych z wielu kondygnacji całkowite obciążenie użytkowe stropu każdej kondygnacji powinno być przyjmowane jako rozłożone równomiernie.

W przypadku kategorii od A do D całkowite obciążenie użytkowe słupów i ścian może być zredukowane przez współczynnik  $\alpha_n$ , gdzie:

$$\alpha_n = \frac{2 + (n - 2)}{n} \psi_0$$

gdzie:

$\psi_0$  to współczynnik zdefiniowany w normie EN 1990, załącznik A1, tabela A1.1.

$n$  to liczba kondygnacji ( $> 2$ ) ponad obciążonymi elementami konstrukcyjnymi tej samej kategorii.

W Załączniku krajowym może być podana metoda alternatywna.

### 6.4 Obciążenia poziome na attykach

Wartości charakterystyczne obciążeń liniowych  $q_k$  przyłożonych na wysokości ścian działowych lub attyk, nie wyższej niż 1,20 m, powinny być przyjmowane z tabeli 6.12 normy EN 1991-1-1 zawierającej zalecane wartości. W Załączniku krajowym mogą być podane inne wartości.

W przypadku powierzchni, na których może gromadzić się znaczny tłum ludzi, w związku z wydarzeniami publicznymi (np. na scenach, w aulach, salach konferencyjnych) zaleca się przyjmowanie obciążenia kategorii C5 z tabeli 6.1 w normie EN 1991-1-1.

W biurach (kategoria B) zalecana wartość z tabeli 6.12 normy EN 1991-1-1 wynosi:

$$q_k = \text{od } 0,2 \text{ do } 1,0 \text{ kN/m}$$

W Załączniku krajowym mogą być zdefiniowane inne wartości.

## 7 OBCIĄŻENIA ŚNIEGIEM

Obliczanie obciążeń śniegiem specjalnie dla budynków wielokondygnacyjnych jest bezzasadne. Pełne informacje, łącznie z przykładem praktycznym, zamieszczono w przewodniku *Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 3: Oddziaływania*<sup>[10]</sup>.

## 8 ODDZIAŁYWANIE WIATRU

### 8.1 Ogólne

Wyznaczenie oddziaływania wiatru zgodnie z normą EN 1991-1-4<sup>[4]</sup> opisano w przewodniku *Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 3: Oddziaływania*<sup>[10]</sup> dla budynku jednokondygnacyjnego. W przypadku budynku wielokondygnacyjnego obliczenia wyglądają prawie tak samo, z wyjątkiem dwóch elementów:

- Obliczenie współczynnika konstrukcyjnego  $c_s c_d$
- W przypadku smukłych budynków współczynnik ciśnienia zewnętrznego musi być obliczony dla różnych pasów wzdłuż wysokości budynku.

Zgodnie z normą EN 1991-1-4, § 6.2(1) współczynnik konstrukcyjny może wynosić 1, jeśli wysokość budynku jest mniejsza niż 15 m, jak zwykle bywa w przypadku budynków jednokondygnacyjnych. W przypadku budynków wielokondygnacyjnych, które są zwykle wyższe niż 15 m, współczynnik konstrukcyjny musi zostać wyznaczony. W punkcie 8.2 podano podstawową procedurę tego obliczenia według normy EN 1991-1-4, § 6.3.1(1).

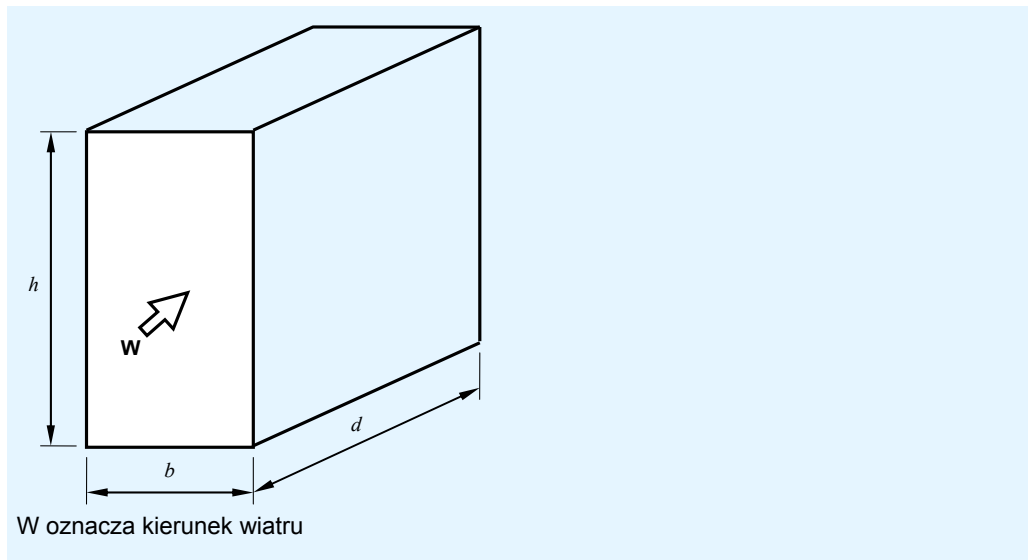
Szczegółowy przykład wraz z pełnym obliczeniem oddziaływania wiatru na budynek wielokondygnacyjny podano w załączniku A.

### 8.2 Współczynnik konstrukcyjny $c_s c_d$

Współczynnik konstrukcyjny  $c_s c_d$  należy obliczyć dla głównych kierunków wiatru, korzystając z równania podanego w normie EN 1991-1-4, § 6.3.1(1) pod warunkiem, że:

- Budynek ma kształt prostokątny o równoległych bokach, jak podano w normie EN 1991-1-4, § 6.3.1(2) i pokazano na rysunku 6.1
- Drgania o podstawowej częstotliwości odbywające się w płaszczyźnie zgodnej z kierunkiem wiatru są znaczące i kształt modalny ma stały znak.

To obliczenie wymaga wyznaczenia kilku parametrów pośrednich.



**Rysunek 8.1** Ogólne wymiary budynku

Proponowana jest następująca procedura:

1. Wymiar chropowatości  $z_0$  i minimalna wysokość  $z_{\min}$

Wartości te przyjmuje się z tabeli 4.1 normy EN 1991-1-4 w zależności od kategorii terenu.

2. Wysokość odniesienia  $z_s$

$$z_s = 0,6 h \quad (h \text{ to wysokość budynku wielokondygnacyjnego})$$

Jednakże dla  $z_s$  nie powinno się przyjmować wartości niższej niż  $z_{\min}$ .

3. Współczynnik rzeźby terenu (orografii)  $c_o(z_s)$

Zgodnie z § 4.3.3 normy EN 1991-1-4 wpływ rzeźby terenu może zostać pominięty, jeśli średnie nachylenie terenu nawietrznego jest mniejsze niż  $3^\circ$ . Wówczas:

$$c_o(z_s) = 1,0$$

W przeciwnym razie współczynnik ten można wyznaczyć z normy EN 1991-1-4, § A.3, lub z odpowiedniego Załącznika krajowego.

4. Współczynnik chropowatości  $c_r(z_s)$

Współczynnik  $c_r(z_s)$  musi być obliczony dla wysokości odniesienia zgodnie z normą EN 1991-1-4, § 4.3.2:

$$\text{Jeśli } z_{\min} \leq z_s \leq z_{\max} \quad c_r(z_s) = 0,19 (z_0/z_{0,II})^{0,07} \ln(z_s/z_0)$$

W przeciwnym razie, jeśli  $z_s < z_{\min}$   $c_r(z_s) = c_r(z_{\min})$

gdzie:  $z_{0,II} = 0,05$  m oraz  $z_{\max} = 200$  m

5. Współczynnik turbulencji  $k_1$

Może być on zdefiniowany w Załączniku krajowym. Zalecana wartość wynosi:

$$k_1 = 1,0$$

### Część 3: Oddziaływania

#### 6. Intensywność turbulencji $I_v(z_s)$

$$\text{Jeśli } z_{\min} \leq z_s \leq z_{\max} \quad I_v(z_s) = k_1 / [c_0(z_s) W(z_s/z_0)]$$

W przeciwnym razie, jeśli  $z_s < z_{\min}$   $I_v(z_s) = I_v(z_{\min})$

gdzie:  $z_{\max} = 200$  m

#### 7. Liniowa skala turbulencji $L(z_s)$

$$\text{Jeśli } z_{\min} \geq z_s \quad L(z_s) = L_t (z_s/z_t)^\alpha$$

W przeciwnym razie, jeśli  $z_s < z_{\min}$   $L(z_s) = L(z_{\min})$

gdzie:  $\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0)$  [ $z_0$  w metrach]

$$L_t = 300 \text{ m}$$

$$z_t = 200 \text{ m}$$

Uwaga: Niektóre z poniższych parametrów są wyznaczane przy użyciu załącznika B normy EN 1991-1-4, czyli metody zalecanej. Mogą one być również zdefiniowane w Załączniku krajowym.

#### 8. Współczynnik odpowiedzi rezonansowej $B^2$

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \left( \frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0,63}}$$

#### 9. Średnia prędkość wiatru $v_m(z_s)$

Średnia prędkość wiatru na wysokości odniesienia  $z_s$  obliczana jest z równania:

$$v_m(z_s) = c_0(z_s) c_r(z_s) v_b$$

Gdzie  $v_b$  to bazowa prędkość wiatru zgodnie z normą EN 1991-1-4, § 4.2(2).

#### 10. Częstotliwość podstawowa $n_{1,x}$

Procedura wymaga wyznaczenia podstawowej częstotliwości drgań budynku w kierunku wiatru. Poniższe równanie może być wykorzystane w przypadku budynków zwykłych w celu obliczenia przybliżonej wartości podstawowej częstotliwości drgań w Hz:

$$n_{1,x} = \frac{\sqrt{d}}{0,1h}$$

Wielkości  $d$  oraz  $h$  wyrażane są w metrach.

Dodatkowe informacje znajdują się w zaleceniach ECCS dotyczących obliczania wpływu wiatru na konstrukcje<sup>[11]</sup>.



11. Bezwymiarowa funkcja gęstości spektralnej mocy  $S_L(z_s, n_{1,x})$

$$S_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{6,8 f_L(z_s, n_{1,x})}{[1 + 10,2 f_L(z_s, n_{1,x})]^{5/3}}$$

gdzie:  $f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{n_{1,x} L(z_s)}{v_m(z_s)}$

12. Logarytmiczny dekrement tłumienia wewnętrznego  $\delta_s$

$\delta_s = 0,05$  dla konstrukcji stalowej (norma EN 1991-1-4, tabela F.2).

13. Logarytmiczny dekrement tłumienia aerodynamicznego  $\delta_a$

Logarytmiczny dekrement tłumienia aerodynamicznego dla podstawowej częstotliwości drgań jest obliczany zgodnie z normą EN 1991-1-4, § F.5(4):

$$\delta_a = \frac{c_f \rho b v_m(z_s)}{2 n_{1,x} m_e}$$

gdzie:

$c_f$  to współczynnik siły w kierunku wiatru

$c_f = c_{f,0} \psi_f \psi_\lambda$  (norma EN-1991-1-4, § 7.6(1))

W przypadku budynków zwykłych współczynniki redukcyjne  $\psi_f$  i  $\psi_\lambda$  mogą być równe 1,0.

$c_{f,0}$  otrzymuje się z rysunku 7.23 w normie EN 1991-1-4.

$\rho$  to gęstość powietrza, określona w normie EN 1991-1-4, § 4.5(1). Zalecana wartość wynosi:  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

$m_e$  jest to masa równoważna na jednostkę długości zgodnie z normą EN 1991-1-4, § F.4. W przypadku budynku wielokondygnacyjnego, w którym masa jest w przybliżeniu taka sama dla wszystkich kondygnacji, można przyjąć wartość równą masie na jednostkę długości  $m$ .  $m_e$  wyraża więc całkowitą masę budynku podzieloną przez jego wysokość.

14. Logarytmiczny dekrement tłumienia dzięki specjalnym urządzeniom  $\delta_d$

$\delta_d = 0$  gdy nie wykorzystuje się żadnych specjalnych urządzeń.

15. Logarytmiczny dekrement  $\delta$

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d$$

16. Funkcje admitancji aerodynamicznej  $R_h$  i  $R_b$

Są one obliczane za pomocą równania podanego w normie EN 1991-1-4, § B.2(6) w funkcji zdefiniowanych powyżej parametrów:  $b, h, L(z_s), f_L(z_s, n_{1,x})$ .

### Część 3: Oddziaływania

17. Współczynnik odpowiedzi rezonansowej  $R^2$

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2\delta} S_L(z_s, n_{1,x}) \times R_h \times R_b$$

18. Współczynnik wartości szczytowej  $k_p$

Współczynnik wartości szczytowej można obliczyć w następujący sposób (norma EN 1991-1-4, § B.2(3)):

$$k_p = \text{Max} \left( \sqrt{2 \times \ln(vT)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \times \ln(vT)}}; 3,0 \right)$$

gdzie:

$$v = \text{Max} \left( n_{1,x} \times \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}}; 0,08 \text{ Hz} \right)$$

$T$  to czas uśredniania dla średniej prędkości wiatru:  $T = 600 \text{ s}$

19. Na koniec można obliczyć współczynnik konstrukcyjny  $c_s c_d$ :

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 k_p I_v(z_s) \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 I_v(z_s)}$$

## 9 WPŁYW TEMPERATURY

Budynki, które nie są poddane codziennym lub sezonowym zmianom klimatycznym nie muszą być zawsze sprawdzane pod względem oddziaływań termicznych. W przypadku dużych budynków zazwyczaj dobrą praktyką jest projektowanie złączy kompensacyjnych, tak aby zmiany temperatury nie wywoływały sił wewnętrznych w konstrukcji. Informacje na temat projektowania złączy kompensacyjnych zawarte są w punkcie 6.4 przewodnika *Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 2: Projekt koncepcyjny*<sup>[12]</sup>.

Gdy wpływ temperatury musi zostać uwzględniony, zasady jego wyznaczania można znaleźć w normie EN 1993-1-5<sup>[5]</sup>.

## LITERATURA

- 1 EN 1990:2002: Eurokod Podstawy projektowania konstrukcji
- 2 EN 1991-1-1:2002: Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach
- 3 EN 1991-1-3:2003: Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania ogólne. Obciążenia śniegiem
- 4 EN 1991-1-4:2005: Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru
- 5 EN 1991-1-5:2003: Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania ogólne. Oddziaływanie termiczne
- 6 EN 1991-1-6:2005: Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania ogólne. Oddziaływania w czasie wykonywania konstrukcji.
- 7 EN 1998-1:2004: Eurokod 8 Projektowanie konstrukcji odpornych na wstrząsy sejsmiczne. Reguły ogólne, oddziaływania sejsmiczne i reguły dla budynków
- 8 HECHLER, O., FELDMANN, M., HEINEMEYER, C. i GALANTI, F. Drgania stropów — poradnik projektanta Eurosteel 2008.
- 9 Konstrukcje stalowe w Europie Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 4: Projekt wykonawczy
- 10 Konstrukcje stalowe w Europie Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 3: Oddziaływania
- 11 Recommendations for calculating the effect of wind on constructions (Zalecenia dotyczące obliczania wpływu wiatru na konstrukcje) Publikacja Nr 52. 1987. ECCS-CECM-EKS (dostępna na stronie internetowej: [www.steel-construct.com](http://www.steel-construct.com))
- 12 Recommendations for calculating the effect of wind on constructions (Zalecenia dotyczące obliczania wpływu wiatru na konstrukcje) Publikacja Nr 52. 1987. ECCS-CECM-EKS (dostępna na stronie internetowej: [www.steel-construct.com](http://www.steel-construct.com))

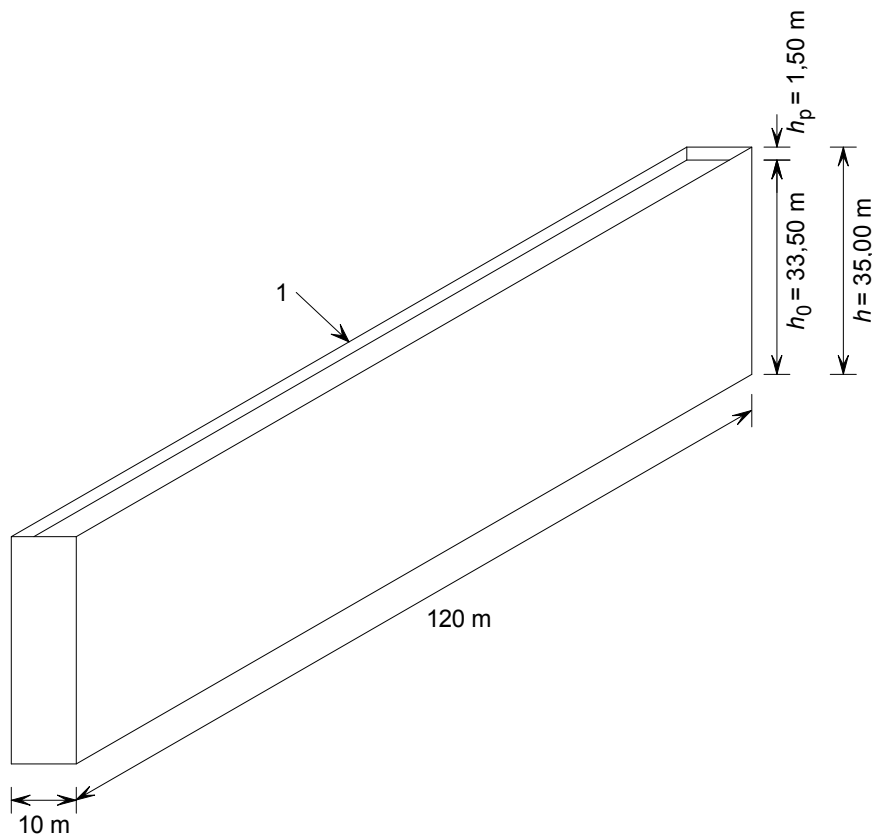


## **ZAŁĄCZNIK A**

### **Przykład praktyczny: Oddziaływanie wiatru na budynek wielokondygnacyjny**

## 1. Dane

W niniejszym przykładzie praktycznym wyznaczane jest zgodnie z normą EN 1991-1-4 oddziaływanie wiatru na budynek wielokondygnacyjny.



1 Attyka

**Rysunek A.1 Wymiary budynku**

Budynek jest wzniesiony na obszarze podmiejskim, na którym średnie nachylenie terenu nawietrznego jest małe ( $3^\circ$ ).

Chropowatość terenu jest taka sama na całym otaczającym obszarze i w okolicy nie ma żadnych dużych i wysokich budynków.

Wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru wynosi:

$$V_{b,0} = 26 \text{ m/s}$$

Spad dachu jest taki, że:  $\alpha < 5^\circ$

Tytuł	ZAŁĄCZNIK A Przykład praktyczny: Oddziaływanie wiatru na budynek wielokondygnacyjny	2 z 18
<p><b>2. Wartość szczytowa ciśnienia prędkości</b></p> <p><b>2.1. Ogólne</b></p> <p>W przypadku budynku wielokondygnacyjnego wartość szczytowa ciśnienia prędkości zależy zasadniczo od kierunku wiatru, ponieważ wysokość budynku jest większa niż szerokość fasady od strony nawietrznej. Z tego względu należy rozróżnić:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Napór wiatru na dłuższy bok</li> <li>• Napór wiatru na ścianę szczytową</li> </ul> <p>Obliczenie wartości szczytowej ciśnienia prędkości wykonuje się zgodnie ze szczegółową procedurą opisaną w punkcie 7.2.1 przewodnika <i>Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 3: Oddziaływania</i><sup>[10]</sup>.</p> <p><b>2.2. Napór wiatru na dłuższy bok</b></p> <p><b>1 Wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru</b></p> <p><math>v_{b,0} = 26 \text{ m/s}</math></p> <p><b>2 Bazowa prędkość wiatru</b></p> <p><math>v_b = c_{dir} c_{season} v_{b,0}</math></p> <p>Dla współczynników <math>c_{dir}</math> i <math>c_{season}</math> zalecane są następujące wartości:</p> <p><math>c_{dir} = 1,0</math></p> <p><math>c_{season} = 1,0</math></p> <p>Wówczas: <math>v_b = v_{b,0} = 26 \text{ m/s}</math></p> <p><b>3 Bazowe ciśnienie prędkości</b></p> <p><math>q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2</math></p> <p>gdzie:</p> <p><math>\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3</math></p> <p>Wówczas: <math>q_b = 0,5 \times 1,25 \times 26^2 = 422,5 \text{ N/m}^2</math></p> <p><b>4 Współczynnik terenu</b></p> <p><math>k_r = 0,19 (z_0 / z_{0,II})^{0,07}</math></p> <p>Teren jest kategorii III. Wówczas:</p> <p><math>z_0 = 0,3 \text{ m}</math> (i <math>z_{min} = 5 \text{ m}</math>)</p> <p><math>z_{0,II} = 0,05 \text{ m}</math></p> <p>Wówczas: <math>k_r = 0,19 \times (0,3 / 0,05)^{0,07} = 0,215</math></p> <p><b>5 Współczynnik chropowatości</b></p> <p><math>c_r(z) = k_r \ln(z/z_0)</math> dla: <math>z_{min} \leq z \leq z_{max}</math></p> <p><math>c_r(z) = c_r(z_{min})</math> dla: <math>z \leq z_{min}</math></p>		

EN 1991-1-4  
§ 4.2(2)

EN 1991-1-4  
§ 4.5(1)

EN 1991-1-4  
§ 4.3.2(1)

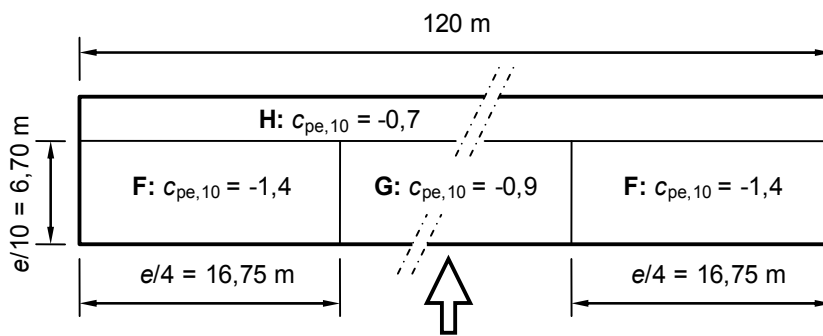
EN 1991-1-4  
§ 4.3.2



Tytuł	ZAŁĄCZNIK A Przykład praktyczny: Oddziaływanie wiatru na budynek wielokondygnacyjny	3 z 18
<p>gdzie:</p> $z_{\max} = 200 \text{ m}$ <p><math>z</math> to wysokość odniesienia</p> <p>Całkowita wysokość budynku wynosi: <math>h = 35 \text{ m}</math></p> <p>Szerokość ściany wynosi: <math>b = 120 \text{ m}</math></p> <p><math>h \leq b</math> zatem <math>q_p(z) = q_p(z_e)</math> przy: <math>z_e = h = 35 \text{ m}</math></p> <p>Zatem <math>c_r(z) = 0,215 \times \ln(35/0,3) = 1,023</math></p> <p><b>6 Współczynnik rzeźby terenu</b></p> <p>Ponieważ nachylenie terenu jest mniejsze niż <math>3^\circ</math>, wykorzystywana jest wartość zalecana:</p> $c_o(z) = 1,0$ <p><b>7 Współczynnik turbulencji</b></p> <p>Wykorzystuje się zalecaną wartość:</p> $k_1 = 1,0$ <p><b>8 Wartość szczytowa ciśnienia prędkości</b></p> $q_p(z) = [1 + 7 I_v(z)] \times 0,5 \rho v_m^2(z)$ <p>gdzie:</p> $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \text{ (wartość zalecana)}$ <p><math>v_m(z)</math> to średnia prędkość wiatru na wysokości <math>z</math> powyżej poziomu terenu</p> $v_m(z) = c_r(z) c_o(z) v_b$ $= 1,023 \times 1,0 \times 26$ $= 26,6 \text{ m/s}$ <p><math>I_v(z)</math> to intensywność turbulencji</p> $I_v(z) = k_1 / [c_o(z) \ln(z/z_0)] \quad \text{dla: } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$ $I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{dla: } z \leq z_{\min}$ <p>Wówczas: <math>I_v(z) = 1,0 / [1,0 \times \ln(35/0,3)] = 0,21</math></p> $q_p(z) = [1 + 7 \times 0,21] \times 0,5 \times 1,25 \times 26,6^2 \times 10^{-3}$ $= 1,09 \text{ kN/m}^2$ <p><b>2.3. Napór wiatru na ścianę szczytową</b></p> <p>Kilka parametrów jest identycznych jak w przypadku naporu wiatru na dłuższy bok budynku, a mianowicie:</p> <p><b>1 Wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru</b></p> $v_{b,0} = 26 \text{ m/s}$ <p><b>2 Bazowa prędkość wiatru</b></p> $v_b = 26 \text{ m/s}$		<p>EN 1991-1-4 Rysunek 7.4</p> <p>EN 1991-1-4 § 4.3.3</p> <p>EN 1991-1-4 § 4.4(1)</p> <p>EN 1991-1-4 § 4.5(1)</p> <p>EN 1991-1-4 § 4.2(2)</p>

Tytuł	ZAŁĄCZNIK A Przykład praktyczny: Oddziaływanie wiatru na budynek wielokondygnacyjny	4 z 18																																									
<p><b>3 Bazowe ciśnienie prędkości</b>  <math>q_b = 422,5 \text{ N/m}^2</math></p> <p><b>4 Współczynnik terenu</b>  <math>k_r = 0,215</math></p> <p><b>5 Współczynnik chropowatości</b>            Całkowita wysokość budynku wynosi: <math>h = 35 \text{ m}</math>            Szerokość ściany wynosi: <math>b = 10 \text{ m}</math>  <math>h &gt; 2b</math>            Zatem branych jest pod uwagę kilka pasów:            – Pas dolny pomiędzy <math>0</math> a <math>b = 10 \text{ m}</math>            – Pas górny pomiędzy <math>(h - b) = 25 \text{ m}</math> a <math>h = 35 \text{ m}</math>            Pasy pośrednie z wysokością równą: <math>h_{\text{strip}} = 5 \text{ m}</math>            Wartości <math>c_r(z)</math> są podane w tabeli A.1.</p> <p><b>6 Współczynnik rzeźby terenu</b>  <math>c_o(z) = 1,0</math></p> <p><b>7 Współczynnik turbulencji</b>  <math>k_l = 1,0</math></p> <p><b>8 Wartość szczytowa ciśnienia prędkości</b>            Wartość szczytowa ciśnienia prędkości jest obliczana dla każdego pasa, przy <math>z = z_e</math>, co oznacza pozycję na górze pasa (patrz Tabela A.1).</p> <p><b>Tabela A.1 Wartość szczytowa ciśnienia prędkości — napór wiatru na ścianę szczytową</b></p> <table border="1" data-bbox="188 1346 1034 1608"> <thead> <tr> <th></th> <th><math>z_e</math></th> <th><math>c_r(z)</math></th> <th><math>v_m(z)</math> m/s</th> <th><math>I_v(z)</math></th> <th><math>q_p(z)</math> kN/m<sup>2</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0</td> <td>10 m</td> <td>0,75</td> <td>19,5</td> <td>0,29</td> <td>0,72</td> </tr> <tr> <td></td> <td>10 m</td> <td>15 m</td> <td>0,84</td> <td>21,8</td> <td>0,26</td> <td>0,84</td> </tr> <tr> <td></td> <td>15 m</td> <td>20 m</td> <td>0,90</td> <td>23,4</td> <td>0,24</td> <td>0,92</td> </tr> <tr> <td></td> <td>20 m</td> <td>25 m</td> <td>0,95</td> <td>24,7</td> <td>0,23</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>25 m</td> <td>35 m</td> <td>1,02</td> <td>26,5</td> <td>0,21</td> <td>1,09</td> </tr> </tbody> </table>		$z_e$	$c_r(z)$	$v_m(z)$ m/s	$I_v(z)$	$q_p(z)$ kN/m <sup>2</sup>		0	10 m	0,75	19,5	0,29	0,72		10 m	15 m	0,84	21,8	0,26	0,84		15 m	20 m	0,90	23,4	0,24	0,92		20 m	25 m	0,95	24,7	0,23	1,00		25 m	35 m	1,02	26,5	0,21	1,09	<p>§ 4.5(1)</p> <p>§ 4.3.2(1)</p> <p>§ 4.3.2 EN 1991-1-4 Rysunek 7.4</p> <p>EN 1991-1-4 § 4.3.3</p> <p>§ 4.4(1)</p>	
	$z_e$	$c_r(z)$	$v_m(z)$ m/s	$I_v(z)$	$q_p(z)$ kN/m <sup>2</sup>																																						
	0	10 m	0,75	19,5	0,29	0,72																																					
	10 m	15 m	0,84	21,8	0,26	0,84																																					
	15 m	20 m	0,90	23,4	0,24	0,92																																					
	20 m	25 m	0,95	24,7	0,23	1,00																																					
	25 m	35 m	1,02	26,5	0,21	1,09																																					

Tytuł	ZAŁĄCZNIK A Przykład praktyczny: Oddziaływanie wiatru na budynek wielokondygnacyjny	5 z 18
<p><b>3. Ciśnienie wiatru</b></p> <p><b>3.1. Współczynniki ciśnienia zewnętrznego</b></p> <p><b>3.1.1. Ściany pionowe</b></p> <p>Napór wiatru na dłuższy bok:</p> <p><math>b = 120</math> m (wymiar poprzeczny do kierunku wiatru)</p> <p><math>d = 10</math> m</p> <p><math>h = 35</math> m</p> <p><math>h / d = 3,5</math></p> <p><math>e = \text{Min}(b ; 2 h) = 70</math> m</p> <p>Strefa A (ściany szczytowe): <math>c_{pe,10} = -1,2 (e &gt; 5d)</math></p> <p>Strefa D (nawietrzna): <math>c_{pe,10} = +0,8</math></p> <p>Strefa E (zawietrzna): <math>c_{pe,10} = -0,6</math></p> <p>Napór wiatru na ścianę szczytową:</p> <p><math>b = 10</math> m (wymiar poprzeczny do kierunku wiatru)</p> <p><math>d = 120</math> m</p> <p><math>h = 35</math> m</p> <p><math>h / d = 0,29</math></p> <p><math>e = \text{Min}(b ; 2 h) = 10</math> m</p> <p><u>UUDłuższe boki:</u></p> <p>Strefa A: <math>c_{pe,10} = -1,2 (e &lt; d)</math> wzdłuż <math>e/5 = 2</math> m</p> <p>Strefa B: <math>c_{pe,10} = -0,8</math> wzdłuż <math>4/5 e = 8</math> m</p> <p>Strefa C: <math>c_{pe,10} = -0,5</math></p> <p><u>Ściany szczytowe (<math>h/d \approx 0,25</math>):</u></p> <p>Strefa D (nawietrzna): <math>c_{pe,10} = +0,7</math></p> <p>Strefa E (zawietrzna): <math>c_{pe,10} = -0,3</math> (metodą interpolacji liniowej)</p> <p><b>3.1.2. Dach płaski z attykami</b></p> <p>Współczynniki ciśnienia zewnętrznego zależą od stosunku:</p> <p><math>h_p / h_0 = 1,50 / 33,50 = 0,045</math></p> <p>Napór wiatru na dłuższy bok:</p> <p><math>e = \text{Min}(b = 120 \text{ m}; 2 h_0 = 67 \text{ m}) = 67</math> m</p> <p>Współczynniki ciśnienia zewnętrznego są podane na rysunku A.2 dla naporu wiatru na dłuższy bok.</p>		
		EN 1991-1-4 § 7.2.2(2) Rysunek 7.5 Tabela 7.1
		EN 1991-1-4 § 7.2.2(2) Rysunek 7.5 Tabela 7.1
		EN 1991-1-4 § 7.2.3 Rysunek 7.6 Tabela 7.2

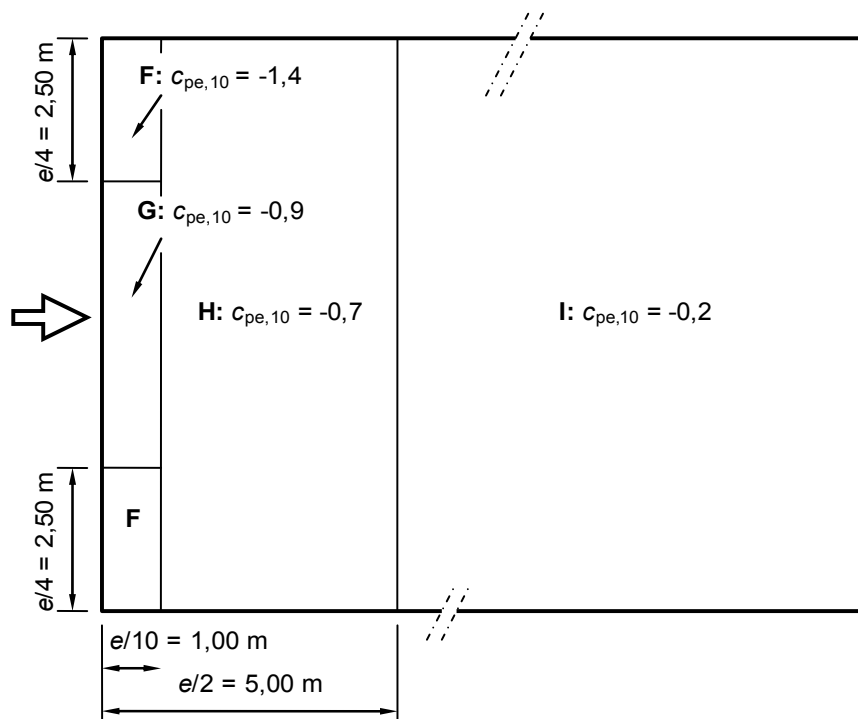


**Rysunek A.2 Współczynniki ciśnienia zewnętrznego na dachu — napór wiatru na dłuższy bok**

Napór wiatru na ścianę szczytową:

$$e = \text{Min}(b = 10 \text{ m} ; 2 h_0 = 67 \text{ m}) = 10 \text{ m}$$

Współczynniki ciśnienia zewnętrznego są podane na rysunku A.3 dla naporu wiatru na ścianę szczytową.



**Rysunek A.3 Współczynniki ciśnienia zewnętrznego na dachu — napór wiatru na ścianę szczytową**

Tytuł	ZAŁĄCZNIK A Przykład praktyczny: Oddziaływanie wiatru na budynek wielokondygnacyjny	7 z 18
<p><b>3.2. Współczynnik konstrukcyjny</b></p> <p><b>3.2.1. Ogólne</b></p> <p>Współczynnik konstrukcyjny <math>c_s c_d</math> jest obliczany z następującego równania, dla naporu wiatru na dłuższy bok i dla naporu wiatru na ścianę szczytową:</p> $c_s c_d = \frac{1 + 2 k_p I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 I_v(z_s)}$ <p>Obliczenie wykonuje się zgodnie z procedurą podaną w punkcie 8.2 niniejszego przewodnika.</p> <p><b>3.2.2. Napór wiatru na dłuższy bok</b></p> <p>Wymiary: <math>b = 120</math> m i <math>h = 35</math> m</p> <p><b>1 Teren jest kategorii III.</b> Wówczas: <math>z_0 = 0,30</math> m i <math>z_{\min} = 5</math> m</p> <p><b>2 Wysokość odniesienia:</b> <math>z_s = 0,6 h = 0,6 \times 35 = 21</math> m (<math>&gt; z_{\min} = 5</math> m)</p> <p><b>3 Współczynnik rzeźby terenu</b> Ponieważ nachylenie terenu nawietrznego jest mniejsze niż <math>3^\circ</math>, <math>c_0(z_s) = 1,0</math></p> <p><b>4 Współczynnik chropowatości</b> Ponieważ <math>z_{\min} \leq z_s \leq z_{\max}</math> (<math>= 200</math> m)  <math>c_r(z_s) = 0,19 (z_0/z_{0,II})^{0,07} \ln(z_s/z_0)</math>  <math>= 0,19 \times (0,3 / 0,05)^{0,07} \times \ln(21/0,3)</math>  <math>= 0,915</math></p> <p><b>5 Współczynnik turbulencji (wartość zalecana):</b> <math>k_1 = 1,0</math></p> <p><b>6 Intensywność turbulencji</b> Ponieważ <math>z_{\min} \leq z_s \leq z_{\max}</math> (<math>= 200</math> m)  <math>I_v(z_s) = k_1 / [c_0(z_s) \ln(z_s/z_0)]</math>  <math>= 1,0 / [1,0 \times \ln(21 / 0,3)]</math>  <math>= 0,235</math></p> <p><b>7 Liniowa skala turbulencji</b> Ponieważ <math>z_s &gt; z_{\min}</math>: <math>L(z_s) = L_t (z_s/z_t)^\alpha</math>  <math>L_t = 300</math> m  <math>z_t = 200</math> m  <math>\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0) = 0,67 + 0,05 \ln(0,30) = 0,61</math>  Wówczas: <math>L(z_s) = 300 \times (21/200)^{0,61} = 75,9</math> m</p>		

Tytuł	ZAŁĄCZNIK A Przykład praktyczny: Oddziaływanie wiatru na budynek wielokondygnacyjny	8 z 18
<p><b>8 Współczynnik odpowiedzi rezonansowej</b></p> $B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \left( \frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0,63}} = \frac{1}{1 + 0,9 \left( \frac{120 + 35}{75,9} \right)^{0,63}} = 0,415$	<p><b>9 Średnia prędkość wiatru na wysokości odniesienia <math>z_s</math></b></p> $v_m(z_s) = c_r(z_s) c_0(z_s) v_b$ $= 0,915 \times 1,0 \times 26 = 23,8 \text{ m/s}$ <p><b>10 Częstotliwość podstawowa <math>n_{1,x}</math></b></p> <p>Można ją oszacować na podstawie uproszczonego wzoru: <math>n_{1,x} = \frac{\sqrt{d}}{0,1h}</math></p> $n_{1,x} = \frac{\sqrt{10}}{0,1 \times 35} = 0,9 \text{ Hz}$ <p><b>11 Bezwymiarowa funkcja gęstości spektralnej mocy</b></p> $S_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{6,8 f_L(z_s, n_{1,x})}{(1 + 10,2 f_L(z_s, n_{1,x}))^{5/3}}$ $f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{n_{1,x} L(z_s)}{v_m(z_s)}$ $f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{0,9 \times 75,9}{23,8} = 2,87$ <p>Wówczas: <math>S_L(z, n) = \frac{6,8 \times 2,87}{(1 + 10,2 \times 2,87)^{5/3}} = 0,0664</math></p>	<p>EN 1991-1-4 § B.2(2)</p> <p>EN 1991-1-4 § 4.3.1</p> <p>EN 1991-1-4 § B.1(2)</p> <p>EN 1991-1-4 § F.5(2) Tabela F.2</p> <p>EN 1991-1-4 § F.5(4)</p> <p>EN 1991-1-4 § F.5(1)</p>
<p><b>12 Logarytmiczny dekrement tłumienia wewnętrznego</b></p> $\delta_s = 0,05$	<p><b>13 Logarytmiczny dekrement tłumienia aerodynamicznego <math>\delta_a</math></b></p> $\delta_a = \frac{c_f \rho b v_m(z_s)}{2 n_{1,x} m_e}$ $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ $c_f = c_{f,0} = 2,0 \text{ dla } d/b = 10/120 = 0,083$ <p><math>m_e</math> to masa równoważna na jednostkę długości: <math>m_e = 150 \text{ t/m}</math></p> <p>Stąd: <math>\delta_a = \frac{2 \times 1,25 \times 120 \times 23,8}{2 \times 0,9 \times 150 \times 10^3} = 0,026</math></p>	<p><b>14 Logarytmiczny dekrement tłumienia dzięki specjalnym urządzeniom</b></p> $\delta_d = 0 \text{ (brak specjalnych urządzeń)}$
<p><b>15 Logarytmiczny dekrement</b></p> $\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d = 0,05 + 0,026 + 0 = 0,076$		

Tytuł	ZAŁĄCZNIK A Przykład praktyczny: Oddziaływanie wiatru na budynek wielokondygnacyjny	9 z 18
<p><b>16 Funkcje admitancji aerodynamicznej</b></p> <p>Funkcja <math>R_h</math>:</p> $R_h(\eta_h) = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h})$ $\eta_h = \frac{4,6h}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{4,6 \times 35}{75,9} \times 2,87 = 6,09$ <p>Zatem, otrzymujemy: <math>R_h(\eta_h) = 0,15</math></p> <p>Funkcja <math>R_b</math>:</p> $R_b(\eta_b) = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b})$ $\eta_b = \frac{4,6b}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{4,6 \times 120}{75,9} \times 2,87 = 20,9$ <p>Zatem, otrzymujemy: <math>R_b(\eta_b) = 0,046</math></p> <p><b>17 Współczynnik odpowiedzi rezonansowej</b></p> $R^2 = \frac{\pi^2}{2\delta} S_L(z_s, n_{1,x}) \times R_h \times R_b$ $= \pi^2 \times 0,0664 \times 0,15 \times 0,046 / (2 \times 0,076)$ $= 0,0297$ <p><b>18 Współczynnik wartości szczytowej</b></p> $v = n_{1,x} \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}}$ $= 0,9 \times \sqrt{\frac{0,0297}{0,415 + 0,0297}} = 0,23 \text{ Hz} \quad (> 0,08 \text{ Hz})$ $k_p = \sqrt{2 \times \ln(vT)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \times \ln(vT)}}$ $T = 600 \text{ s}$ <p>Wówczas: <math>k_p = \sqrt{2 \times \ln(0,23 \times 600)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \times \ln(0,23 \times 600)}} = 3,33</math></p> <p><b>19 Współczynnik konstrukcyjny dla naporu wiatru na dłuższy bok</b></p> $c_s c_d = \frac{1 + 2 \times 3,33 \times 0,235 \times \sqrt{0,415 + 0,0297}}{1 + 7 \times 0,235} = 0,773$		

Tytuł	ZAŁĄCZNIK A Przykład praktyczny: Oddziaływanie wiatru na budynek wielokondygnacyjny	10 z 18
<p><b>3.2.3. Napór wiatru na ścianę szczytową</b></p> <p>Wymiary: <math>b = 10</math> m i <math>h = 35</math> m</p> <p>Kilka parametrów pozostaje bez zmian w stosunku do naporu wiatru na dłuższy bok.</p> <p><b>1 Teren kategorii III:</b>  <math>z_0 = 0,30</math> m  <math>z_{\min} = 5</math> m</p> <p><b>2 Wysokość odniesienia:</b>  <math>z_s = 21</math> m (<math>&gt; z_{\min} = 5</math> m)</p> <p><b>3 Współczynnik rzeźby terenu</b>  Ponieważ nachylenie terenu nawietrznego jest mniejsze niż <math>3^\circ</math>, <math>c_o(z_s) = 1,0</math></p> <p><b>4 Współczynnik chropowatości:</b>  <math>c_r(z_s) = 0,915</math></p> <p><b>5 Współczynnik turbulencji:</b>  <math>k_1 = 1,0</math></p> <p><b>6 Intensywność turbulencji:</b>  <math>I_v(z_s) = 0,235</math></p> <p><b>7 Liniowa skala turbulencji:</b>  <math>L(z_s) = 75,9</math> m</p> <p><b>8 Współczynnik odpowiedzi rezonansowej</b></p> $B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \left( \frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0,63}} = \frac{1}{1 + 0,9 \left( \frac{10+35}{75,9} \right)^{0,63}} = 0,607$ <p><b>9 Średnia prędkość wiatru na wysokości odniesienia <math>z_s</math></b>  <math>v_m(z_s) = 23,8</math> m/s</p> <p><b>10 Częstotliwość podstawowa <math>n_{1,x}</math></b></p> <p>Można ją oszacować, korzystając z uproszczonego wzoru: <math>n_{1,x} = \frac{\sqrt{d}}{0,1h}</math></p> $n_{1,x} = \frac{\sqrt{120}}{0,1 \times 35} = 3,1 \text{ Hz}$		<p>EN 1991-1-4 § B.2(2)</p>



Tytuł	ZAŁĄCZNIK A Przykład praktyczny: Oddziaływanie wiatru na budynek wielokondygnacyjny	11 z 18
<p><b>11 Bezwymiarowa funkcja gęstości spektralnej mocy</b></p> $S_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{6,8 f_L(z_s, n_{1,x})}{(1 + 10,2 f_L(z_s, n_{1,x}))^{5/3}}$ $f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{n_{1,x} L(z_s)}{v_m(z_s)} = \frac{3,1 \times 75,9}{23,8} = 9,89$ <p>Wówczas: <math>S_L(z, n) = \frac{6,8 \times 9,89}{(1 + 10,2 \times 9,89)^{5/3}} = 0,0302</math></p> <p><b>12 Logarytmiczny dekrement tłumienia wewnętrznego</b></p> $\delta_s = 0,05$ <p><b>13 Logarytmiczny dekrement tłumienia aerodynamicznego <math>\delta_a</math></b></p> $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ $c_f = c_{f,0} = 0,9 \quad \text{dla } d/b = 120/10 = 12$ <p><math>m_e</math> to masa równoważna na jednostkę długości: <math>m_e = 150 \text{ t/m}</math></p> <p>Stąd: <math>\delta_a = \frac{0,9 \times 1,25 \times 10 \times 23,8}{2 \times 3,1 \times 150,10^3} = 0,0003</math></p> <p><b>14 Logarytmiczny dekrement tłumienia dzięki specjalnym urządzeniom</b></p> $\delta_d = 0 \text{ (brak specjalnych urządzeń)}$ <p><b>15 Logarytmiczny dekrement</b></p> $\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d = 0,05 + 0,0003 + 0 = 0,0503$ <p><b>16 Funkcje admitancji aerodynamicznej</b></p> <p>Funkcja <math>R_h</math>:</p> $\eta_h = \frac{4,6h}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{4,6 \times 35}{75,9} \times 9,89 = 21,0$ <p>Zatem, otrzymujemy: <math>R_h(\eta_h) = 0,0465</math></p> <p>Funkcja <math>R_b</math>:</p> $\eta_b = \frac{4,6b}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{4,6 \times 10}{75,9} \times 9,89 = 5,99$ <p>Zatem, otrzymujemy: <math>R_b(\eta_b) = 0,153</math></p> <p><b>17 Współczynnik odpowiedzi rezonansowej</b></p> $R^2 = \pi^2 \times 0,0302 \times 0,0465 \times 0,153 / (2 \times 0,0503)$ $= 0,0211$		<p>EN 1991-1-4 § B.1(2)</p> <p>EN 1991-1-4 § F.5(4)</p> <p>EN 1991-1-4 § F.5(1)</p> <p>EN 1991-1-4 § B.2(6)</p> <p>EN 1991-1-4 § B.2(6)</p>

Tytuł	ZAŁĄCZNIK A Przykład praktyczny: Oddziaływanie wiatru na budynek wielokondygnacyjny	12 z 18
<p><b>18 Współczynnik wartości szczytowej</b></p> $v = 3,1 \times \sqrt{\frac{0,0211}{0,607 + 0,0211}} = 0,568 \text{ Hz } (> 0,08 \text{ Hz})$ $k_p = \sqrt{2 \times \ln(0,568 \times 600)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \times \ln(0,568 \times 600)}} = 3,59$ <p><b>19 Współczynnik konstrukcyjny dla naporu wiatru na dłuższy bok</b></p> $c_s c_d = \frac{1 + 2 \times 3,59 \times 0,235 \times \sqrt{0,607 + 0,0211}}{1 + 7 \times 0,235} = 0,884$ <p><b>3.3. Współczynniki ciśnienia wewnętrznego</b></p> <p><b>3.3.1. Standardowa sytuacja obliczeniowa</b></p> <p>Przyjmuje się, że drzwi i okna są zamknięte podczas gwałtownych burz, zatem:</p> $c_{pi} = +0,2$ <p>oraz <math>c_{pi} = -0,3</math></p> <p>Jeśli wypływ powietrza jest równomierny wokół budynku, wysokość odniesienia dla ciśnienia wewnętrznego wynosi <math>z_i = z_e</math>. Stąd:</p> $q_p(z_i) = q_p(z_e)$ <p><b>3.3.2. Wyjątkowa sytuacja obliczeniowa</b></p> <p>Najpoważniejszy przypadek to taki, gdy otwór znajduje się w strefie o najwyższej wartości współczynnika ciśnienia zewnętrznego <math> c_{pe} </math>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Okna otwarte przypadkowo od strony nawietrznej, przy naporze wiatru na dłuższy bok konstrukcji. Ta elewacja jest dominująca i powierzchnia otworów jest równa trzykrotności powierzchni otworów w pozostałych elewacjach. Stąd: <math display="block">c_{pi} = 0,9 \quad c_{pe} = 0,9 \times (+0,8) = 0,72</math> <p>Szczytowa wartość ciśnienia prędkości osiąga maksimum na szczycie budynku:</p> <math display="block">q_p(z_i) = q_p(z_e) = 1,09 \text{ kN/m}^2</math> </li> <li>Okna otwarte przypadkowo od strony zawietrznej, przy naporze wiatru na dłuższy bok konstrukcji. Ta elewacja jest dominująca i powierzchnia otworów jest równa trzykrotności powierzchni otworów w pozostałych elewacjach. Stąd: <math display="block">c_{pi} = 0,9 \quad c_{pe} = 0,9 \times (-1,2) = -1,1</math> <math display="block">q_p(z_i) = q_p(z_e) = 1,09 \text{ kN/m}^2</math> </li> </ul>		<p>EN 1991-1-4 § B.2(3)</p> <p>EN 1991-1-4 § 7.2.9(6)</p> <p>EN 1991-1-4 § 7.2.9(7)</p> <p>EN 1991-1-4 § 7.2.9(3)</p> <p>EN 1991-1-4 § 7.2.9(5)</p>

- Okna otwarte przypadkowo od strony nawietrznej, przy naporze wiatru na ścianę szczytową:

$$c_{pi} = 0,9 \quad c_{pe} = 0,9 \times (+0,7) = 0,6$$

- Okna otwarte przypadkowo od strony zawietrznej, przy naporze wiatru na ścianę szczytową:

$$c_{pi} = 0,9 \quad c_{pe} = 0,9 \times (-1,2) = -1,1$$

### 3.4. Wynikowe współczynniki ciśnienia na attykach

Szczytowa wartość ciśnienia prędkości na szczycie budynku ( $z_e = 35 \text{ m}$ ) wynosi:

$$q_p(z_e) = 1,09 \text{ kN/m}^2$$

Współczynnik wypełnienia wynosi:  $\varphi = 1$

#### 3.4.1. Attyki na dłuższym boku — napór wiatru na dłuższy bok

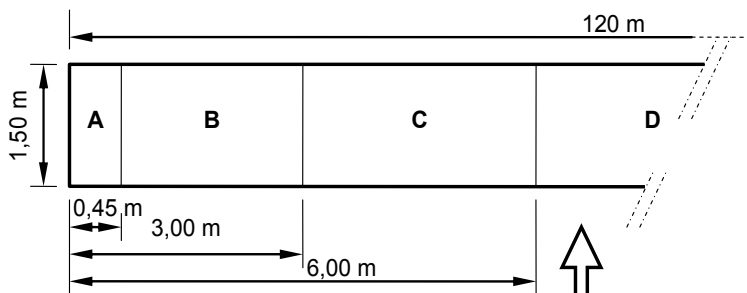
Parametry są następujące:

$$\ell = 120 \text{ m} \quad \text{Długość attyki}$$

$$h_p = 1,50 \text{ m} \quad \text{Wysokość attyki}$$

$$\ell > 4 h_p$$

Poszczególne strefy są pokazane na rysunku A.4 z przyporządkowanymi wskaźnikami ciśnienia  $c_{p,net}$ .



Strefa A:  $c_{p,net} = 2,1$

Strefa B:  $c_{p,net} = 1,8$

Strefa C:  $c_{p,net} = 1,4$

Strefa D:  $c_{p,net} = 1,2$

Rysunek A.4 Współczynniki ciśnienia  $c_{p,net}$  na attyce — dłuższy bok

EN 1991-1-4  
Tabela 7.9  
Rysunek 7.19

### 3.4.2. Attyki na ścianie szczytowej — napór wiatru na ścianę szczytową

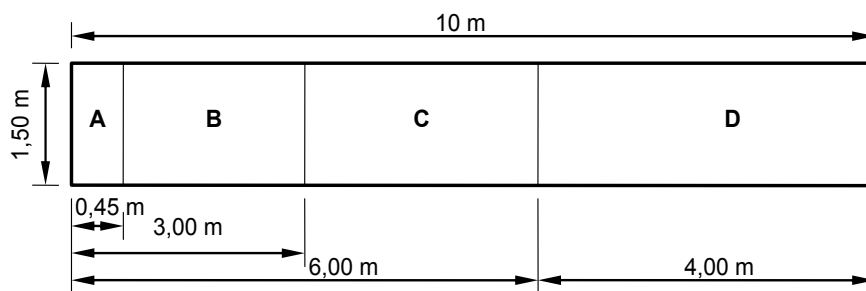
Parametry są następujące:

$$\ell = 10 \text{ m} \quad \text{Długość attyki}$$

$$h_p = 1,50 \text{ m} \quad \text{Wysokość attyki}$$

$$\ell > 4 h_p$$

Poszczególne strefy są pokazane na rysunku A.5 z przyporządkowanymi wskaźnikami ciśnienia  $c_{p,net}$ .



Strefa A:  $c_{p,net} = 2,1$

Strefa B:  $c_{p,net} = 1,8$

Strefa C:  $c_{p,net} = 1,4$

Strefa D:  $c_{p,net} = 1,2$

Rysunek A.5 Współczynniki ciśnienia  $c_{p,net}$  na attyce — ściana szczytowa

## 3.5. Siły tarcia

### 3.5.1. Napór wiatru na dłuższy bok

Całkowity obszar powierzchni zewnętrznych równoległych do kierunku wiatru:

$$A_{pa} = 2 \times 35 \times 10 + 120 \times 10 = 1900 \text{ m}^2$$

Całkowity obszar powierzchni zewnętrznych prostopadłych do kierunku wiatru:

$$A_{pe} = 2 \times 35 \times 120 = 8400 \text{ m}^2$$

Ponieważ  $A_{pa} < 4 A_{pe}$ , siły tarcia nie powinny zostać uwzględnione.

### 3.5.2. Napór wiatru na ścianę szczytową

Całkowity obszar powierzchni zewnętrznych równoległych do kierunku wiatru:

$$A_{pa} = 2 \times 35 \times 120 + 120 \times 10 = 9600 \text{ m}^2$$

Całkowity obszar powierzchni zewnętrznych prostopadłych do kierunku wiatru:

$$A_{pe} = 2 \times 35 \times 10 = 700 \text{ m}^2$$

Ponieważ  $A_{pa} > 4 A_{pe}$ , siły tarcia powinny zostać uwzględnione.

$$2 b = 20 \text{ m}$$

$$4 h = 140 \text{ m} > 2 b$$

EN 1991-1-4  
Tabela 7.9  
Rysunek 7.19

EN 1991-1-4  
§ 5.2(4)

EN 1991-1-4  
§ 5.2(4)

Siły tarcia działają na części powierzchni zewnętrznych równoległych do kierunku wiatru, znajdującej się dalej niż w odległości od krawędzi nawietrznej równej 20 m. Siła tarcia  $F_{fr}$  działa w kierunku wiatru:

$$F_{fr} = c_{fr} q_p(z_e) A_{fr}$$

gdzie:

$$c_{fr} = 0,01 \text{ dla powierzchni gładkiej (stal)}$$

$q_p(z_e)$  to szczytowa wartość ciśnienia prędkości na wysokości  $z_e$  jak podano w tabeli A.1.

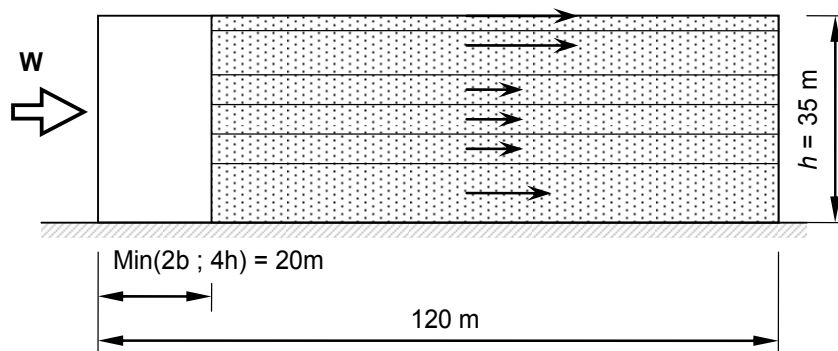
$A_{fr}$  to uwzględniany obszar.

Wyniki podano w tabeli A.2 dla poszczególnych pasów ścian pionowych i dla dachu.

EN 1991-1-4  
§ 5.2(3)

**Tabela A.2 Siły tarcia — napór wiatru na ścianę szczytową**

Pas	$z_e$	$A_{fr}$ $m^2$	$q_p(z)$ $kN/m^2$	$F_{fr}$ $kN$
0	10 m	2000	0,72	14,4
10 m	15 m	1000	0,84	8,4
15 m	20 m	1000	0,92	9,2
20 m	25 m	1000	1,00	10,0
25 m	35 m	1700	1,09	18,5
Attyki	35 m	600	1,09	6,5
Dach	35 m	1000	1,09	10,9



**Rysunek A.6 Siły tarcia — napór wiatru na ścianę szczytową**

### 3.6. Siły wiatru wywierane na powierzchnie

#### 3.6.1. Ogólne

Wyróżnia się trzy typy sił wiatru:

- Siły wiatru będące wynikiem zsumowania ciśnienia zewnętrznego i wewnętrznego:

$$(F_{w,e} - F_{w,i}) / A_{ref} = c_s c_d q_p(z_e) c_{pe} - q_p(z_i) c_{pi} \quad (\text{w kN/m}^2)$$

Działają one normalnie na powierzchnie. Mają wartości dodatnie, gdy są skierowane ku powierzchni i wartości ujemne, gdy są skierowane od powierzchni.

- Siły tarcia (patrz Tabela A.2)

$$F_{fr} = c_{fr} q_p(z_e) A_{fr} \quad (\text{w kN})$$

Działają one na powierzchni zewnętrzne równoległe do kierunku wiatru.

- Siły wiatru na atykach

$$F_w = c_s c_d c_{p,net} q_p(z_e) A_{ref}$$

Działają one normalnie na powierzchnie.

#### 3.6.2. Napór wiatru na dłuższy bok

W przypadku naporu wiatru na dłuższy bok współczynnik konstrukcyjny wynosi:  $c_s c_d = 0,773$

Odnosnie standardowej sytuacji obliczeniowej wartości ciśnienia wynikowego podano w tabeli A.3 dla ścian pionowych i dachu:

$$(F_{we} - F_{wi}) / A_{ref} = c_s c_d q_p(z_e) c_{pe} - q_p(z_i) c_{pi}$$

gdzie:

$c_{pe}$  to współczynniki ciśnienia zewnętrznego wyznaczone w § 3.1.1 dla ścian pionowych i w § 3.1.2 dla dachu.

$q_p(z_e) = 1,09 \text{ kN/m}^2$  jak obliczono w § 2.2

$q_p(z_i) = q_p(z_e) = 1,09 \text{ kN/m}^2$  jak podano w § 3.3.1

Należy zauważyć, że w przypadku naporu wiatru na dłuższy bok nie ma żadnych sił tarcia na tym budynku.

**Tabela A.3 Napór wiatru na dłuższy bok (kN/m<sup>2</sup>) — ściany pionowe**

Strefa	Ściany pionowe			Dach		
	A	D	E	F	G	H
$c_{pe}$	-1,2	+0,8	-0,6	-1,4	-0,9	-0,7
$c_{pi} = +0,2$	-1,23	+0,46	-0,72	-1,40	-0,98	-0,81
$c_{pi} = -0,3$	-0,68	+1,00	-0,18	-0,85	-0,43	-0,26

W tabeli A.4 podano wartości ciśnienia wynikowego dla attyki obliczone za pomocą wzoru:

$$F_w/A_{\text{ref}} = c_s c_d q_p(z_e) c_{p,\text{net}}$$

gdzie:

$c_{p,\text{net}}$  to współczynniki ciśnienia wyznaczone w § 3.4.1

$$q_p(z_e) = 1,09 \text{ kN/m}^2$$

**Tabela A.4 Napór wiatru na dłuższy bok (kN/m<sup>2</sup>) — attyka**

Strefa	A	B	C	D
$c_{p,\text{net}}$	2,1	1,8	1,4	1,2
$F_w / A_{\text{ref}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	1,77	1,52	1,18	1,01

Odnośnie wyjątkowej sytuacji obliczeniowej wartości ciśnienia wynikowego są podane w tabeli A.5 dla ścian pionowych i dachu, oraz dla dwóch sytuacji:

- Otwór w strefie D ( $c_{pi} = +0,7$ )
- Otwór w strefie A ( $c_{pi} = -1,1$ )

**Tabela A.5 Napór wiatru na dłuższy bok (kN/m<sup>2</sup>) — wyjątkowa sytuacja obliczeniowa**

Strefa	Ściany pionowe				Dach	
	A	D	E	F	G	H
$c_{pe}$	-1,2	+0,8	-0,6	-1,4	-0,9	-0,7
$c_{pi} = +0,7$	-1,77	-0,09	-1,27	-1,94	-1,52	-1,35
$c_{pi} = -1,1$	+0,19	+1,87	+0,69	+0,02	+0,44	+0,61

### 3.6.3. Napór wiatru na ścianę szczytową

W przypadku naporu wiatru na ścianę szczytową współczynnik konstrukcyjny wynosi:  $c_s c_d = 0,884$

Odnośnie standardowej sytuacji obliczeniowej wartości ciśnienia wynikowego są podane w tabeli A.6 dla ścian pionowych i w tabeli A.7 dla dachu:

$$(F_{we} - F_{wi})/A_{\text{ref}} = c_s c_d q_p(z_e) c_{pe} - q_p(z_i) c_{pi}$$

gdzie:

$c_{pe}$  to współczynniki ciśnienia zewnętrznego wyznaczone w § 3.1.1 dla ścian pionowych i w § 3.1.2 dla dachu

$q_p(z_e)$  to szczytowa wartość ciśnienia prędkości w kN/m<sup>2</sup> jak obliczono w § 2.3

$q_p(z_i) = q_p(z_e)$  dla każdego pasa, jak podano w § 3.3.1.

**Tabela A.6 Napór wiatru na ścianę szczytową — ściany pionowe**

Strefa	A	B	C	D	E	
$c_{pe}$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,7	-0,3	
$c_{pi} = +0,2$	$0 < z \leq 10$	-0,91	-0,65	-0,46	+0,30	-0,33
	$10 < z \leq 15$	-1,06	-0,76	-0,54	+0,35	-0,39
	$15 < z \leq 20$	-1,16	-0,83	-0,59	+0,39	-0,43
	$20 < z \leq 25$	-1,26	-0,91	-0,64	+0,42	-0,47
	$25 < z \leq 33,50$	-1,37	-0,99	-0,70	+0,46	-0,51
$c_{pi} = -0,3$	$0 < z \leq 10$	-0,55	-0,29	-0,10	+0,66	+0,03
	$10 < z \leq 15$	-0,64	-0,34	-0,12	+0,77	+0,03
	$15 < z \leq 20$	-0,70	-0,37	-0,13	+0,85	+0,03
	$20 < z \leq 25$	-0,76	-0,41	-0,14	+0,92	+0,03
	$25 < z \leq 33,50$	-0,83	-0,44	-0,15	+1,00	+0,04

**Tabela A.7 Napór wiatru na ścianę szczytową — dach**

Strefa	F	G	H	I
$c_{pe}$	-1,4	-0,9	-0,7	-0,2
$c_{pi} = +0,2$	-1,57	-1,09	-0,89	-0,41
$c_{pi} = -0,3$	-1,02	-0,54	-0,35	+0,13

W tabeli A.8 podano wartości ciśnienia wynikowego dla attyki obliczone za pomocą wzoru:

$$F_w/A_{ref} = c_s c_d q_p(z_e) c_{p,net}$$

**Tabela A.8 Napór wiatru na ścianę szczytową (kN/m<sup>2</sup>) — attyka**

Strefa	A	B	C	D
$F_w / A_{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	2,02	1,73	1,35	1,16

### Wyjątkowa sytuacja obliczeniowa

Odnosnie wyjątkowej sytuacji obliczeniowej wartości ciśnienia wynikowego są podane w tabeli A.9 dla ścian pionowych i w tabeli A.10 dla dachu, oraz dla dwóch sytuacji:

- Otwór w strefie D ( $c_{pi} = +0,6$ ) dla  $25 \text{ m} \leq z \leq 33,50 \text{ m}$
- Otwór w strefie A ( $c_{pi} = -1,1$ ) dla  $25 \text{ m} \leq z \leq 33,50 \text{ m}$

**Tabela A.9 Napór wiatru na ścianę szczytową (kN/m<sup>2</sup>) — ściany pionowe — wyjątkowa sytuacja obliczeniowa**

Strefa	A	B	C	D	E
$c_{pi} = +0,6$	-1,81	-1,42	-1,13	+0,01	-0,94
$c_{pi} = -1,1$	+0,04	+0,44	+0,72	+1,87	+0,94

**Tabela A.10 Napór wiatru na ścianę szczytową (kN/m<sup>2</sup>) — dach — wyjątkowa sytuacja obliczeniowa**

Strefa	F	G	H	I
$c_{pi} = +0,6$	-1,99	-1,51	-1,32	-0,84
$c_{pi} = -1,1$	-0,13	+0,34	+0,53	+1,01