

# **BUDYNKI STALOWE W EUROPIE**

**Jednokondygnacyjne  
konstrukcje stalowe  
Część 3: Oddziaływania**



**Jednokondygnacyjne  
konstrukcje stalowe  
Część 3: Oddziaływania**



## PRZEDMOWA

Niniejsza publikacja stanowi część trzecią przewodnika projektanta zatytułowanego *Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe*.

Przewodnik *Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe* składa się z następujących 11 części:

- Część 1: Poradnik architekta
- Część 2: Projekt koncepcyjny
- Część 3: Oddziaływania
- Część 4: Projekt wykonawczy ram portalowych
- Część 5: Projekt wykonawczy kratownic
- Część 6: Projekt wykonawczy słupów złożonych
- Część 7: Inżynieria pożarowa
- Część 8: Przegrody zewnętrzne budynku
- Część 9: Wprowadzenie do oprogramowania komputerowego
- Część 10: Wzorcowa specyfikacja konstrukcji
- Część 11: Połączenia zginane

*Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe* to jeden z dwóch przewodników projektanta. Drugi przewodnik nosi tytuł *Wielokondygnacyjne 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 ULS	5
3.3 Kombinacje SLS	7
4 ODDZIAŁYWANIA STAŁE	9
5 OBCIĄŻENIA KONSTRUKCJI	10
6 OBCIĄŻENIA UŻYTKOWE	11
6.1 Ogólne	11
6.2 Oddziaływania wywołane dźwignicami zgodnie z normą EN 1991-3	12
6.3 Obciążenia poziome na atykach	17
7 OBCIĄŻENIA ŚNIEGIEM	18
7.1 Ogólne	18
7.2 Metodologia	18
8 ODDZIAŁYWANIA WIATRU	24
8.1 Ogólne	24
8.2 Metodologia	24
8.3 Schematy blokowe	33
9 WPŁYW TEMPERATURY	34
LITERATURA	35
ZAŁĄCZNIK A Przykład praktyczny: Obciążenie śniegiem budynku jednokondygnacyjnego	37
ZAŁĄCZNIK B Przykład praktyczny: Oddziaływanie wiatru na budynek jednokondygnacyjny	48

## **STRESZCZENIE**

Niniejszy dokument zawiera wytyczne dotyczące określania oddziaływań na budynek jednokondygnacyjny, zgodnie z normami EN 1990 i EN 1991. Po krótkim opisie ogólnego formatu projektowania metodą stanów granicznych podano w niniejszym przewodniku informacje dotyczące wyznaczania oddziaływań stałych, zmiennych i ich kombinacji. Wyznaczanie obciążenia śniegiem oraz obliczanie oddziaływania wiatru opisano i podsumowano w kompletnych schematach blokowych. Zamieszczono również proste przykłady praktyczne związane z obciążeniem śniegiem i oddziaływaniem wiatru.



# 1 WPROWADZENIE

Niniejszy przewodnik zawiera podstawowe informacje o wyznaczaniu oddziaływań obliczeniowych na budynek jednokondygnacyjny. 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 — Oddziaływania termiczne<sup>[5]</sup>
  - Część 3: Oddziaływania wywołane dźwignicami i maszynami.<sup>[6]</sup>

Przewodnik jest wyczerpującą prezentacją zasad projektowania budynków jednokondygnacyjnych-w odniesieniu do odpowiednich paragrafów, tabel oraz wykresów zawartych w Eurokodach.

Dodatkowe informacje można znaleźć w pozycjach źródłowych <sup>[7][8]</sup>.

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

### **2.1 Ogólny format sprawdzania**

Wyróżnia się stany graniczne nośności (ULS) i stany graniczne użyteczności (SLS).

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>[9]</sup> i wykraczają poza zakres niniejszego przewodnika.

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

Sprawdzenie 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 (ULS)**

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

- Utraty równowagi całości lub jakiegokolwiek jej części (EQU)
- Zniszczenia w wyniku nadmiernego odkształcenia, zerwania, utraty stateczności całości konstrukcji lub jakiegokolwiek 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 (SLS)

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

- Odkształceń mających wpływ na wygląd, komfort użytkowników lub funkcjonowanie konstrukcji
- Drgań powodujących dyskomfort u ludzi lub ograniczających funkcjonalną efektywność konstrukcji
- Uszkodzeń, które mogą niekorzystnie wpłynąć na wygląd, 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 (ULS) i użyteczności (SLS). 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 ULS

#### 3.2.1 Równowaga statyczna

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

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

gdzie:

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

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

#### 3.2.2 Zerwanie lub nadmierne odkształcenie elementu

Aby sprawdzić stan graniczny zerwania lub nadmiernego odkształcenia kształtownika, 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 § 6.4.3.2(3) normy EN 1990 kombinacje oddziaływań mogą być wyprowadzone z wyrażenia (6.10) lub z wyrażen (6.10a i 6.10b — tego, które jest bardziej obciążające). Wybór jednego z tych dwóch układów wyrażen może zostać narzucony przez Załącznik krajowy.

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

	Oddziaływania stałe		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. Zalecane wartości współczynników częściowych podano w Tabeli 3.1.

**Tabela 3.1 Zalecane wartości współczynników częściowych**

Tabela (EN 1990)	Stan graniczny	$\gamma_{Gj,inf}$	$\gamma_{Gj,sup}$	$\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,l}$	$\gamma_{Q,i} = \gamma_{Q,i}$
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 ( $\psi_0 = 0$ ).

### Część 3: Oddziaływania

$\xi$  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:

1. Gdy śnieg jest głównym oddziaływaniem zmiennym:

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

2. 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.

	Oddziaływania stałe	Oddziaływanie wyjątkowe	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 SLS

#### 3.3.1 Stan graniczny użytkowalności

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

$$E_d \leq C_d$$

gdzie:

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

$C_d$  to graniczna wartość obliczeniowa odpowiedniego kryterium użytkowalności.

### 3.3.2 Kombinacja charakterystyczna

Kombinacja charakterystyczna jest zwykle wykorzystywana w przypadku nieodwracalnych stanów granicznych.

	Oddziaływania stałe		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:

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

$$E_d = G + W + 0,5 S$$

### 3.3.3 Kombinacja częsta

Kombinacja częsta jest zwykle wykorzystywana w przypadku odwracalnych stanów granicznych.

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

Na przykład:

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

$$E_d = G + 0,2 W \quad (\psi_2 = 0 \text{ dla obciążenia śniegiem})$$

### 3.3.4 Kombinacja quasi-stała

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

	Oddziaływania stałe		Oddziaływania zmienne
$E_d =$	$\sum_{j \geq 1} G_{k,j}$	+	$\sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$

Na przykład:

$$E_d = G \text{ (gdyż } \psi_2 = 0 \text{ zarówno dla oddziaływania wiatru, jak i dla obciążenia śniegiem)}$$



## 4 ODDZIAŁYWANIA STAŁE

Ciężar własny konstrukcji stanowi zasadniczo główne obciążenie stałe. Powinien on być klasyfikowany jako oddziaływanie stałe umiejscowione. W większości przypadków powinien być on reprezentowany przez pojedynczą wartość charakterystyczną.

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 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:  $\gamma = \text{od } 77,0 \text{ do } 78,5 \text{ kN/m}^3$

Aluminium:  $\gamma = 27,0 \text{ kN/m}^3$

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 jednokondygnacyjnych przykładem obciążenia konstrukcji może być ciężar wiązek okładzin wywierany na konstrukcję przed montażem okładzin.

## 6 OBCIĄŻENIA UŻYTKOWE

### 6.1 Ogólne

Zasadniczo obciążenia użytkowe budynków powinny być klasyfikowane jako oddziaływania zmienne. 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 układanie przedmiotów w stosy itp.). Przenośne ściany działowe należy traktować jako obciążenia użytkowe.

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

Powierzchnie stropów i dachów w budynkach są podzielone na kategorie zgodnie z ich użytkowaniem (norma EN 1991-1-1, Tabela 6.1). Wartości charakterystyczne  $q_k$  (obciążenie rozłożone równomiernie) i  $Q_k$  (obciążenie skupione) związane z tymi kategoriami podano w tabeli 6.2 normy EN 1991-1-1 lub w odpowiednim 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.

W przypadku obciążeń użytkowych na stropach i dostępnych dachach wartość charakterystyczna  $q_k$  może zostać pomnożona przez współczynniki redukcyjne ze względu na obciążoną powierzchnię oraz liczbę kondygnacji (EN 1991-1-1, § 6.3.1.2). Więcej informacji podano w rozdziale 6 przewodnika *Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 3: Oddziaływania*<sup>[10]</sup>.

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 Oddziaływania wywołane dźwignicami zgodnie z normą EN 1991-3

### 6.2.1 Ogólne

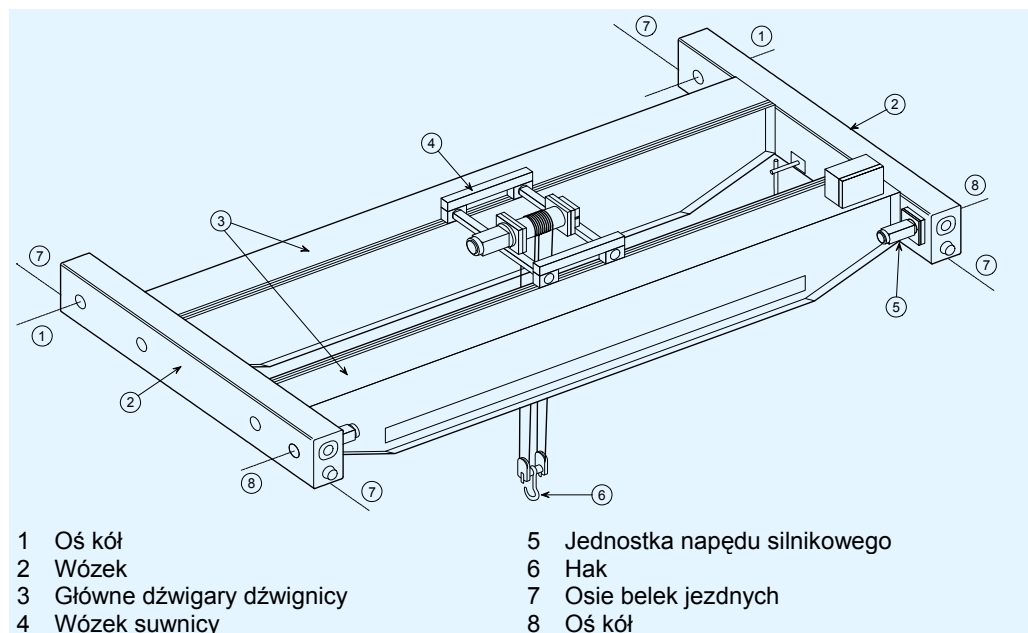
Większość budynków przemysłowych musi być wyposażona w urządzenia transportu bliskiego umożliwiające przemieszczanie i transport ładunków w obrębie budynku. Na rysunku 6.1 pokazano typową dźwignicę wykorzystywaną w budynkach przemysłowych wraz z głównymi podzespołami.

Jednym z dogodnych rozwiązań jest instalacja dźwignic. Konstrukcja poddawana jest obciążeniom zarówno pionowym jak i bocznym. Takie oddziaływania mogą stać się dominujące dla danej konstrukcji.

Określenie oddziaływań wywoływanych przez dźwignice jest sprawą złożoną, gdyż składa się na nie wiele parametrów, takich jak:

- Ciężar dźwignicy i dopuszczalne obciążenie robocze
- Sztywność zarówno konstrukcji dźwignicy, jak i dźwigarów jezdnych
- Szybkość i przyspieszenie dźwignicy
- Konstrukcja dźwignicy (napędy kół, systemy prowadzące itd.).

Charakterystyka dźwignicy musi zasadniczo zostać dostarczona przez jej producenta.



**Rysunek 6.1 Główny podzespół dźwignicy**

Oddziaływania te określono w normie EN 1991-3 „Oddziaływania na konstrukcje — Oddziaływania wywołane dźwignicami i maszynami”.

Oddziaływania zmienne wywołane pracą dźwignicy dzielą się na:

- Oddziaływania zmienne pionowe wywołane przez ciężar własny dźwignicy oraz podnoszony ładunek
- Oddziaływania zmienne poziome spowodowane przyspieszaniem bądź hamowaniem, przekrzywieniem lub innymi zjawiskami dynamicznymi.

### 6.2.2 Oddziaływania pionowe

Oddziaływania pionowe obejmują obciążenia statyczne (ciężar własny dźwignicy, dopuszczalne obciążenie robocze, zblocze hakowe itd.).

Rozkład tych obciążeń statycznych przyjmuje się zazwyczaj na podstawie belek swobodnie podpartych, z uwzględnieniem zarówno dźwigarów głównych, jak i belek drugorzędnych ponad wózkami.

Zwykle przyjmuje się, że dwa położenia wózka suwnicy powodują najgorszy rozkład obciążeń na torze jezdnym suwnicy: wózek suwnicy znajdujący się w połowie rozpiętości dźwignicy lub wózek suwnicy znajdujący się w minimalnej odległości zbliżenia haka do toru jezdny suwnicy.

Rozpatrzenie obu położen wózka suwnicy prowadzi do uzyskania maksymalnego i minimalnego obciążenia na koło działającego na tor jezdny suwnicy.

Należy również uwzględnić mimośrodowość przyłożenia tych obciążeń przyjmowaną na ogół jako  $\frac{1}{4}$  główki szyny.

W celu uwzględnienia niektórych zjawisk, takich jak uderzenie kół na stykach szynowych, zużycie szyny i kół, opuszczanie lub podnoszenie obciążenia roboczego itd., powyższe wartości oddziaływania statycznego korygowane są przez współczynniki dynamiczne.

W przypadku oddziaływania pionowego współczynniki dynamiczne oznaczane są symbolami od  $\varphi_1$  do  $\varphi_4$  (patrz tabela 2.4 normy EN 1991-3).

### 6.2.3 Oddziaływania poziome

Należy uwzględnić następujące rodzaje sił poziomych:

- siły poziome spowodowane przyspieszaniem i zwalnianiem dźwignicy względem jej ruchu wzdłuż belek jezdnych,
- siły poziome spowodowane przyspieszaniem i zwalnianiem wózka suwnicy względem jego ruchu wzdłuż pomostu dźwignicy,
- siły poziome wywoływane przekrzywieniem dźwignicy względem jej ruchu wzdłuż belki jezdnej,
- siły buforowe związane z ruchem dźwignicy,
- siły buforowe związane z ruchem wózka suwnicy.

Jednocześnie należy analizować tylko jeden z 5 powyższych rodzajów sił poziomych. Zazwyczaj przyjmuje się, że piąta siła obejmuje trzecią. Ostatnie dwie siły uważa się za siły wyjątkowe.

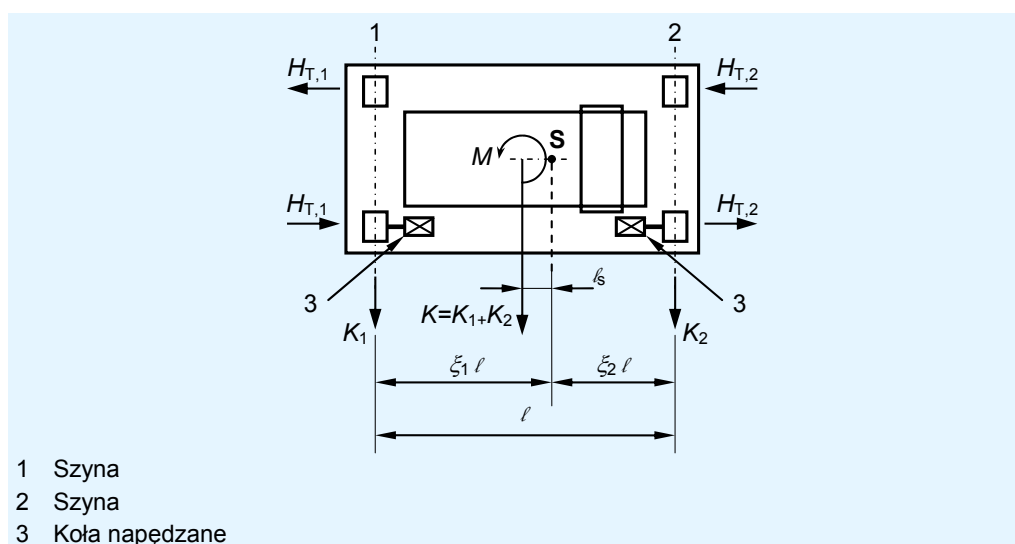
Następujące szczegóły związane z pierwszymi dwoma rodzajami sił brane są na ogół pod uwagę przy konfiguracjach wymiarowania toru jezdny dźwignicy:

**1. Siły wywołwane przyspieszaniem i zwalnianiem dźwignicy wzdłuż toru jezdny dźwignicy.**

Działają one na powierzchni styku pomiędzy szyną a kołem. Należy je powiększyć, stosując współczynnik dynamiczny  $\varphi_5$  (patrz tabela 2.6 normy EN 1991-3), którego wartość może wynosić od 1,0 do 3,0. Na ogół przyjmuje się, że wartość 1,5 jest odpowiednia. Siły te składają się z sił wzdłużnych ( $K_1$  oraz  $K_2$ ) i sił poprzecznych ( $H_{T,1}$  oraz  $H_{T,2}$ ), jak pokazano na rysunku 6.2.

Siły wzdłużne odpowiadają wypadkowej sile napędowej  $K$ ; siła ta musi być przenoszona przez napędzane koła bez poślizgu, nawet gdy dźwignica porusza się bez obciążenia roboczego.

Wypadkowa siły napędowej nie przechodzi przez środek masy „S”, wywołując parę sił generującą moment przekrzywiający za każdym razem, gdy dźwignica przyspiesza lub hamuje. Moment ten jest rozdzielany na każdy tor jezdny zgodnie z jego odległością od środka masy.



Rysunek 6.2 Siły przyspieszenia

**2 Siły spowodowane przekrzywieniem dźwignicy względem jej ruchu wzdłuż belki jezdnej**

Siły opisane poniżej wynikają z jazdy skośnej dźwignicy w momencie, kiedy z jakiegoś powodu przyjmuje on pozycję przekrzywioną i porusza się ukośnie, dopóki element prowadzący nie wejdzie w kontakt z bokiem szyny.

Siła boczna działająca na bok szyny zwiększa się, osiągając wartość szczytową „S”; dzięki działaniu tej siły dźwignica powraca do prawidłowego kierunku jazdy, przynajmniej tymczasowo.

Systemem prowadzącym mogą być specjalne rolki prowadzące lub kołnierze kół jezdnych.

Obliczenie odpowiednich sił zależy od rodzaju układu napędowego (jednostki napędowe bez synchronizacji napędzanych kół jezdnych lub centralna jednostka napędowa połączona z kołami), ustalenia kół zgodnie z ruchem bocznym oraz położenia chwilowego środka obrotu.

### Część 3: Oddziaływania

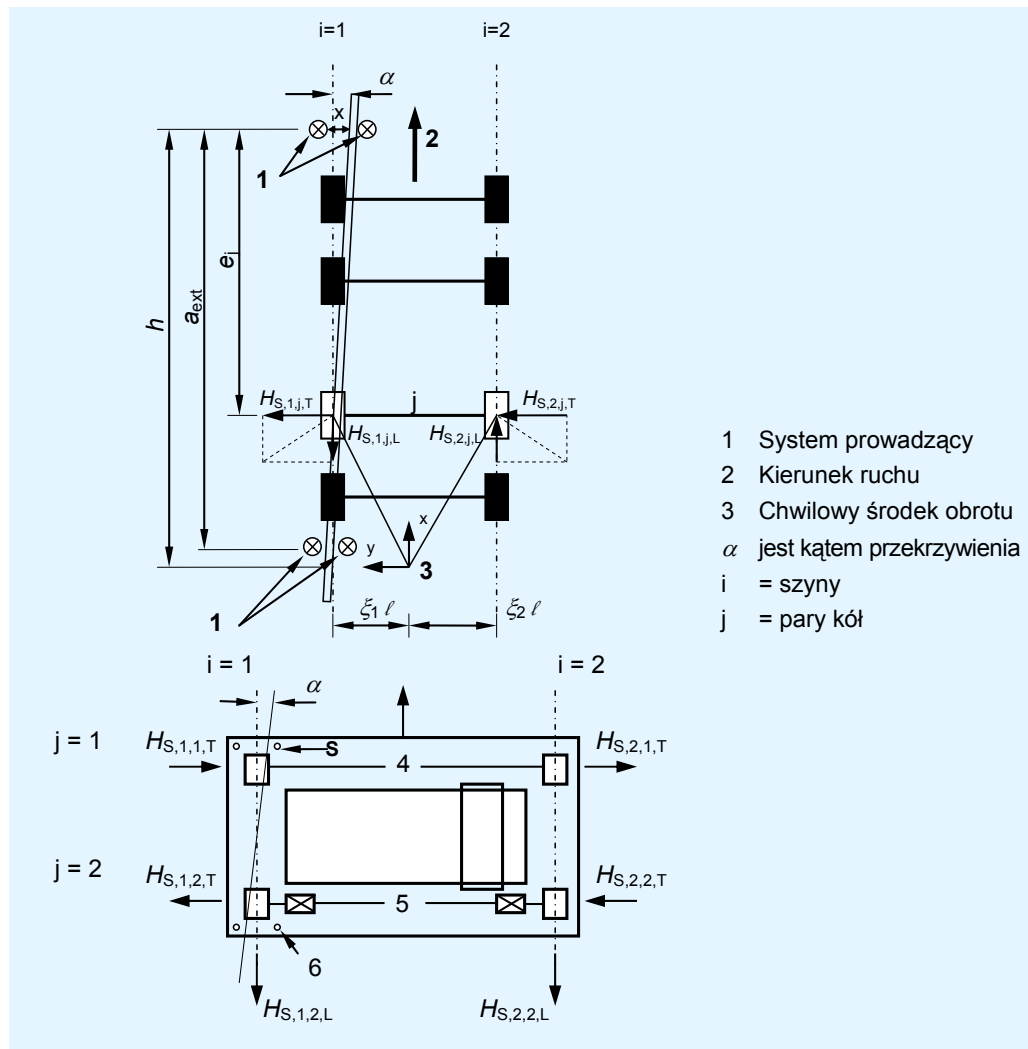
Siły wynikające z przekrzywienia składają się z sił wzdłużnych i sił poprzecznych, jak pokazano na rysunku 6.3.

Obciążenia te działają przy każdym kole ( $H_{S,i,j,k}$ ) a siła prowadząca  $S$  (zwana również siłą kierującą) działa przy systemie prowadzącym.

W przypadku sił  $H_{S,i,j,k}$  indeksy oznaczają:

- $S$  — „przekrzywienie”,
- $i$  — belka jezdna,
- $j$  — para kół (numer 1 oznacza parę najbardziej oddaloną od środka obrotu),
- $k$  — kierunek siły — L w przypadku działania wzdłużnego lub T w przypadku działania poprzecznego.

Siła  $S$  równoważy sumę sił poprzecznych.



Rysunek 6.3 Siły wynikające z przekrzywienia

## 6.2.4 Inne obciążenia lub siły

W celu przedstawienia pełnego obrazu obciążeń związanych z pracą dźwignic należy koniecznie wspomnieć:

### 1. Oddziaływanie wiatru na konstrukcję dźwignicy oraz ładunek

Na ogół uwzględnia się wiatr o prędkości 20 m/s, jeżeli analizowany jest razem z ładunkiem (zastosowanie zewnętrzne).

### 2. Obciążenia próbne

- Próbne obciążenie dynamiczne: co najmniej 110% udźwigu znamionowego pomnożonego przez współczynnik dynamiczny  $\varphi_6$  (patrz norma EN 1991-3, §2.10 (4)).
- Próbne obciążenie statyczne: co najmniej 125% udźwigu znamionowego bez zastosowania współczynnika dynamicznego.

### 3. Oddziaływania wyjątkowe

- Siła odchylająca: gdy ładunek lub zawiesie dźwignicy wchodzi w kolizję z przeszkodą.
- Oraz jeżeli dotyczy: uszkodzenie mechaniczne (uszkodzenie jednego hamulca, uszkodzenie osi koła itp.).

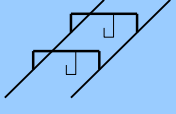
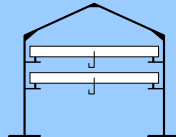
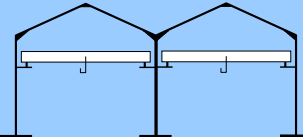
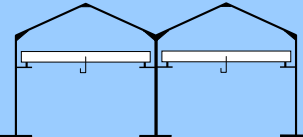
## 6.2.5 Oddziaływanie wielu dźwignic

Często w jednym budynku znajduje się więcej dźwignic; mogą one poruszać się po tym samym torze jezdnym lub na kilku poziomach w tej samej nawie bądź w budynkach wielonawowych.

Oddziaływanie wielu dźwignic należy analizować w najbardziej niekorzystnym położeniu:

- toru jezdnych dźwignicy,
- konstrukcji nośnej.

**Tabela 6.1 Zalecana maksymalna liczba dźwignic jaką należy poddać analizie w najbardziej niekorzystnym położeniu**

	Liczba dźwignic na każdym torze jezdny	Liczba dźwignic w każdej nawie hali	Liczba dźwignic w budynkach wielonawowych	
<b>Oddziaływanie dźwignicy</b>				
Pionowe	3	4	4	2
Poziome	2	2	2	2

W przypadku oddziaływań poziomych dźwignicy dopuszczalne jest ograniczenie liczby dźwignic oddziałujących wraz z ładunkiem do dwóch; w przypadku oddziaływań pionowych liczba dźwignic waha się od dwóch do czterech.

Niemniej jednak, należy uwzględnić oddziaływanie dźwigów nieobciążonych, jeżeli znajdują się w niekorzystnym położeniu.



### **6.3 Obciążenia poziome na atykach**

Wartości charakterystyczne obciążeń liniowych  $q_k$  działających na wysokości ścian działowych lub atyk, ale nie wyższej niż 1,20 m, powinny być przyjmowane z tabeli 6.12 normy EN 1991-1-1 lub z Załącznika krajowego.

## 7 OBCIĄŻENIA ŚNIEGIEM

### 7.1 Ogólne

Niniejszy dokument zawiera wytyczne dotyczące wyznaczania wartości obciążeń śniegiem, które należy wykorzystywać w przypadku typowego budynku jednokondygnacyjnego, zgodnie z normą EN 1991-1-3. Procedurę projektową przedstawiono na schemacie blokowym (rysunek 7.5). Przykład praktyczny ilustrujący wyznaczanie obciążeń śniegiem budynku jednokondygnacyjnego podano w Załączniku A.

Wytyczne te nie dotyczą terenów znajdujących się na wysokości powyżej 1500 m (jeśli nie określono inaczej).

Obciążenia śniegiem powinny być klasyfikowane jako oddziaływania zmienne umiejscowione, jeśli nie podano inaczej w normie EN 1991-1-3. W szczególnych warunkach, takich jak wyjątkowe obciążenia śniegiem i/lub obciążenia spowodowane wyjątkowymi naniesieniami śniegu, obciążenia śniegiem mogą być traktowane jako oddziaływania wyjątkowe, w zależności od położenia geograficznego.

Obciążenia śniegiem należy klasyfikować jako oddziaływania statyczne.

Konieczne może być rozważenie dwóch sytuacji obliczeniowych:

- Przejściową/trwałą sytuację należy wykorzystywać dla rozkładów obciążenia zarówno śniegiem naniesionym jak i nianiesionym w przypadku lokalizacji, w których prawdopodobieństwo wystąpienia wyjątkowych opadów śniegu oraz wyjątkowych naniesień śniegu jest znikome.
- Wyjątkową sytuację obliczeniową należy wykorzystywać w przypadku lokalizacji geograficznych, w których prawdopodobieństwo wystąpienia wyjątkowych opadów śniegu i/lub wyjątkowych naniesień śniegu jest duże.

Załącznik krajowy może określać, którą sytuację obliczeniową należy stosować.

### 7.2 Metodologia

#### 7.2.1 Obciążenie śniegiem gruntu

Różne warunki klimatyczne są źródłem różnych sytuacji obliczeniowych. Możliwości są następujące:

- Przypadek A: Przypadek normalny (brak wyjątkowych opadów oraz naniesień)
- Przypadek B1: Wyjątkowe opady oraz brak wyjątkowych naniesień
- Przypadek B2: Wyjątkowe naniesienia oraz brak wyjątkowych opadów (zgodnie z normą EN 1991-1-3, Załącznik B)
- Przypadek B3: Wyjątkowe opady oraz wyjątkowe naniesienia (zgodnie z normą EN 1991-1-3, Załącznik B)

Władze krajowe mogą wybrać przypadek właściwy dla poszczególnych lokalizacji znajdujących się na terenie objętym ich jurysdykcją.

### Część 3: Oddziaływania

W Załączniku krajowym określono wartość charakterystyczną  $s_k$  obciążenia śniegiem gruntu, który będzie wykorzystywany.

W przypadku lokalizacji, w których mogą wystąpić wyjątkowe obciążenia śniegiem gruntu, można je wyznaczyć w oparciu o wyrażenie:

$$s_{Ad} = C_{esl} s_k$$

gdzie:

- $s_{Ad}$  jest wartością obliczeniową wyjątkowego obciążenia śniegiem gruntu w danej lokalizacji
- $C_{esl}$  jest współczynnikiem wyjątkowych obciążeń śniegiem (wartość zalecana = 2,0)
- $s_k$  jest wartością charakterystyczną obciążenia śniegiem gruntu w danej lokalizacji

W Załączniku krajowym może być zalecana inna wartość  $C_{esl}$  lub inna wartość obliczeniowa wyjątkowego obciążenia śniegiem gruntu  $s_{Ad}$ .

#### 7.2.2 Obciążenie śniegiem dachów

Obciążenie działa pionowo i odnosi się do rzutu poziomego powierzchni dachu. Istnieje wiele różnych modeli rozkładu śniegu na dachu.

Należy rozważyć dwa podstawowe rozkłady obciążenia:

- Obciążenie dachów śniegiem nienaniesionym
- Obciążenie dachów śniegiem naniesionym

Obciążenia śniegiem dachów są wyprowadzane z obciążeń śniegiem gruntu poprzez ich pomnożenie przez odpowiednie przeliczniki (współczynniki: kształtu, ekspozycji oraz termiczny). Należy wyznaczyć je w następujący sposób:

- Trwałe (warunki normalnego użytkowania)/przejściowe (tymczasowe warunki użytkowania) sytuacje obliczeniowe:

$$s = \mu_i C_e C_t s_k$$

- Wyjątkowe sytuacje obliczeniowe (wyjątkowe warunki), w których wyjątkowe obciążenie śniegiem jest oddziaływaniem wyjątkowym:

$$s = \mu_i C_e C_t s_{Ad}$$

- Wyjątkowe sytuacje obliczeniowe, w których wyjątkowe oddziaływanie jest wyjątkowym naniesieniem i w których obowiązuje Załącznik B normy EN 1991-1-3:

$$s = \mu_i s_k$$

gdzie:

- $\mu_i$  jest współczynnikiem kształtu śniegu. Zależy on od kąta nachylenia dachu  $\alpha$  (Tabela 6.1)
- $C_e$  jest współczynnikiem ekspozycji ( $C_e = 1,0$  jest wartością domyślną).
- $C_t$  jest współczynnikiem termicznym ( $C_t \leq 1$ ;  $C_t = 1,0$  jest wartością domyślną).

W Załączniku krajowym mogą być podane warunki stosowania współczynników  $C_e$  oraz  $C_t$ .

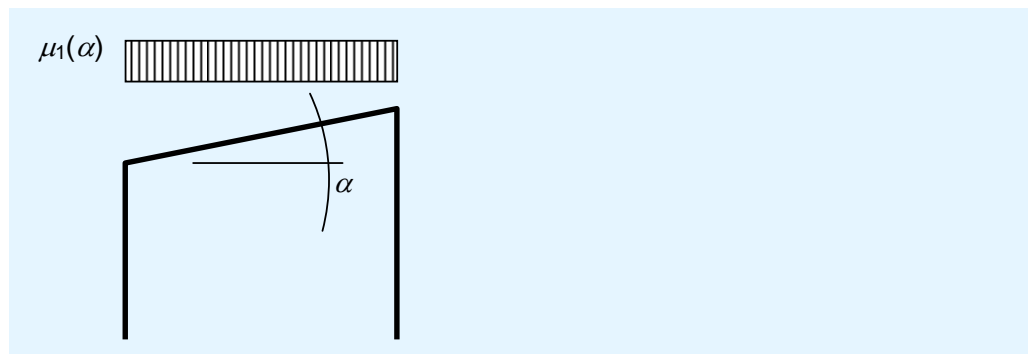
**Tabela 7.1 Współczynniki kształtu obciążenia śniegiem**

Kąt nachylenia dachu $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0.8	$0.8 (60 - \alpha)/30$	0
$\mu_2$	$0.8 + 0.8 \alpha/30$	1.6	-

Te wartości  $\mu_1$  oraz  $\mu_2$  mają zastosowanie, gdy dach nie jest wyposażony w elementy zapobiegające ześlizgiwaniu się śniegu (brak barier śniegowych lub innych przeszkód jak atyki). Jeżeli przeszkody istnieją, współczynnik kształtu obciążenia śniegiem nie powinien być mniejszy niż 0,8.

Współczynnik kształtu obciążenia śniegiem, który powinien być wykorzystywany w przypadku dachów jednospadowych, przedstawiono na rysunku 7.1, gdzie  $\mu_1$  podano w tabeli 7.1.

Ten rozkład obciążenia powinien być wykorzystywany zarówno dla rozkładu obciążenia śniegiem nienaniesionym, jak i naniesionym.

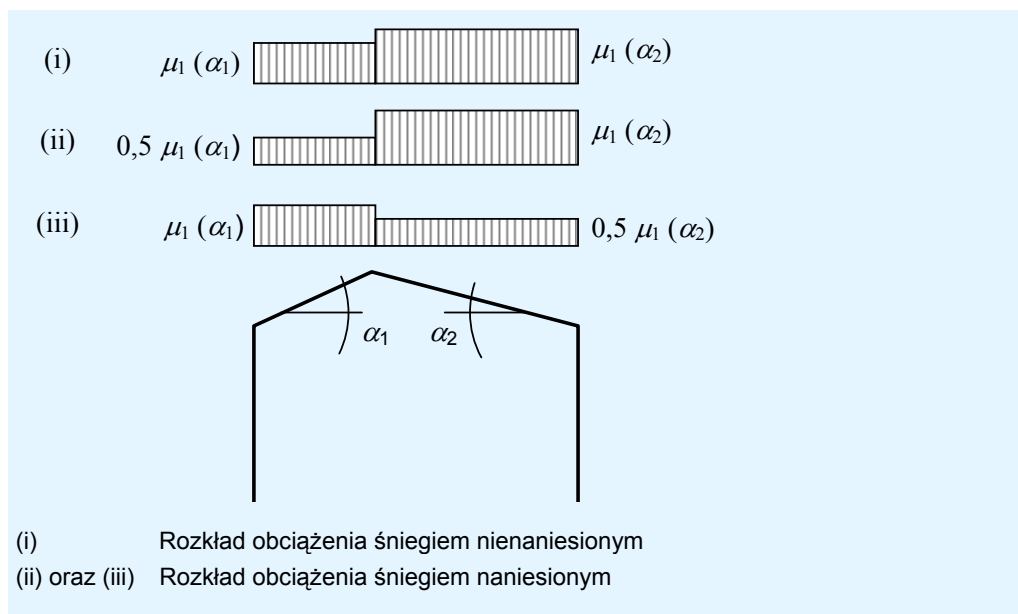


**Rysunek 7.1 Współczynnik kształtu obciążenia śniegiem — dach jednospadowy**

Współczynniki kształtu obciążenia śniegiem, które powinny być wykorzystywane w przypadku dachów dwuspadowych zaprezentowano na rysunku 7.2, gdzie  $\mu_1$  podano w tabeli 7.1.

Przypadek (i) odpowiada rozkładowi obciążenia śniegiem nienaniesionym.

Przypadki (ii) oraz (iii) odpowiadają rozkładom obciążenia śniegiem naniesionym.

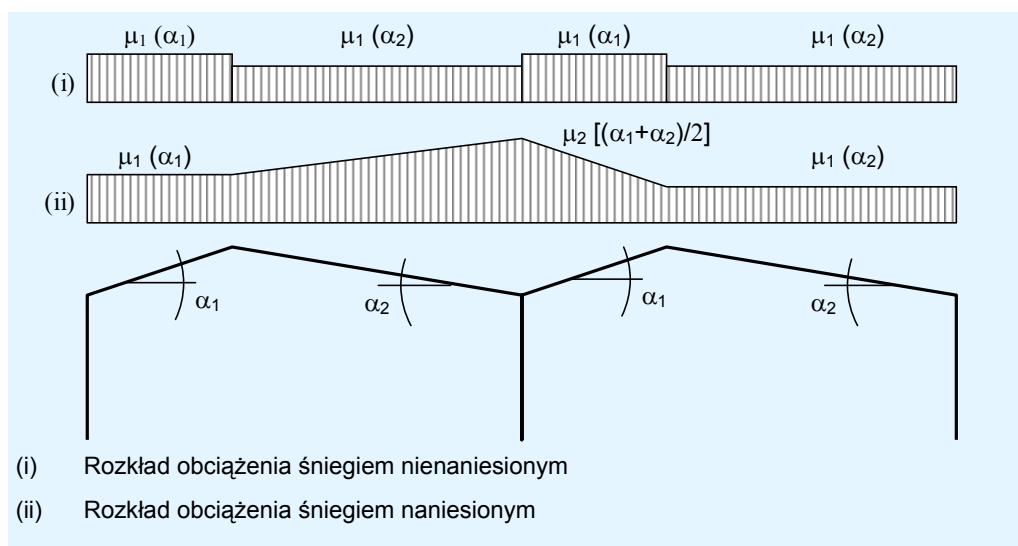


**Rysunek 7.2 Współczynnik kształtu obciążenia śniegiem — dach dwuspadowy**

Współczynniki kształtu obciążenia śniegiem, które powinny być wykorzystywane w przypadku dachów wieloprzęsłowych przedstawiono na rysunku 7.3, gdzie  $\mu_1$  oraz  $\mu_2$  podano w tabeli 7.1.

Przypadek (i) odpowiada rozkładowi obciążenia śniegiem nienaniesionym.

Przypadek (ii) odpowiada rozkładowi obciążenia śniegiem naniesionym.



**Rysunek 7.3 Współczynnik kształtu obciążenia śniegiem — dach wieloprzęsłowy**

Współczynniki kształtu obciążenia śniegiem, które powinny być wykorzystywane w przypadku dachów przylegających do wyższych konstrukcji zaprezentowano na rysunku 7.4, gdzie  $\mu_1$ ,  $\mu_2$ ,  $\mu_s$ ,  $\mu_w$  są określone następującymi wyrażeniami:

$\mu_1 = 0,8$  w przypadku tej wartości zakłada się, że dach niższy jest płaski. Jeżeli tak nie jest, należy przeprowadzić dokładną analizę uwzględniającą kierunek nachylenia.

### Część 3: Oddziaływania

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

gdzie:

$\mu_s$  jest współczynnikiem kształtu śniegu związanym ze ześlizgiwaniem się śniegu z dachu wyższego.

$$\text{Dla } \alpha \leq 15^\circ, \quad \mu_s = 0$$

Dla  $\alpha > 15^\circ$ ,  $\mu_s =$  połowa obciążenia śniegiem przyległej połaci dachu wyższego.

$\mu_w$  jest współczynnikiem kształtu obciążenia śniegiem związanym z wiatrem.

$$\mu_w = (b_1 + b_2)/2h \quad \text{z } \mu_w \leq \gamma h / s_k$$

A więc zalecany zakres to (może być podany w Załączniku krajowym):

$$0,8 \leq \mu_w \leq 4$$

$b_1, b_2$  oraz  $h$  zdefiniowano na rysunku 7.4

$\gamma$  jest ciężarem właściwym śniegu dla tego obliczenia ( $2 \text{ kN/m}^3$ ),

$l_s$  jest długością naniesienia określoną jako:

$$l_s = 2 h$$

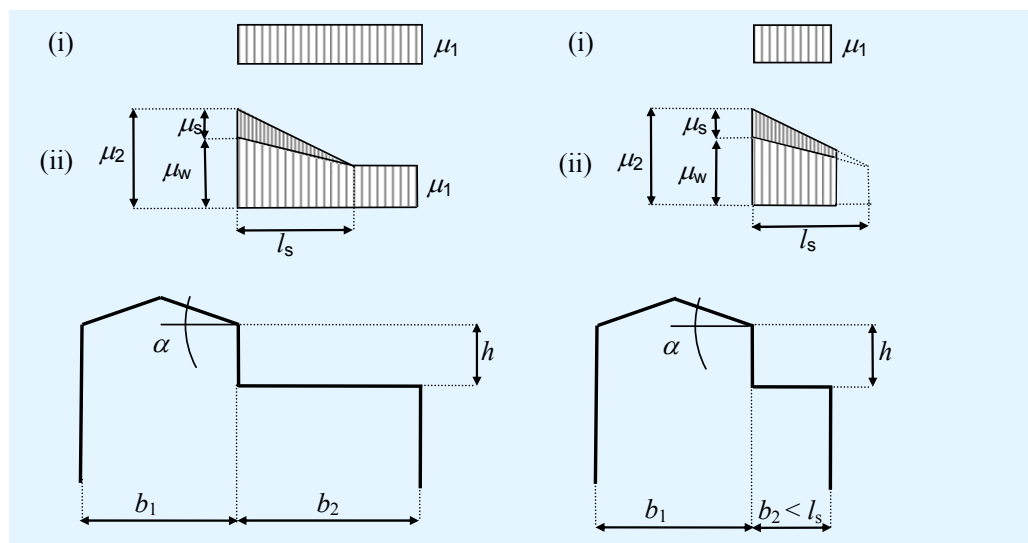
Zalecane wartości graniczne długości naniesienia wynoszą (mogą być podane w Załączniku krajowym):

$$5 \text{ m} \leq l_s \leq 15 \text{ m}$$

Jeżeli  $b_2 < l_s$ , to współczynnik  $\mu_2$  jest obcięty na końcu dachu niższego.

Przypadki (i) odpowiadają rozkładowi obciążenia śniegiem nienaniesionym.

Przypadki (ii) odpowiadają rozkładowi obciążenia śniegiem naniesionym.



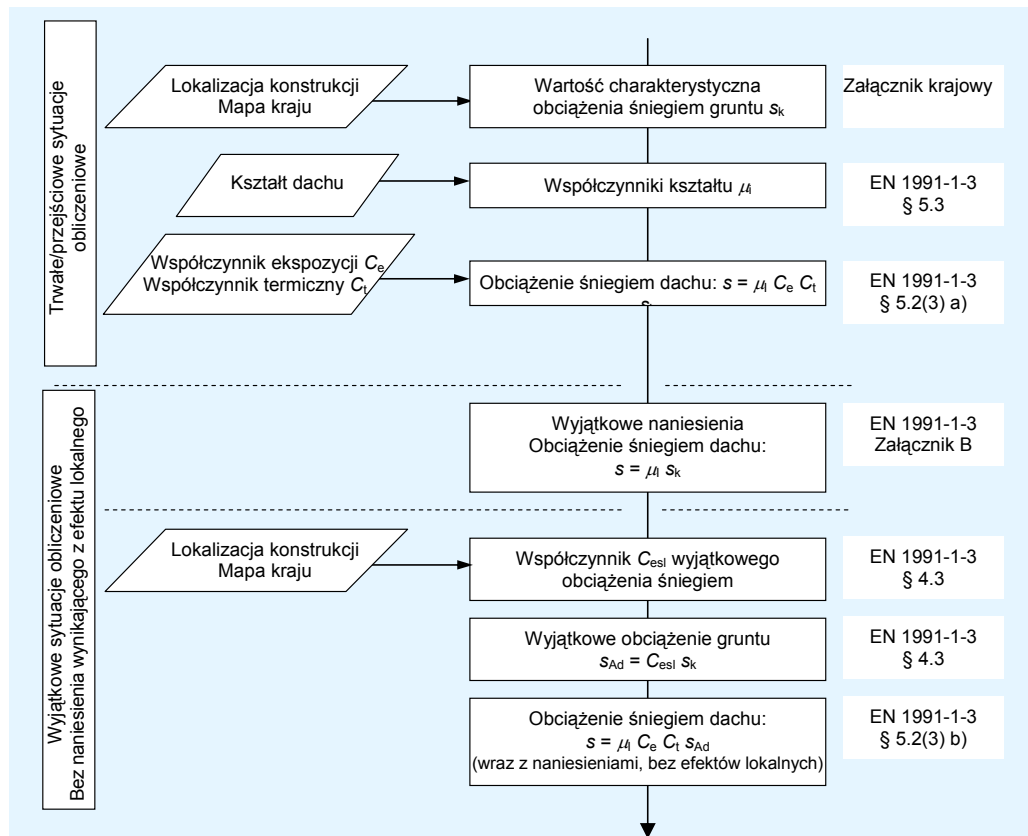
Rysunek 7.4 Współczynnik kształtu obciążenia śniegiem — dachy przylegające do konstrukcji wyższych

### 7.2.3 Efekty lokalne

Sytuacje obliczeniowe wymagające rozpatrzenia są trwałe/przejściowe. W rozdziale 6 normy EN 1991-1-3 podano siły, które należy uwzględnić w przypadku lokalnych weryfikacji:

- Naniesień śniegu przy wystęпах i przeszkodach (EN 1991-1-3, § 6.2)
- Krawędzi dachu (EN 1991-1-3, § 6.3)
- Barrier śniegowych (EN 1991-1-3, § 6.4).

### 7.2.4 Schemat blokowy



Rysunek 7.5 Wyznaczanie obciążeń śniegiem

## 8 ODDZIAŁYWANIA WIATRU

### 8.1 Ogólne

Niniejszy rozdział zawiera wytyczne dotyczące wyznaczania wartości oddziaływania wiatru, które należy wykorzystywać w przypadku projektów typowych budynków jednokondygnacyjnych, zgodnie z normą EN 1991-1-4. Procedurę projektową przedstawiono za pomocą schematów blokowych na rysunku 8.6 oraz rysunku 8.7. Przykład praktyczny ilustrujący wyznaczanie oddziaływania wiatru na budynek jednokondygnacyjny podano w Załączniku B.

Reguły te dotyczą całej konstrukcji lub jej części, np. komponentów, okładzin czy ich elementów złącznych.

Oddziaływanie wiatru reprezentowane jest uproszczonym układem ciśnień lub sił, których skutki są równoważne ekstremalnym skutkom wiatru turbulentnego.

Oddziaływania wiatru należy klasyfikować jako oddziaływania zmienne umiejscowione.

W przypadku każdej zidentyfikowanej sytuacji obliczeniowej należy wyznaczyć odpowiednie oddziaływania wiatru.

W przypadkach, gdy w projekcie założono, że okna i drzwi mają być zamykane w czasie wichury, oddziaływanie podczas ich otwarcia należy traktować jako wyjątkową sytuację obliczeniową.

### 8.2 Metodologia

Odpowiedź konstrukcji na oddziaływanie wiatru zależy od rozmiaru, kształtu oraz właściwości dynamicznych konstrukcji. Odpowiedź tę należy obliczyć ze szczytowego ciśnienia prędkości  $q_p$  oraz ze współczynników siły  $i$  lub ciśnienia.

#### 8.2.1 Szczytowe ciśnienie prędkości

Szczytowe ciśnienie prędkości  $q_p(z)$  to ciśnienie prędkości wykorzystywane w obliczeniach.

Zależy ono od wietrzności, wysokości odniesienia oraz od chropowatości i rzeźby terenu. Równe jest średniemu ciśnieniu prędkości powiększonemu o krótkookresowe wahania ciśnienia.

Szczytowe ciśnienie prędkości może być obliczone na podstawie poniższej procedury.

1. Wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru  $v_{b,0}$

Wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru jest charakterystyczną 10-minutową średnią prędkością wiatru wiejącego na wysokości 10 m nad poziomem gruntu w otwartym terenie wiejskim, bez względu na kierunek wiatru i porę roku. Odpowiada średniemu okresowi powrotu wynoszącemu 50 lat (roczne prawdopodobieństwo przekroczenia równe 0,02).



### Część 3: Oddziaływania

W Załączniku krajowym określono wartość podstawową bazowej prędkości wiatru.

#### 2. Bazowa prędkość wiatru $v_b$

$$v_b = c_{dir} c_{season} v_{b,0}$$

gdzie:

$c_{dir}$  jest współczynnikiem kierunkowym

$c_{season}$  jest współczynnikiem sezonowym

Zalecana wartość wynosi 1,0 dla obu współczynników  $c_{dir}$  i  $c_{season}$ , ale w Załączniku krajowym mogą być podane inne wartości.

#### 3. Bazowe ciśnienie prędkości

Bazowe ciśnienie prędkości  $q_b$  obliczane jest w następujący sposób:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$$

gdzie:

$\rho$  jest gęstością powietrza,

= 1,25 kg/m<sup>3</sup> (zalecana wartość, ale w Załączniku krajowym może być podana inna wartość)

#### 4. Współczynnik terenu $k_r$

$$k_r = 0,19 \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}$$

gdzie:

$z_0$  jest długością chropowatości zgodnie z kategorią terenu

$z_{0,II}$  jest długością chropowatości dla kategorii II terenu:

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

$$z_{max} = 200 \text{ m}$$

Kategorie i parametry terenu zdefiniowano w Tabeli 4.1 normy EN 1991-1-4, ale w Załączniku krajowym mogą być podane inne wartości.

#### 5. Współczynnik chropowatości $c_r(z)$

$$c_r(z) = k_r \ln(z/z_0) \quad \text{dla } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad \text{dla } z \leq z_{min}$$

gdzie:

$z$  jest wysokością odniesienia zdefiniowaną na rysunku 7.4 normy EN 1991-1-4.

$z_{min}$  zależy od kategorii terenu; Tabela 4.1 normy EN 1991-1-4.

#### 6. Współczynnik rzeźby terenu (orografii) $c_o(z)$

Orografia obejmuje analizę ukształtowania terenu w sąsiedztwie danej konstrukcji.

### Część 3: Oddziaływania

Wpływ rzeźby terenu może zostać pominięty, gdy średnie nachylenie terenu nawietrznego jest mniejsze niż  $3^\circ$ . Zalecana wartość współczynnika  $c_o(z)$  wynosi 1,0, ale w Załączniku krajowym może być podana procedura obliczania współczynnika rzeźby terenu.

W Załączniku A3 normy EN 1991-1-4 podano zalecaną procedurę wyznaczania współczynnika  $c_o$  dla wzgórz, klifów itp.

#### 7. Współczynnik turbulencji $k_1$

Zalecana wartość wynosi 1,0, ale w Załączniku krajowym mogą być podane inne wartości.

#### 8. Szczytowe ciśnienie prędkości $q_p(z)$

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z)$$

gdzie:

$I_v(z)$  jest intensywnością turbulencji, która umożliwia uwzględnienie udziału krótkookresowych wahań

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_o(z) \ln(z/z_0)} \quad \text{dla } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{dla } z < z_{\min}$$

$$z_{\max} = 200 \text{ m}$$

$v_m(z)$  jest średnią prędkością wiatru na wysokości  $z$  powyżej poziomu terenu:

$$v_m(z) = c_r(z) c_o(z) v_b$$

#### Alternatywa dla kroku 8:

W przypadku budynków jednokondygnacyjnych wyznaczenie średniej prędkości wiatru  $v_m(z)$  nie jest bezwzględnie wymagane. Szczytowe ciśnienie prędkości może być uzyskane bezpośrednio ze współczynnika ekspozycji  $c_e(z)$ :

$$q_p(z) = c_e(z) q_b$$

gdzie:

$$c_e(z) = \left( 1 + \frac{7k_1k_r}{c_o(z)c_r(z)} \right) c_o^2(z) c_r^2(z)$$

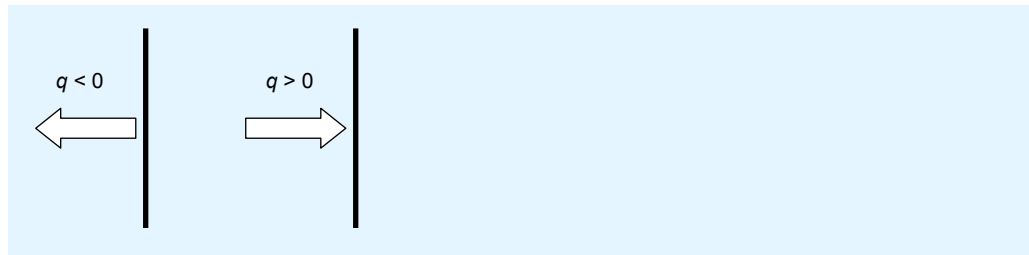
W przypadku terenu płaskiego ( $c_o(z) = 1$ ) i współczynnika turbulencji  $k_1 = 1$ , współczynnik ekspozycji  $c_e(z)$  może być odczytany bezpośrednio z rysunku 4.2 normy EN 1991-1-4 jako funkcja wysokości nad poziomem terenu oraz funkcja kategorii terenu.

## 8.2.2 Ciśnienie wiatru wywierane na powierzchnie — siły wiatru

Występują trzy rodzaje sił wiatru oddziałujących na budynek:

- siły zewnętrzne  $F_{w,e}$  (patrz 8.2.2.1),
- siły wewnętrzne  $F_{w,i}$  (patrz 8.2.2.2),
- siły tarcia  $F_{fr}$  (patrz 8.2.2.3).

Siły zewnętrzne i wewnętrzne powodują powstawanie ciśnień prostopadłych do ścian (ścian pionowych, dachów itp.). Zgodnie z konwencją znaków ciśnienie zwrócone ku powierzchni ma wartość dodatnią, natomiast podciśnienie skierowane od powierzchni ma wartość ujemną (rysunek 8.1).



**Rysunek 8.1 Konwencja znaków dla ciśnienia**

Jak podano w § 5.3(2) normy EN 1991-1-4 wynikowa siła wiatru  $F_w$  oddziałująca na konstrukcję lub element konstrukcji może być wyznaczona na drodze sumowania wektorów sił  $F_{w,e}$ ,  $F_{w,i}$  oraz  $F_{fr}$ . Ogólnie można to wyrazić równaniem:

$$F_w = c_s c_d c_f q_p(z_e) A_{ref}$$

gdzie:

$c_s c_d$  jest współczynnikiem konstrukcyjnym (w przypadku budynków niższych niż 15 m może być przyjęty jako 1)

Uwaga: średnia prędkość wiatru  $v_m(z)$  potrzebna jest do obliczenia współczynnika konstrukcyjnego  $c_s c_d$ .

$c_f$  jest współczynnikiem siły dla konstrukcji (lub elementu konstrukcyjnego)

$A_{ref}$  jest polem powierzchni odniesienia konstrukcji (lub elementu konstrukcyjnego). Może być tutaj zdefiniowane jako pole powierzchni rzutu konstrukcji lub elementu konstrukcyjnego na płaszczyznę pionową prostopadłą do kierunku wiatru.

### Podjęcie praktyczne

W praktyce, w celu wyznaczenia oddziaływań na elementy konstrukcyjne projektant powinien oszacować wynikowe ciśnienie wywierane na ściany. Wynikowe ciśnienie może być wyrażone w następujący sposób:

$$F_w/A_{ref} = c_s c_d w_e - w_i$$

gdzie:

$w_e$  jest ciśnieniem wiatru wywieranym na powierzchnię zewnętrzną (patrz 7.2.1.2)

$w_i$  jest ciśnieniem wiatru wywieranym na powierzchnię wewnętrzną (patrz 7.2.1.3)

Dodatkowo, gdy jest to konieczne, należy uwzględnić wpływ sił tarcia (patrz 7.2.1.4).

### 8.2.2.1 Siły zewnętrzne

Siły zewnętrzne obliczane są ze wzoru:

$$F_{w,e} = c_s c_d \sum_{\text{surfaces}} w_e A_{\text{ref}}$$

gdzie:

$c_s c_d$  jest współczynnikiem konstrukcyjnym (patrz 7.2.1.1)

$w_e$  jest ciśnieniem wiatru wywieranym na powierzchnię zewnętrzną:

$$w_e = q_p(z_e) c_{pe}$$

$q_p(z_e)$  jest szczytowym ciśnieniem prędkości na wysokości odniesienia  $z_e$

$z_e$  jest wysokością odniesienia dla ciśnienia zewnętrznego (przeważnie jest to wysokość konstrukcji). Zależy ona od współczynnika kształtu  $h/b$ , gdzie  $h$  jest wysokością budynku, natomiast  $b$  jest wymiarem poprzecznym do kierunku wiatru.

*W przypadku budynków jednokondygnacyjnych wymiar  $h$  jest zazwyczaj mniejszy niż wymiar  $b$ . W takim przypadku wysokość  $z_e$  jest przyjmowana jako równa wysokości budynku a ciśnienie prędkości  $q_p(z)$  jest jednakowe na całej konstrukcji:  $q_p(z_e) = q_p(h)$ .*

$c_{pe}$  jest współczynnikiem ciśnienia dla ciśnienia zewnętrznego. W §8.2.3 podano informacje na temat ścian pionowych, a w §8.2.4 — na temat dachów.

$A_{\text{ref}}$  jest polem powierzchni odniesienia. W tym przypadku jest to pole powierzchni rozważane pod kątem projektu konstrukcji lub elementu konstrukcyjnego.

### 8.2.2.2 Siły wewnętrzne

Siły wewnętrzne obliczane są ze wzoru:

$$F_{w,i} = \sum_{\text{surfaces}} w_i A_{\text{ref}}$$

gdzie:

$w_i$  jest ciśnieniem wiatru wywieranym na powierzchnię wewnętrzną:

$$w_i = q_p(z_i) c_{pi}$$

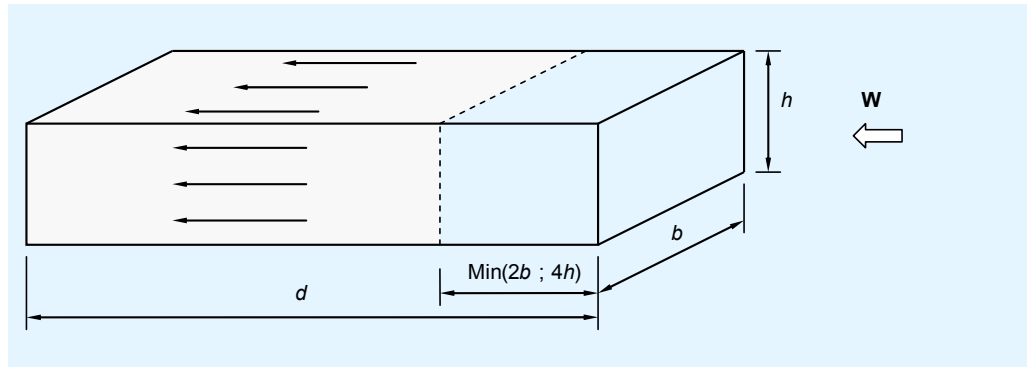
$z_i$  jest wysokością odniesienia dla ciśnienia wewnętrznego (zazwyczaj:  $z_i = z_e$ )

$q_p(z_i)$  jest szczytowym ciśnieniem prędkości na wysokości  $z_i$  (zazwyczaj:  $q_p(z_i) = q_p(z_e)$ )

$c_{pi}$  jest współczynnikiem ciśnienia dla ciśnienia wewnętrznego, patrz §8.2.5

### 8.2.2.3 Siły tarcia

Siły tarcia spowodowane są tarciami wiatru wiejącego równoległe do powierzchni zewnętrznej. Tarcie jest uwzględniane wtedy, gdy całkowite pole wszystkich powierzchni równoległych do kierunku wiatru jest większe od czterokrotności całkowitego pola wszystkich powierzchni prostopadłych do kierunku wiatru (po stronie nawietrznej i zawietrznej), co ma miejsce w przypadku konstrukcji długich.



Rysunek 8.2 Siły tarcia

Siły tarcia obliczane są ze wzoru:

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

gdzie:

- $c_{fr}$  jest współczynnikiem tarcia. Można przyjąć, że jest on równy:  
0,01 w przypadku powierzchni gładkich (stal, gładki beton itp.)  
0,02 w przypadku powierzchni chropowatych (chropowaty beton, papa itp.)  
0,03 w przypadku powierzchni o wysokiej chropowatości (marszczenia, żebrowania, pofałdowania itp.).

$q_p(z_e)$  jest szczytowym ciśnieniem prędkości na wysokości odniesienia  $z_e$

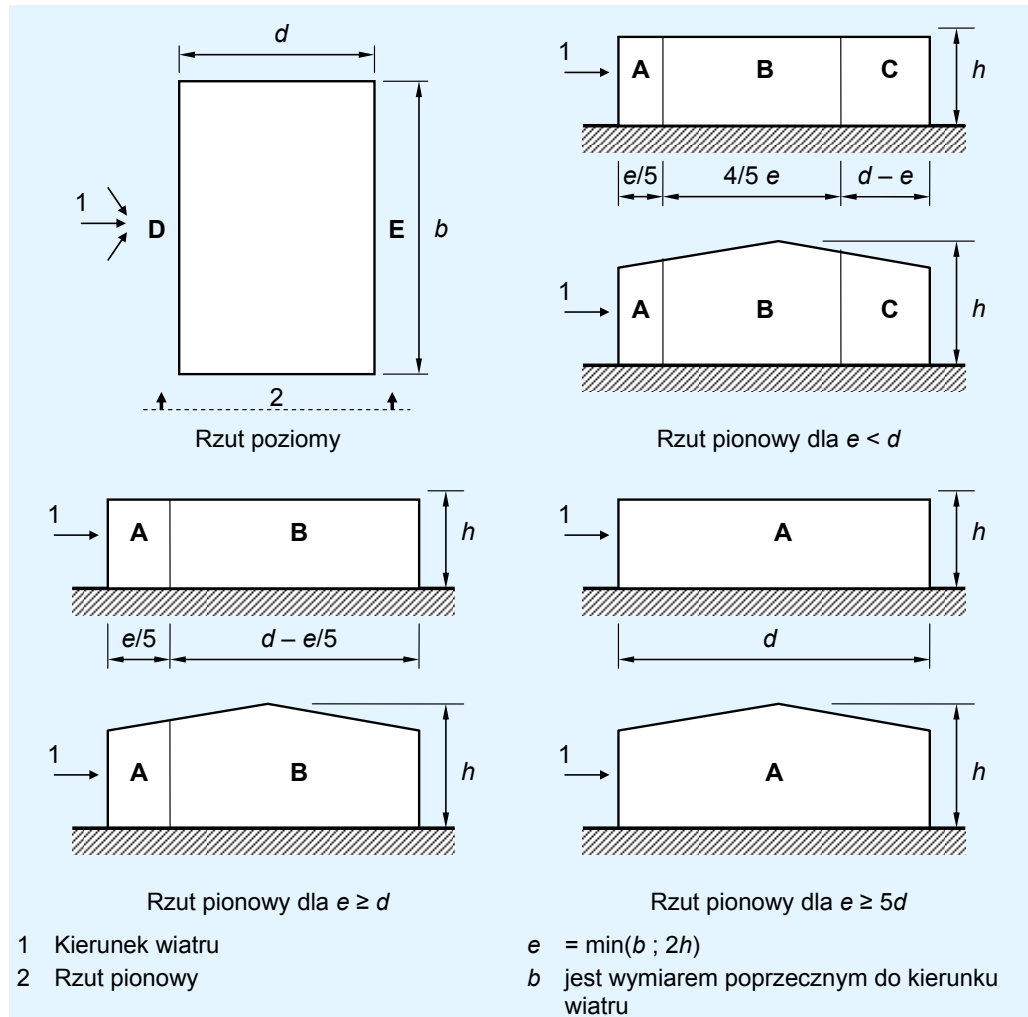
$A_{fr}$  jest polem powierzchni odniesienia. Siły tarcia występują na części powierzchni zewnętrznych równoległych do kierunku wiatru  $A_{fr}$  znajdującej się poza odległością od okapów lub narożników po stronie nawietrznej równą mniejszej wartości z:  $2b$  lub  $4h$ ; wielkości  $b$  oraz  $h$  zdefiniowano na rysunku 8.2.

### 8.2.3 Współczynniki ciśnienia zewnętrznego na ścianach pionowych

Wartości współczynników ciśnienia zewnętrznego podane w tabelach Eurokodu są dołączone do zdefiniowanych stref. Współczynniki zależą od wielkości obciążonej powierzchni  $A$  generującej oddziaływanie wiatru w rozważanej strefie. Znajdujące się w tabelach współczynniki ciśnienia zewnętrznego podano dla obciążonych powierzchni o polu równym  $1 \text{ m}^2$  ( $c_{pe,1}$ ) oraz  $10 \text{ m}^2$  ( $c_{pe,10}$ ). W niniejszym przewodniku brane są pod uwagę jedynie współczynniki  $c_{pe,10}$ , ponieważ są one używane do projektowania całkowitej konstrukcji nośnej budynków.

Strefy dla ścian pionowych zdefiniowano na rysunku 7.5 normy EN 1991-1-4, a współczynniki ciśnienia zewnętrzne  $c_{pe,10}$  podano w tabeli 7.1 normy EN 1991-1-4. Do wyznaczenia wartości pośrednich stosunku  $h/d$  może być stosowana interpolacja liniowa.

Wartości współczynników ciśnienia zewnętrzne mogą być podane w Załączniku krajowym.



Rysunek 8.3 Kluczowe parametry ścian pionowych

W przypadku budynków o stosunku  $h/d > 5$  całkowite obciążenie wiatrem może być wyznaczone w oparciu o współczynniki siły  $c_f$ .

W przypadkach, w których siła wiatru oddziałująca na konstrukcje budowlane jest wyznaczana przez zastosowanie współczynnika ciśnienia  $c_{pe}$  jednocześnie po stronie nawietrznej i zawietrznej budynku (strefa D oraz E), brak korelacji pomiędzy ciśnieniem wiatru po stronie nawietrznej i zawietrznej można uwzględnić w następujący sposób:

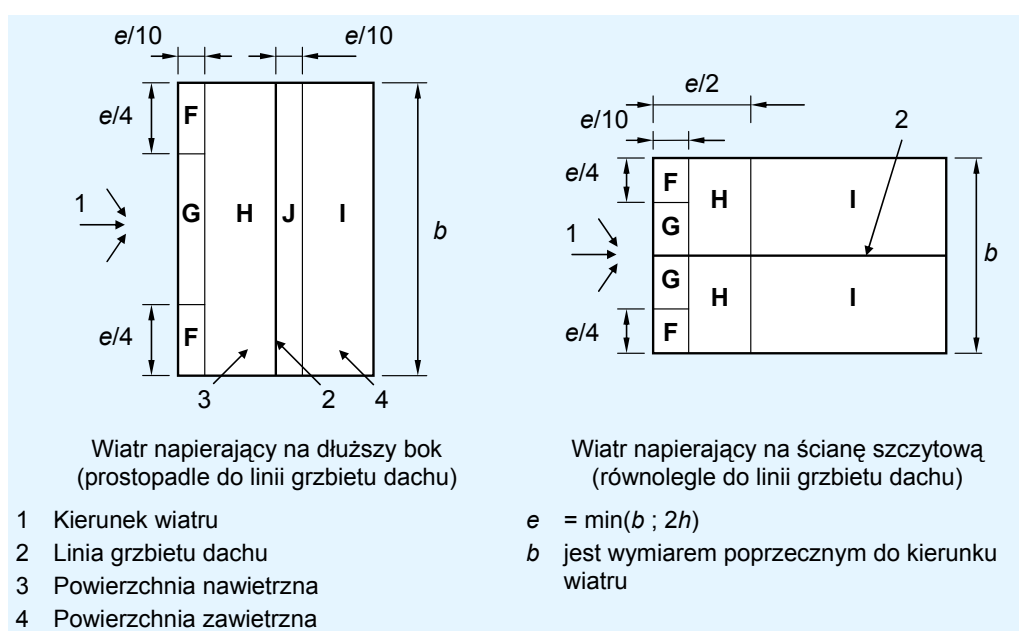
- W przypadku budynków o stosunku  $h/d \geq 5$  siła wynikowa mnożona jest przez 1
- W przypadku budynków o stosunku  $h/d \leq 1$  siła wynikowa mnożona jest przez 0,85
- Do wyznaczenia wartości pośrednich stosunku  $h/d$  może być stosowana interpolacja liniowa.

### 8.2.4 Współczynniki ciśnienia zewnętrznego na dachach

Strefy dla dachów oraz współczynniki zewnętrzne  $c_{pe,10}$  dołączone do tych stref zdefiniowano w normie EN 1991-1-4 w następujący sposób:

- Dachy płaskie: rysunek 7.6 oraz tabela 7.2
- Dachy jednospadowe: rysunek 7.7 oraz tabele 7.3a i 7.3b
- Dachy dwuspadowe: rysunek 7.8 oraz tabele 7.4a i 7.4b
- Dachy czterospadowe: rysunek 7.9 oraz tabela 7.5
- Dachy wieloprzesłowe: rysunek 7.10 oraz współczynniki  $c_{pe}$  pochodzą z tabel od 7.3 do 7.4.

Rysunek 8.4 niniejszego przewodnika przedstawia strefy dachów dwuspadowych.



Rysunek 8.4 Strefy dla dachów dwuspadowych

### 8.2.5 Współczynniki ciśnienia wewnętrznego

Współczynniki ciśnienia wewnętrznego  $c_{pi}$  zależą od rozmiaru oraz rozkładu otworów w zewnętrznych przegrodach budynku.

Gdy w przynajmniej dwóch bokach budynku (fasady lub dach) sumaryczna powierzchnia otworów w każdym boku przekracza 30% powierzchni tego boku, konstrukcję należy uznać za zadaszenia i ścian wolnostojących.

Elewację budynku należy uważać za dominującą, gdy powierzchnia otworów w niej wykonanych jest co najmniej dwukrotnie większa od powierzchni otworów w pozostałych elewacjach rozpatrywanego budynku.

Tam gdzie zewnętrzny otwór byłby dominujący, gdyby był otwarty, ale w stanie granicznym nośności jest uważany za zamknięty, podczas silnych wichur (wiatr wykorzystywany do projektowania konstrukcji), stan z otwartym otworem należy uważać za wyjątkową sytuację obliczeniową.

### Część 3: Oddziaływania

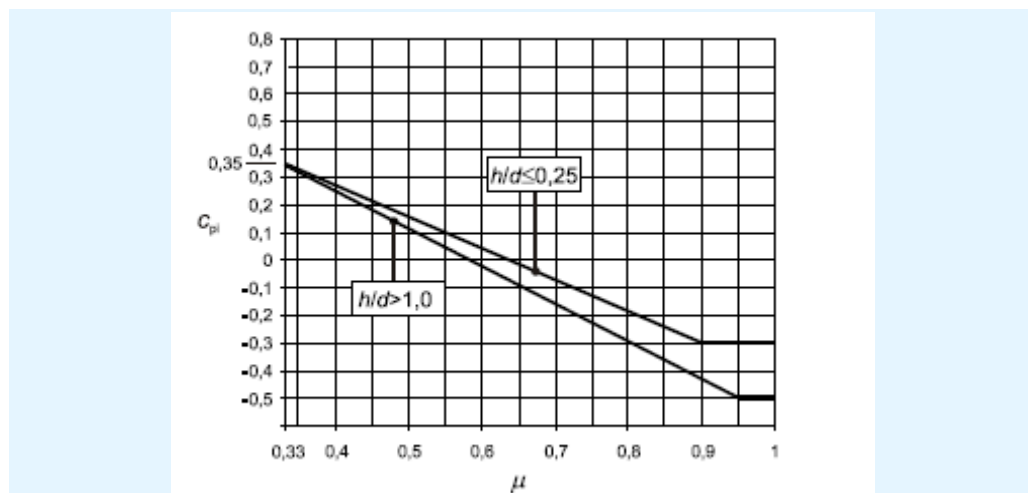
W przypadku budynków z elewacją dominującą, ciśnienie wewnętrzne należy przyjmować jako tarcie ciśnienia zewnętrznego na otworach tej elewacji dominującej:

- Powierzchnia otworów w elewacji dominującej = 2 × powierzchnia otworów w pozostałych elewacjach:  
 $c_{pi} = 0,75 c_{pe}$
- Powierzchnia otworów w elewacji dominującej = 3 × powierzchnia otworów w pozostałych elewacjach:  
 $c_{pi} = 0,90 c_{pe}$
- Powierzchnia otworów w elewacji dominującej = od 2 do 3 x powierzchnia otworów w pozostałych elewacjach:  
Interpolacja liniowa do obliczenia  $c_{pi}$ .

W przypadku, gdy otwory zlokalizowane są w strefach o różnych wartościach  $c_{pe}$ , należy wykorzystać wartość średnią ważoną powierzchni.

W przypadku budynków bez elewacji dominującej współczynnik  $c_{pi}$  powinien zostać wyznaczony z funkcji stosunku  $h/d$  oraz współczynnika otworów  $\mu$  dla każdego kierunku, jak pokazano na rysunku 8.5.

gdzie: 
$$\mu = \frac{\sum \text{area of openings where } c_{pe} \leq 0}{\sum \text{area of all openings}}$$



**Rysunek 8.5 Współczynniki ciśnienia wewnętrznego dla jednakowo rozmieszczonych otworów**

W przypadku wartości od  $h/d = 0,25$  a  $h/d = 1,0$  można zastosować interpolację liniową.

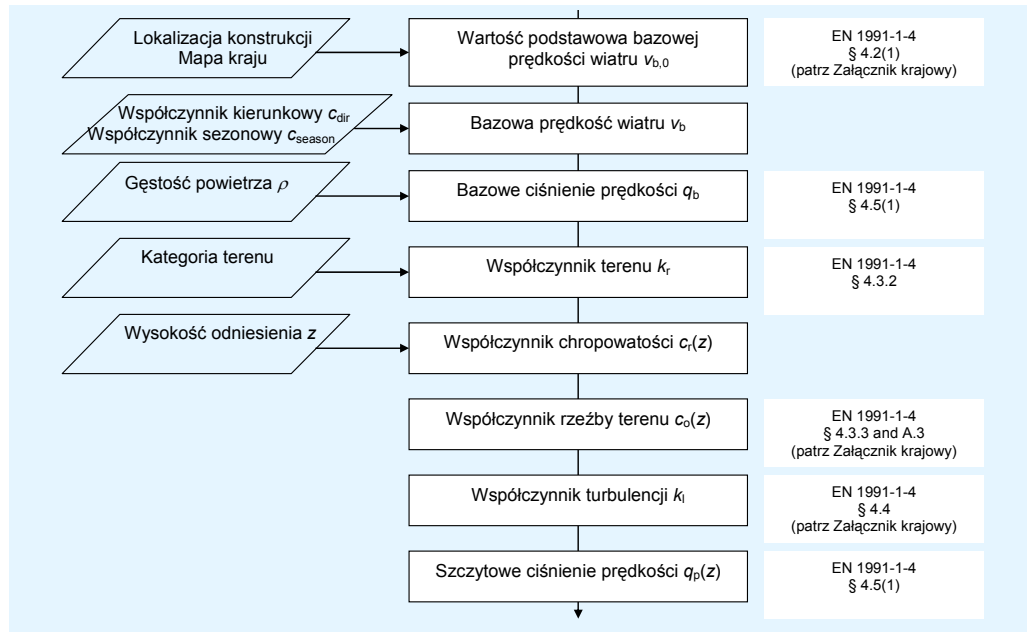
Tam gdzie dla danego przypadku oszacowanie  $\mu$  jest niemożliwe lub uważa się je za nieuzasadnione, współczynnik  $c_{pi}$  powinien zostać przyjęty jako bardziej obciążający spośród wartości + 0,2 oraz - 0,3.

Wysokość odniesienia  $z_i$  dla ciśnień wewnętrznych powinna być równa wysokości odniesienia  $z_e$  dla ciśnień zewnętrznych na elewacjach, które z powodu znajdujących się w nich otworów przyczyniają się do generowania ciśnienia wewnętrznego. Zazwyczaj w przypadku budynków jednokondygnacyjnych,  $z_i = z_e = h$ , a ciśnienie prędkości  $q_p(z)$ :

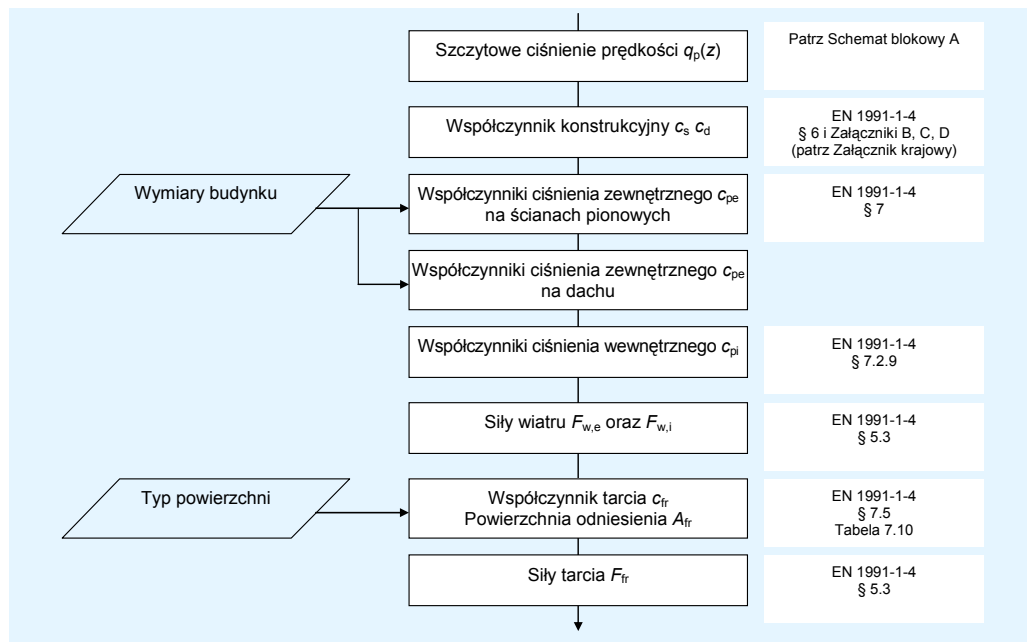
$$q_p(z_i) = q_p(z_e) = q_p(h)$$



### 8.3 Schematy blokowe



Rysunek 8.6 Schemat blokowy A: obliczenie szczytowego ciśnienia prędkości



Rysunek 8.7 Schemat blokowy B: obliczenie sił wiatru

## 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 podano w rozdziale 1.4.2 przewodnika *Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 2: Projekt koncepcyjny*<sup>[11]</sup>.

Gdy wpływ temperatury musi zostać uwzględniony, zasady jego wyznaczania można znaleźć w normie EN 1993-1-5.

## 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. Oddziaływania termiczne
- 6 EN 1991-3:2006: Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania wywołane dźwignicami i maszynami
- 7 CLAVAUD, D.  
Exemple de détermination des charges de neige selon l'EN 1991-1-3. Revue Construction Métallique n°2-2007.  
CTICM.
- 8 CLAVAUD, D.  
Exemple de détermination des actions du vent selon l'EN 1991-1-4. Revue Construction Métallique n°1-2008.  
CTICM.
- 9 EN 1998-1:2004: Eurokod 8 Projektowanie konstrukcji odpornych na wstrząsy sejsmiczne. Reguły ogólne, oddziaływania sejsmiczne i reguły dla budynków.
- 10 Konstrukcje stalowe w Europie  
Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 3: Oddziaływania
- 11 Konstrukcje stalowe w Europie  
Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 2: Projekt koncepcyjny

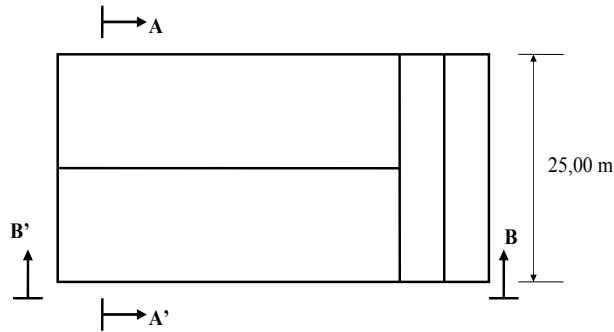


## **ZAŁĄCZNIK A**

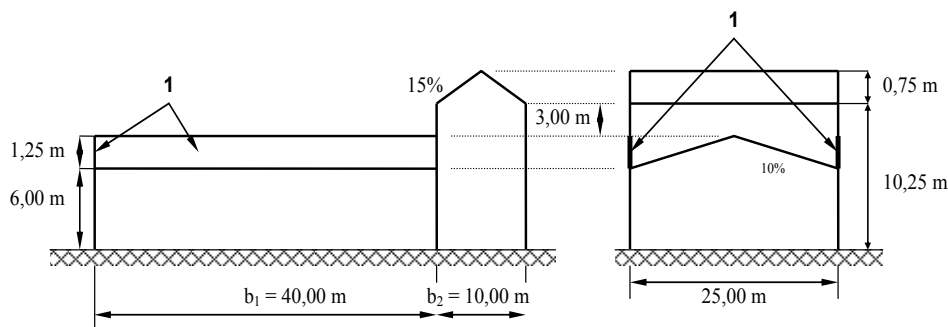
### **PRZYKŁAD PRAKTYCZNY: OBCIĄŻENIE ŚNIEGIEM BUDYNKU JEDNOKONDYGNACYJNEGO**

## 1. Dane

Ten przykład praktyczny dotyczy budynku jednokondygnacyjnego pokazanego poniżej.



Rzut poziomy



Przekrój- BB'

Przekrój- AA'

1 Atyki

**Rysunek A.1— Geometria budynku**

## 2. Obciążenie śniegiem gruntu

Wartość charakterystyczna  $s_k$  obciążenia śniegiem gruntu:

$$s_k = 0,65 \text{ kN/m}^2$$

Współczynnik dla wyjątkowego obciążenia śniegiem:

$$C_{esl} = 2$$

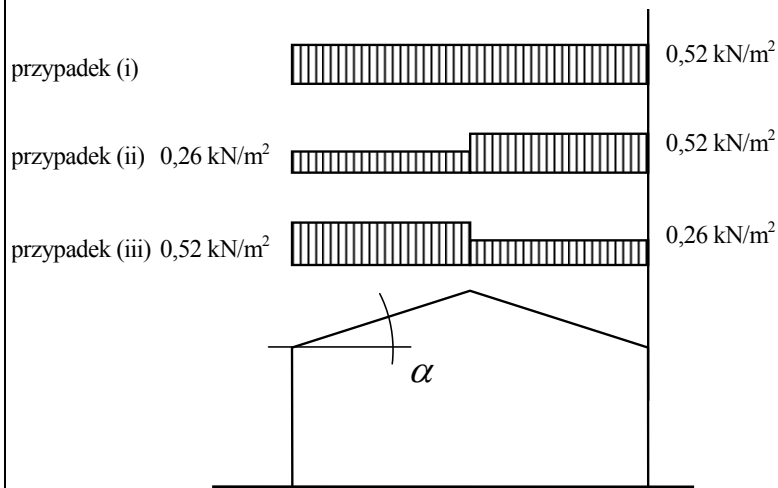
Wyjątkowe obciążenie śniegiem gruntu:

$$s_{Ad} = C_{esl} s_k = 2 \times 0,65 = 1,30 \text{ kN/m}^2$$

EN 1991-1-3  
§ 4.3

Tytuł	ZAŁĄCZNIK A. Przykład praktyczny: Obciążenie śniegiem budynku jednokondygnacyjnego	2 z 9
<p><b>3. Obciążenie śniegiem dachu</b></p> <p><b>3.1. Ogólne</b></p> <p>Obciążenia działają pionowo i odnoszą się do rzutu poziomego powierzchni dachu.</p> <p>Należy rozważyć dwa podstawowe rozkłady obciążenia:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• obciążenie dachów śniegiem nienaniesionym,</li> <li>• obciążenie dachów śniegiem naniesionym.</li> </ul> <p>Obciążenia śniegiem dachów wyznaczane są w następujący sposób:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trwałe (warunki normalnego użytkowania)/przejściowe (tymczasowe warunki użytkowania) sytuacje obliczeniowe: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>s = \mu_i C_e C_t s_k</math></li> </ul> </li> <li>• Wyjątkowe sytuacje obliczeniowe (wyjątkowe opady śniegu), w których wyjątkowe obciążenie śniegiem jest oddziaływaniem wyjątkowym: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>s = \mu_i C_e C_t s_{Ad}</math></li> </ul> </li> <li>• Wyjątkowe sytuacje obliczeniowe (wyjątkowe naniesienie śniegu), w których wyjątkowe oddziaływanie jest wyjątkowym naniesieniem i w których obowiązuje Załącznik B: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>s = \mu_i s_k</math></li> </ul> </li> </ul> <p>gdzie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\mu_i</math> jest współczynnikiem kształtu śniegu</li> <li><math>C_e</math> jest współczynnikiem ekspozycji, <math>C_e = 1,0</math></li> <li><math>C_t</math> jest współczynnikiem termicznym, <math>C_t = 1,0</math></li> </ul> <p><b>3.2. Dach górny (dach dwuspadowy)</b></p> <p>Kąt nachylenia dachu (15%):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\alpha = \arctan(0,15) = 8,5^\circ</math></li> <li><math>0 \leq \alpha \leq 30^\circ</math></li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trwałe/przejściowe sytuacje obliczeniowe <ul style="list-style-type: none"> <li>- Przypadek (i): rozkład obciążenia śniegiem nienaniesionym <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\mu_i(\alpha = 8,5^\circ) = 0,8</math></li> <li><math>s = 0,8 \times 0,65 = 0,52 \text{ kN/m}^2</math></li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>		<p>EN 1991-1-3 § 5.2(1)</p> <p>EN 1991-1-3 § 5.2(3) a)</p> <p>§ 5.2(3) b)</p> <p>§ 5.2(3) c)</p> <p>EN 1991-1-3 § 5.3</p> <p>§ 5.2(7)</p> <p>§ 5.2(8)</p> <p>EN 1991-1-3 § 5.3.3 Rysunek 5.3</p>

- Przypadek (ii): rozkład obciążenia śniegiem naniesionym  
 $0,5 \mu_1 (\alpha = 8,5^\circ) = 0,4$   
 $s = 0,4 \times 0,65 = 0,26 \text{ kN/m}^2$
- Przypadek (iii): rozkład obciążenia śniegiem naniesionym  
 Z powodu symetrii dachu ( $\alpha_1 = \alpha_2 = 8,5^\circ$ ) przypadek (iii) jest symetryczny względem przypadku (ii).

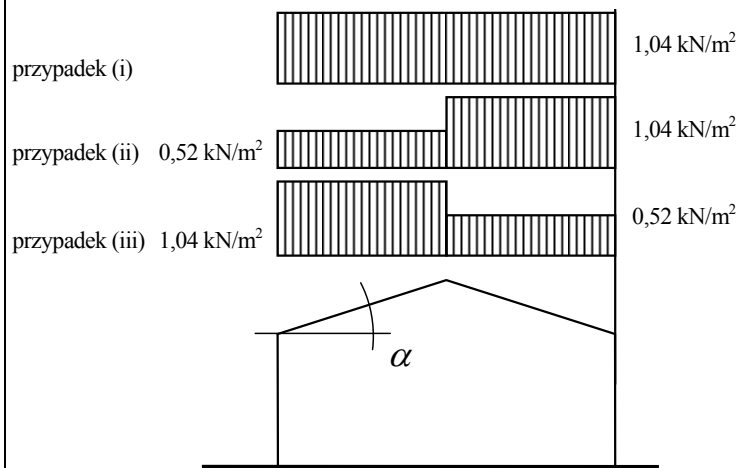


**Rysunek A.2** Rozkłady obciążenia śniegiem dachu wyższego w trwałej sytuacji obliczeniowej

- Wyjątkowe sytuacje obliczeniowe — wyjątkowe obciążenie gruntu
  - Przypadek (i): rozkład obciążenia śniegiem nienaniesionym  
 $\mu_1(\alpha = 8,5^\circ) = 0,8$   
 $s = 0,8 \times 1,30 = 1,04 \text{ kN/m}^2$
  - Przypadek (ii): rozkład obciążenia śniegiem naniesionym  
 $0,5 \mu_1(\alpha = 8,5^\circ) = 0,4$   
 $s = 0,4 \times 1,30 = 0,52 \text{ kN/m}^2$
  - Przypadek (iii): rozkład obciążenia śniegiem naniesionym  
 Z powodu symetrii dachu ( $\alpha_1 = \alpha_2 = 8,5^\circ$ ) przypadek (iii) jest symetryczny względem przypadku (ii).

EN 1991-1-3  
Rysunek 5.3





**Rysunek A.3** Rozkłady obciążenia śniegiem dachu wyższego w wyjątkowej sytuacji obliczeniowej

- Wyjątkowe sytuacje obliczeniowe — wyjątkowe naniesienie:

Ten przypadek nie ma zastosowania. Brak attyk czy koszy dachu.

### 3.3. Dach niższy: dach dwuspadowy przylegający do konstrukcji wyższych

Kąt nachylenia dachu (10%):

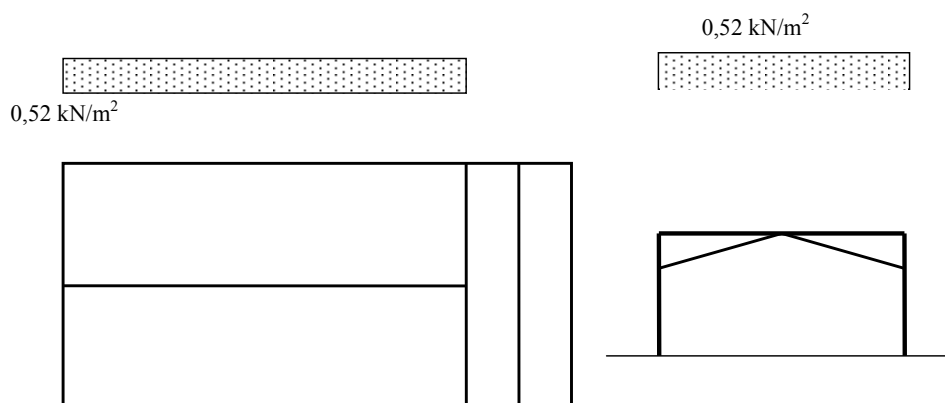
$$\alpha = \arctan(0,10) = 5,7^\circ$$

$$0 \leq \alpha \leq 30^\circ$$

- Trwałe/przejściowe sytuacje obliczeniowe
  - Przypadek (i): rozkład obciążenia śniegiem nienaniesionym

$$\mu_1(5,7^\circ) = 0,8$$

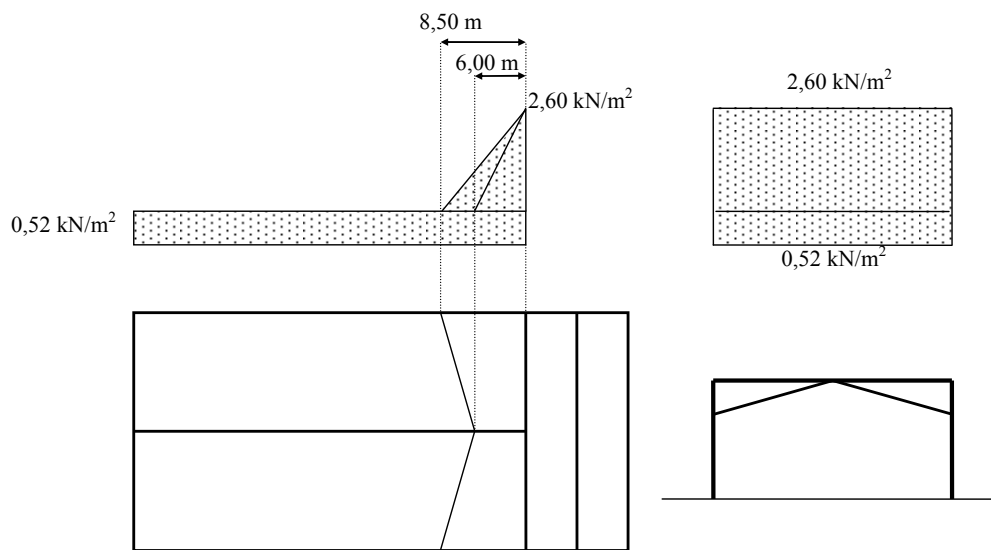
$$s = 0,8 \times 0,65 = 0,52 \text{ kN/m}^2$$



**Rysunek A.4** Rozkład obciążenia śniegiem nienaniesionym dachu niższego w trwałej sytuacji obliczeniowej

EN 1991-1-3  
§ 5.3.6(1)

Tytuł	ZAŁĄCZNIK A. Przykład praktyczny: Obciążenie śniegiem budynku jednokondygnacyjnego	5 z 9
<p>- Przypadek (ii): rozkład obciążenia śniegiem naniesionym</p> $\mu_1(5,7^\circ) = 0,8$ $s = 0,8 \times 0,65 = 0,52 \text{ kN/m}^2$ $\mu_2 = \mu_s + \mu_w$ <p>gdzie:</p> <p><math>\mu_s</math> jest współczynnikiem kształtu śniegu związanym ze ześlizgiwaniem się śniegu z dachu wyższego.</p> <p>Dla <math>\alpha \leq 15^\circ</math>: <math>\mu_s = 0</math></p> <p><math>\mu_w</math> jest współczynnikiem kształtu obciążenia śniegiem związanym z wiatrem.</p> $\mu_w = (b_1 + b_2) / 2h$ <p>wraz z: <math>\mu_w \leq \gamma h/s_k</math></p> $b_1 = 10 \text{ m}$ $b_2 = 40 \text{ m}$ <p><math>h</math> zmienia się od 3 m przy grzbiecie dachu do 4,25 m w narożach</p> $\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$ <p>Zalecany zakres to: <math>0,8 \leq \mu_w \leq 4</math></p> <p>Przy grzbiecie dachu: <math>\gamma h/s_k = 2 \times 3/0,65 = 9,2</math></p> $\mu_w = (10 + 40)/(2 \times 3) = 8,3 \leq \gamma h/s_k$ <p>Przy okapie: <math>\gamma h/s_k = 2 \times 4,25/0,65 = 13,1</math></p> $\mu_w = (10 + 40)/(2 \times 4,25) = 5,9 \leq \gamma h/s_k$ <p>Ale <math>\mu_w</math> powinien wynosić maksymalnie 4, więc:</p> $\mu_w = 4$ <p>Zatem:</p> $s = 4 \times 0,65 = 2,60 \text{ kN/m}^2$ <p><math>l_s</math> jest długością naniesienia określoną jako:</p> $l_s = 2 h$ <p>Długość naniesienia zmienia się od 6 m przy grzbiecie dachu do 8,5 m w narożach.</p> <p>Zalecane ograniczenie to: <math>5 \text{ m} \leq l_s \leq 15 \text{ m}</math></p>		<p>EN 1991-1-3 § 5.3.6(1)</p>

EN 1991-1-3  
Rysunek 5.7

**Rysunek A.5 Rozkład obciążenia śniegiem naniesionym dachu niższego przylegającego do konstrukcji wyższej w trwałej sytuacji obliczeniowej**

- Wyjątkowe sytuacje obliczeniowe — wyjątkowe obciążenie gruntu:

- Przypadek (i): rozkład obciążenia śniegiem nienaniesionym

$$\mu_1(5,7^\circ) = 0,8$$

$$s = 0,8 \times 1,3 = 1,04 \text{ kN/m}^2$$

Rozkład jest taki sam jak na rysunku A.4 z:  $s = 1,04 \text{ kN/m}^2$

- Przypadek (ii): rozkład obciążenia śniegiem naniesionym

Rozkład jest taki sam jak na rysunku A.5 z:  $s_1 = 1,04 \text{ kN/m}^2$

gdzie:

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\text{oraz } s_2 = 5,20 \text{ kN/m}^2 \text{ gdzie } \mu_w = 4$$

### 3.4. Dach niższy: naniesienia przy przeszkodach (attyki)

Należy uwzględnić tylko trwałe/przejściowe sytuacje obliczeniowe.

Kąt nachylenia dachu (10%):  $\alpha = 5,7^\circ$

$$\mu_1(5,7^\circ) = 0,8$$

$$s = 0,8 \times 0,65 = 0,52 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_2 = \gamma h / s_k$$

gdzie:

$h$  to wysokość attyki. Zmienia się ona od 0 m przy grzbiecie dachu do 1,25 m przy dolnych narożach.

$$\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$$

Przy grzbiecie dachu:  $\mu_2 = 0$

Przy dolnych narożach:  $\mu_2 = 2 \times 1,25 / 0,65 = 3,8$

Z ograniczeniem:  $0,8 \leq \mu_2 \leq 2$

$\therefore \mu_2$  zmienia się od 0,8 przy grzbiecie dachu do 2 przy okapie.

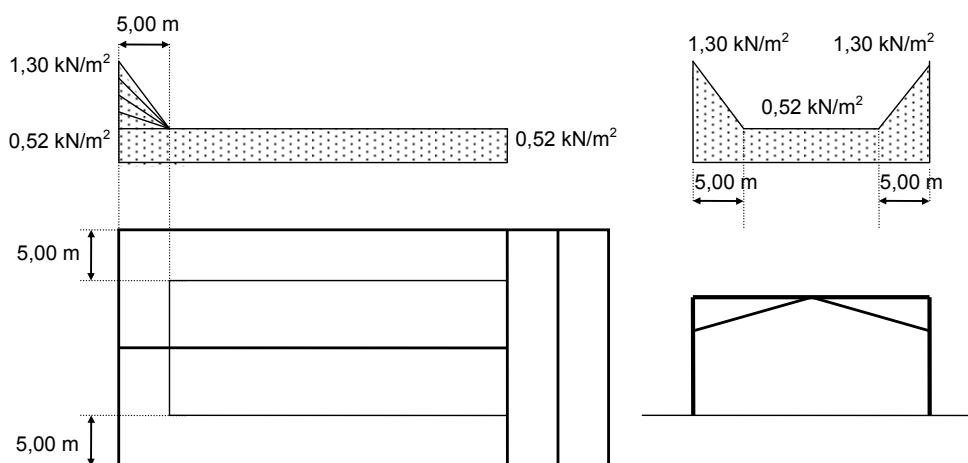
$s$  zmienia się od  $0,52 \text{ kN/m}^2$  przy grzbiecie dachu do  $2 \times 0,65 = 1,30 \text{ kN/m}^2$  przy dolnych narożach.

Długość naniesienia  $l_s$  wyznacza się z zależności:  $l_s = 2 h$

Długość naniesienia zmienia się od 0 m przy grzbiecie dachu do 2,50 m przy dolnych narożach.

Zalecane ograniczenie to:  $5 \text{ m} \leq l_s \leq 15 \text{ m}$ . Zatem:

$l_s = 5 \text{ m}$  przy dolnych narożach.



**Rysunek A 6. Rozkład obciążenia śniegiem naniesionym dachu niższego w przypadku istnienia przeszkody w trwałej sytuacji obliczeniowej**

EN 1991-1-3  
§ 6.2(2)

### 3.5. Wyjątkowe naniesienia śniegu

#### 3.5.1. Dachy przylegające do konstrukcji wyższych i znajdujące się w ich pobliżu

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \min(2h/s_k ; 2b/l_s ; 8)$$

gdzie  $b$  jest większą wartością spośród  $b_1$  i  $b_2$

$$l_s = \min(5h ; b_1 ; 15 \text{ m})$$

$$h = 4,25 \text{ m}$$

$$b_1 = 40,00 \text{ m}$$

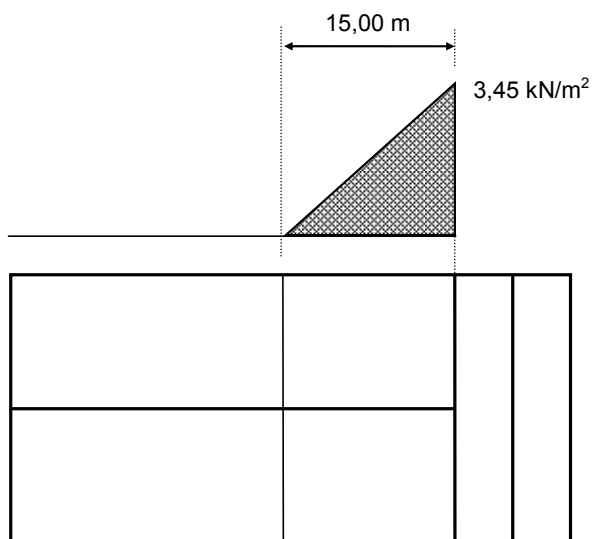
$$b_2 = 10,00 \text{ m}$$

$$s_k = 0,65 \text{ kN/m}^2$$

$$5h = 21,25 \text{ m}; l_s = 15,00 \text{ m}; \quad 2h/s_k = 13,08; \quad 2b/l_s = 5,3$$

$$\therefore \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 5,3$$

oraz:  $s = \mu_3 s_k = 3,45 \text{ kN/m}^2$



**Rysunek A.7** Wyjątkowe naniesienie śniegu na dachu niższym w przypadku dachów przylegających do budynku wyższego i znajdujących się w jego pobliżu

EN 1991-1-3  
Załącznik B §  
B.3

**3.5.2. Dachy, na których występuje naniesienie za attykami przy narożach**

$$\mu_1 = \min(2 h/s_k ; 2 b_2/l_s ; 8)$$

$$\text{gdzie: } l_s = \min(5h ; b_1 ; 15 \text{ m})$$

$$h = 3,00 \text{ m}$$

$$b_1 = 12,50 \text{ m}$$

$$b_2 = 25,00 \text{ m}$$

$$s_k = 0,65 \text{ kN/m}^2$$

$$5h = 15,00 \text{ m} ; l_s = 12,50 \text{ m} ; 2h/s_k = 9,23 ; 2b_2/l_s = 4,00$$

$$\therefore \mu_1 = 4,00$$

$$\text{oraz: } s = \mu_1 s_k = 2,60 \text{ kN/m}^2$$

**3.5.3. Dachy, na których występuje naniesienie za attykami przy końcu ze ścianą szczytową**

$$\mu_1 = \min(2 h/s_k ; 2 b_2/l_s ; 8)$$

$$\text{gdzie: } l_s = \min(5h ; b_1 ; 15 \text{ m})$$

$$h = 3,00 \text{ m}$$

$$b_1 = 40,00 \text{ m}$$

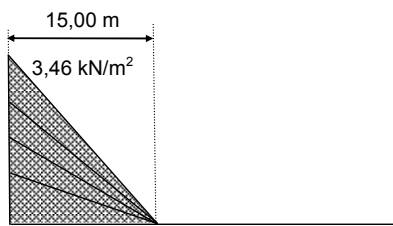
$$b_2 = 25,00 \text{ m}$$

$$s_k = 0,65 \text{ kN/m}^2$$

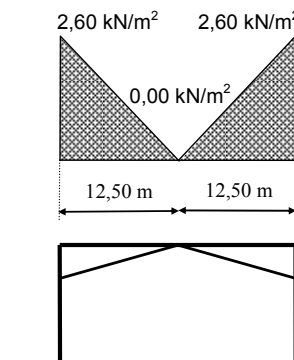
$$5h = 15,00 \text{ m} ; l_s = 15,00 \text{ m} ; 2h/s_k = 9,23 ; 2b_2/l_s = 5,33$$

$$\therefore \mu_1 = 5,33$$

$$\text{oraz: } s = \mu_1 s_k = 3,46 \text{ kN/m}^2$$



Śnieg za attyką przy końcu ze ścianą szczytową



Śnieg za attykami przy narożach

**Rysunek A.8 Wyjątkowe naniesienie śniegu na dachu niższym w przypadku dachów, na których dochodzi do naniesienia śniegu za attykami przy narożach**

EN 1991-1-3  
Załącznik B §  
B.4

EN 1991-1-3  
Załącznik B §  
B.4



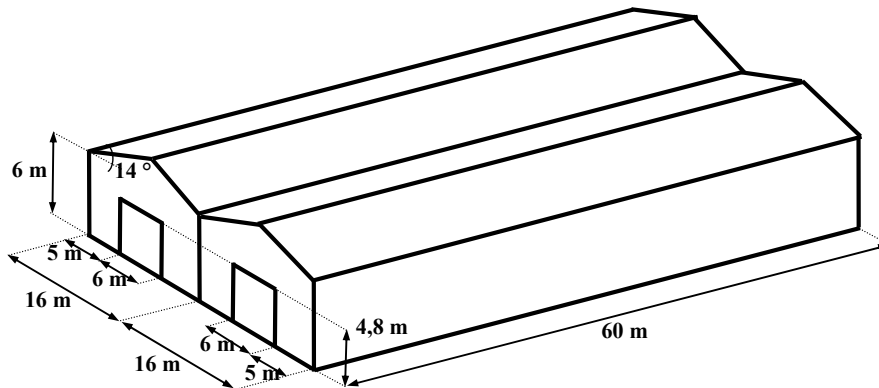
## **ZAŁĄCZNIK B**

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



## 1. Dane

Ten przykład praktyczny ilustruje obliczenie oddziaływania wiatru na budynek jednokondygnacyjny według normy EN 1991-1-4. Istotne wymiary budynku przedstawiono na rysunku B.1.



**Rysunek B.1 Geometria budynku**

Zakłada się, że podczas silnych wichur drzwi będą zamknięte.

Wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru wynosi:

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

## 2. Szczytowe ciśnienie prędkości

Szczytowe ciśnienie prędkości jest wyznaczane zgodnie z dokładną procedurą podaną w tym przewodniku.

1. Wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru

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

2. Bazowa prędkość wiatru

Dla współczynników  $c_{dir}$  i  $c_{season}$  zalecane są następujące wartości:

$$c_{dir} = 1,0$$

$$c_{season} = 1,0$$

Wówczas:  $v_b = v_{b,0} = 26 \text{ m/s}$

3. Bazowe ciśnienie prędkości

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$$

gdzie:

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \text{ (wartość zalecana)}$$

$$\text{Wówczas: } q_b = 0,5 \times 1,25 \times 26^2 = 422,5 \text{ N/m}^2$$

EN 1991-1-4  
§ 4.2(2)

EN 1991-1-4  
§ 4.5(1)

Tytuł	ZAŁĄCZNIK B. Przykład praktyczny: Oddziaływanie wiatru na budynek jednokondygnacyjny	2 z 10
<p>4. Współczynnik terenu</p> $k_r = 0,19 \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}$ <p>Teren należy do kategorii III, tak więc:</p> $z_0 = 0,3 \text{ m}$ $z_{\min} = 5 \text{ m}$ $k_r = 0,19 \left( \frac{0,30}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$ <p>5. Współczynnik chropowatości</p> $c_r(z) = k_r \ln \left( \frac{z}{z_0} \right)$ <p><math>z</math> przyjmuje się wartość równą wysokości budynku:</p> $z = 8 \text{ m}$ <p>Wówczas: <math>c_r(z) = 0,215 \times \ln \left( \frac{8,0}{0,3} \right) = 0,706</math></p> <p>6. Współczynnik rzeźby terenu</p> <p>Budynek jest wzniesiony na obszarze podmiejskim, na którym średnie nachylenie terenu od strony nawietrznej jest bardzo małe (<math>&lt; 3^\circ</math>), więc:</p> $c_o(z) = 1$ <p>7. Współczynnik turbulencji</p> <p>Wykorzystano zalecaną wartość:</p> $k_l = 1,0$ <p>8. Szczytowe ciśnienie prędkości (alternatywa dla budynku jednokondygnacyjnego)</p> $q_p(z) = c_e(z) q_b$ <p>gdzie:</p> $c_e(z) = \left( 1 + \frac{7k_l k_r}{c_o(z) c_r(z)} \right) c_o^2(z) c_r^2(z)$ $c_e(z) = \left( 1 + \frac{7 \times 1,0 \times 0,215}{1,0 \times 0,706} \right) \times 1,0^2 \times 0,706^2 = 1,56$ <p>Wówczas: <math>q_p(z) = 1,56 \times 423 = 659 \text{ N/m}^2</math>  <math>q_p(z) = 0,659 \text{ kN/m}^2</math> dla <math>z = 8 \text{ m}</math></p>		<p>EN 1991-1-4 § 4.3.2(1) Tabela 4.1</p> <p>EN 1991-1-4 § 4.3.2(1)</p> <p>EN 1991-1-4 § 4.3.3(2)</p> <p>EN 1991-1-4 § 4.4(1)</p> <p>EN 1991-1-4 § 4.5(1)</p>

### 3. Ciśnienie wiatru wywierane na powierzchnie

#### 3.1. Współczynniki ciśnienia zewnętrznego $c_{pe,10}$

##### 3.1.1. Ściany pionowe

1. Napór wiatru na ścianę szczytową

$$h = 8 \text{ m}$$

$$b = 32 \text{ (wymiar poprzeczny do kierunku wiatru)}$$

$$h < b, \text{ więc } z_e = \text{wysokość odniesienia} = h = 8 \text{ m}$$

$$d = 60 \text{ m}$$

$$h/d = 8/60 = 0,13 \text{ (} h/d < 0,25 \text{)}$$

$$2h = 16 \text{ m}$$

$$e = 16 \text{ m (} b \text{ lub } 2h, \text{ zależnie od tego która wartość jest mniejsza)}$$

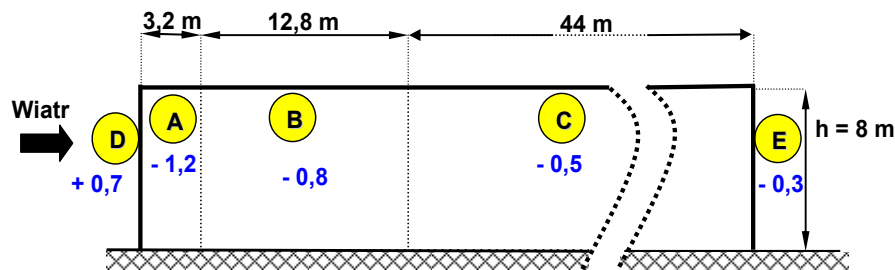
$$e < d$$

$$e/5 = 3,2 \text{ m}$$

$$4/5 e = 12,8 \text{ m}$$

$$d - e = 44 \text{ m}$$

Na rysunku B.2 zdefiniowano współczynniki ciśnienia zewnętrznego  $c_{pe,10}$  na ścianach pionowych dla stref A, B, C, D oraz E przy naporze wiatru na ścianę szczytową.



Rysunek B.2 Współczynniki  $c_{pe,10}$  dla stref A, B, C, D oraz E przy naporze wiatru na ścianę szczytową

2. Napór wiatru na dłuższy bok

$$h = 8 \text{ m}$$

$$b = 60 \text{ m (wymiar poprzeczny do kierunku wiatru)}$$

$$h < b, \text{ więc } z_e = \text{wysokość odniesienia} = h = 8 \text{ m}$$

$$d = 32 \text{ m}$$

$$h/d = 8/32 = 0,25$$

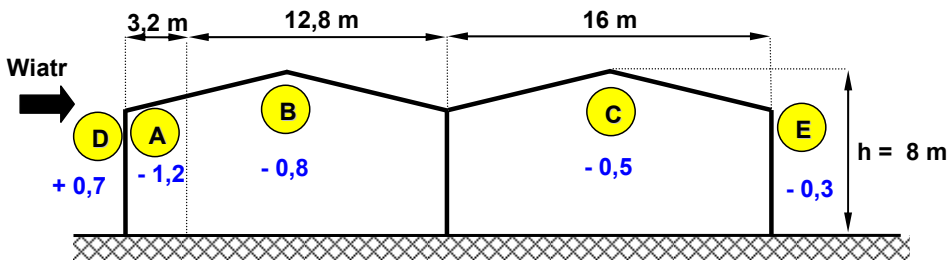
$$2h = 16 \text{ m}$$

EN 1991-1-4  
7.2.2 (1)  
Rysunek 7.4  
EN 1991-1-4  
7.2.2 (2)  
Tabela 7.1  
EN 1991-1-4  
§ 7.2.2 (1)  
Rysunek 7.5

EN 1991-1-4  
§ 7.2.2(2)  
Tabela 7.1

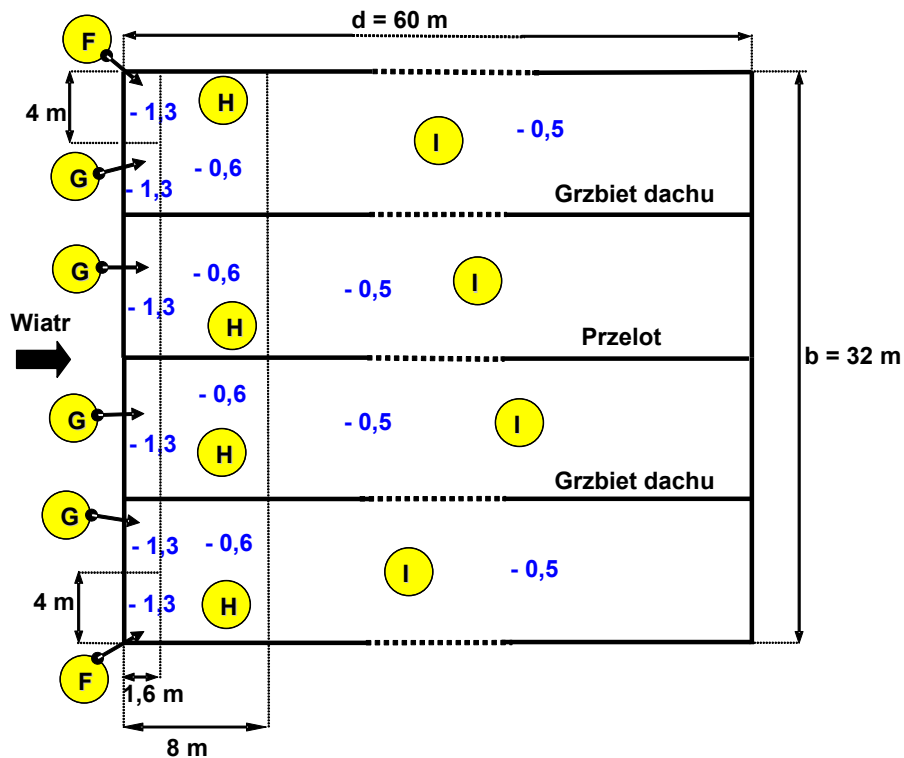
EN 1991-1-4  
7.2.2 (1)  
Rysunek 7.4

EN 1991-1-4  
§ 7.2.2(2)  
Tabela 7.1

Tytuł	ZAŁĄCZNIK B. Przykład praktyczny: Oddziaływanie wiatru na budynek jednokondygnacyjny	4 z 10
<p> <math>e = 16 \text{ m}</math> (<math>b</math> lub <math>2h</math>, zależnie od tego, która wartość jest mniejsza)  <math>e &lt; d</math>  <math>e/5 = 3,2 \text{ m}</math>  <math>4/5 e = 12,8 \text{ m}</math>  <math>d - e = 16 \text{ m}</math> </p> <p>Na rysunku B.3 zdefiniowano współczynniki ciśnienia zewnętrznego <math>c_{pe,10}</math> na ścianach pionowych dla stref A, B, C, D oraz E przy naporze wiatru na dłuższy bok.</p>	 <p><b>Rysunek B.3</b> Współczynniki <math>c_{pe,10}</math> dla stref A, B, C, D oraz E przy naporze wiatru na dłuższy bok</p> <p><b>3.1.2. Dachy</b></p> <p>1. Napór wiatru na ścianę szczytową</p> <p>Grzbiety dachu równoległe do kierunku wiatru: <math>\theta = 90^\circ</math></p> <p>Kąt nachylenia dachu: <math>\alpha = 14^\circ</math></p> <p><math>h = 8 \text{ m}</math></p> <p><math>b = 32</math> (wymiar poprzeczny do kierunku wiatru)</p> <p>Wysokość odniesienia: <math>z_e = h = 8 \text{ m}</math></p> <p><math>2h = 16 \text{ m}</math></p> <p><math>e = 16 \text{ m}</math> (<math>b</math> lub <math>2h</math>, zależnie od tego która wartość jest mniejsza)</p> <p><math>e/4 = 4 \text{ m}</math></p> <p><math>e/10 = 1,6 \text{ m}</math></p> <p><math>e/2 = 8 \text{ m}</math></p>	<p>EN 1991-1-4 § 7.2.2(1) Rysunek 7.5</p> <p>EN 1991-1-4 § 7.2.2(2) Tabela 7.1</p> <p>EN 1991-1-4 § 7.2.5(1) Rysunek 7.8</p> <p>EN 1991-1-4 § 7.2.7(3)</p> <p>EN 1991-1-4 § 7.2.5(1) Rysunek 7.8</p>

Na rysunku B.4 zdefiniowano współczynniki ciśnienia zewnętrzno  $c_{pe,10}$  na dachach dla stref F, G, H oraz I przy naporze wiatru na ścianę szczytową.

EN 1991-1-4  
§ 7.2.2(2)  
Tabela 7b



Rysunek B.4 Współczynniki  $c_{pe,10}$  dla stref F, G, H oraz I przy naporze wiatru na ścianę szczytową

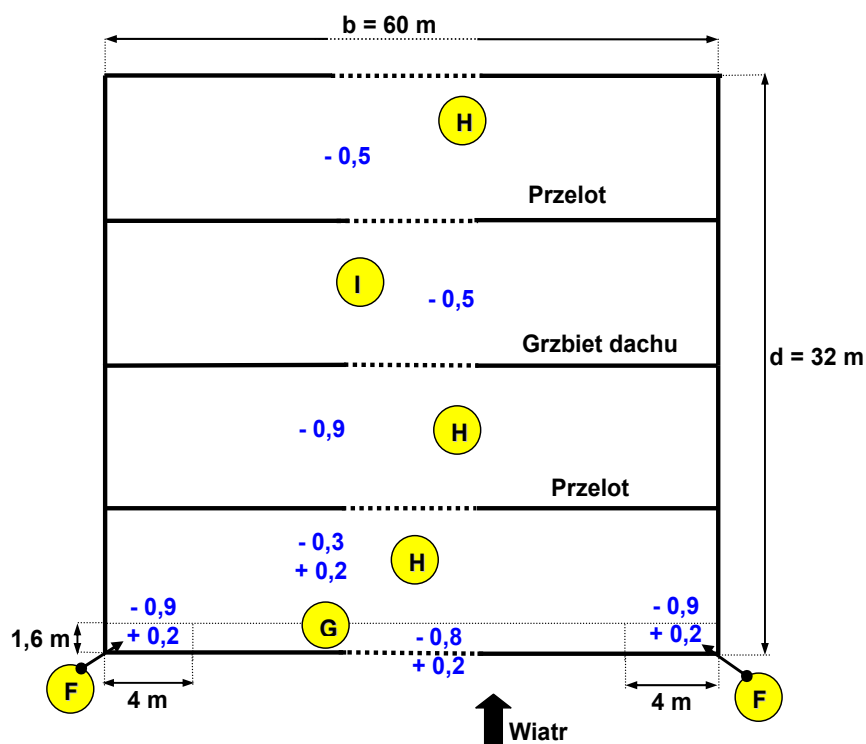
## 2. Napór wiatru na dłuższy bok

- i. Grzbiety dachów prostopadłe do kierunku wiatru:  $\theta = 0^\circ$
- ii. Kąt nachylenia dachu  $\alpha = 14^\circ$
- iii.  $h = 8 \text{ m}$
- iv.  $b = 60 \text{ m}$  (wymiar poprzeczny do kierunku wiatru)
- v.  $h < b$ , a więc wysokość odniesienia wynosi:  $z_e = h = 8 \text{ m}$
- vi.  $d = 32 \text{ m}$
- vii.  $2h = 16 \text{ m}$
- viii.  $e = 16 \text{ m}$  ( $b$  lub  $2h$ , zależnie od tego, która wartość jest mniejsza)
- ix.  $e/4 = 4 \text{ m}$
- x.  $e/10 = 1,6 \text{ m}$

EN 1991-1-4  
§ 7.2.5(1)  
Rysunek 7.8

EN 1991-1-4  
§ 7.2.5(1)  
Rysunek 7.8

Na rysunku B.5 zdefiniowano współczynniki ciśnienia zewnętrznego  $c_{pe,10}$  na dachach dla stref F, G, H, I oraz J przy naporze wiatru na dłuższy bok.



Rysunek B.5 Współczynniki  $c_{pe,10}$  dla stref F, G, H oraz I przy naporze wiatru na dłuższy bok

### 3.2. Współczynniki ciśnienia wewnętrznego $c_{pi}$

#### 3.2.1. Trwała lub przejściowa sytuacja obliczeniowa

Zakłada się, że podczas silnych wichur drzwi będą zamknięte:

$$c_{pi} = +0,2$$

oraz  $c_{pi} = -0,3$

z wysokością odniesienia dla ciśnienia wewnętrznego:  $z_i = z_e = h = 8 \text{ m}$

#### 3.2.2. Wyjątkowa sytuacja obliczeniowa

- Drzwi otwierają się na stronę nawietrzną (napór wiatru na ścianę szczytową): ta elewacja jest dominująca a powierzchnia otworów w elewacji dominującej = 3 × powierzchnia otworów w pozostałych elewacjach:

$$c_{pi} = 0,90 c_{pe}$$

$$c_{pi} = 0,90 \times (+0,7) = +0,63$$

- Drzwi otwierają się na stronę zawietrzną (napór wiatru na dłuższy bok): ta elewacja jest dominująca a powierzchnia otworów w elewacji dominującej = 3 × powierzchnia otworów w pozostałych elewacjach.

EN 1991-1-4  
§ 7.2.7(2)  
Rysunek 7.10c

EN 1991-1-4  
§ 7.2.9(6)

§ 7.2.9(7)

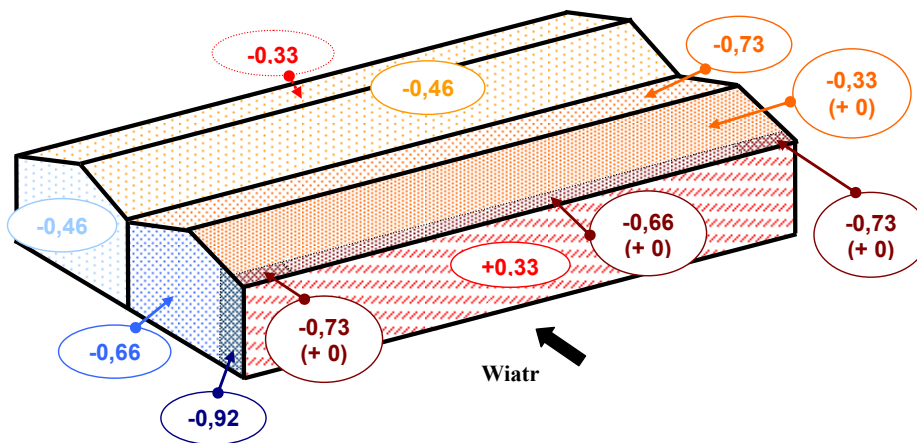
EN 1991-1-4  
§ 7.2.9(3)

§ 7.2.9(5)

Tytuł	ZAŁĄCZNIK B. Przykład praktyczny: Oddziaływanie wiatru na budynek jednokondygnacyjny	7 z 10
	<p>Najbardziej niekorzystny przypadek ma miejsce wtedy, gdy otwór znajduje się w strefie, w której wartość <math> c_{pe} </math> jest najwyższa (drzwi w całości znajdują się w strefie B).</p> $c_{pi} = 0,90 c_{pe}$ $c_{pi} = 0,90 \times -0,8 = -0,72$ <h2>4. Siły tarcia</h2> <h3>4.1. Napór wiatru na ścianę szczytową</h3> <p>Pole powierzchni zewnętrznych równoległych do kierunku wiatru jest obliczane następująco:</p> $60 \times 2 \times (6 + 8,25 \times 2) = 2700 \text{ m}^2$ <p>Pole powierzchni zewnętrznych prostopadłych do kierunku wiatru wynosi:</p> $2 \times 2 \times 16 \times (6 + 1) = 448 \text{ m}^2$ <p>Pole powierzchni zewnętrznych równoległych do kierunku wiatru jest większe niż <math>4 \times</math> pole powierzchni zewnętrznych prostopadłych do kierunku wiatru: należy uwzględnić siły tarcia:</p> $4 h = 32 \text{ m}$ $2 b = 64 \text{ m}$ $4 h < 2 b$ <p>Siły tarcia działają na powierzchni <math>A_{fr}</math>:</p> $A_{fr} = 2 \times (60 - 32) \times (6 + 8,25 \times 2) = 1260 \text{ m}^2$ <p>W przypadku powierzchni gładkiej (stal):</p> $c_{fr} = 0,01$ <p>a siła tarcia <math>F_{fr}</math> (działająca w kierunku wiatru) wynosi:</p> $F_{fr} = c_{fr} q_p(z_e) A_{fr} = (0,01 \times 66 \times 1260) 10^{-2} = 8,316 \text{ kN}$ $4 h < 2 b$ <p>Siły tarcia działają na powierzchni <math>A_{fr}</math>:</p> $A_{fr} = 2 \times (60 - 32) \times (6 + 8,25 \times 2) = 1260 \text{ m}^2$ <p>W przypadku powierzchni gładkiej (stal):</p> $c_{fr} = 0,01$ <p>a siła tarcia <math>F_{fr}</math> (działająca w kierunku wiatru) wynosi:</p> $F_{fr} = c_{fr} q_p(z_e) A_{fr} = (0,01 \times 66 \times 1260) 10^{-2} = 8,316 \text{ kN}$	<p>EN 1991-1-4 § 7.2.9(6)</p> <p>EN 1991-1-4 § 5.3(4)</p> <p>EN 1991-1-4 § 7.5(3)</p> <p>EN 1991-1-4 § 5.5(3)</p> <p>EN 1991-1-4 § 7.5(3)</p> <p>EN 1991-1-4 § 5.5(3)</p>

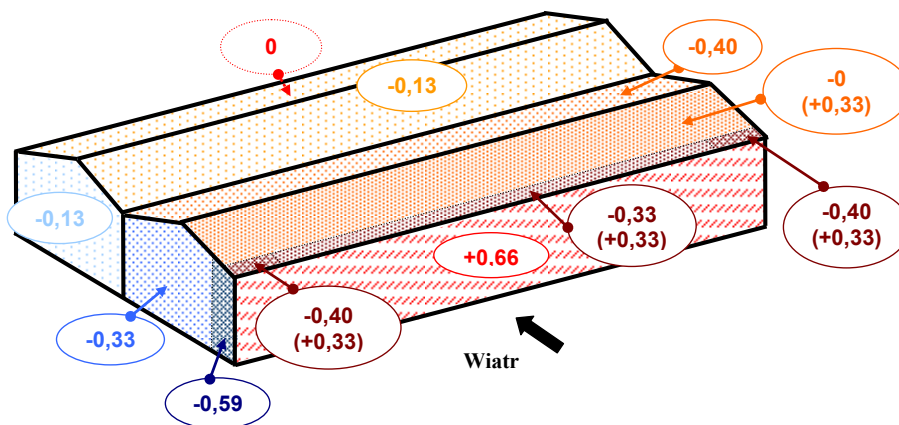






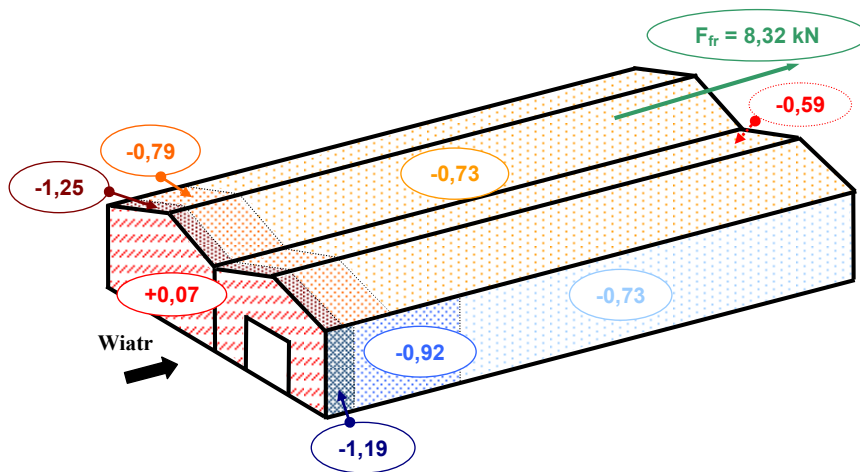
Rysunek B.8 Napór wiatru na dłuższy bok przy współczynniku  $c_{pi} = +0,2$

Należy wykorzystać równocześnie wartości w nawiasach.

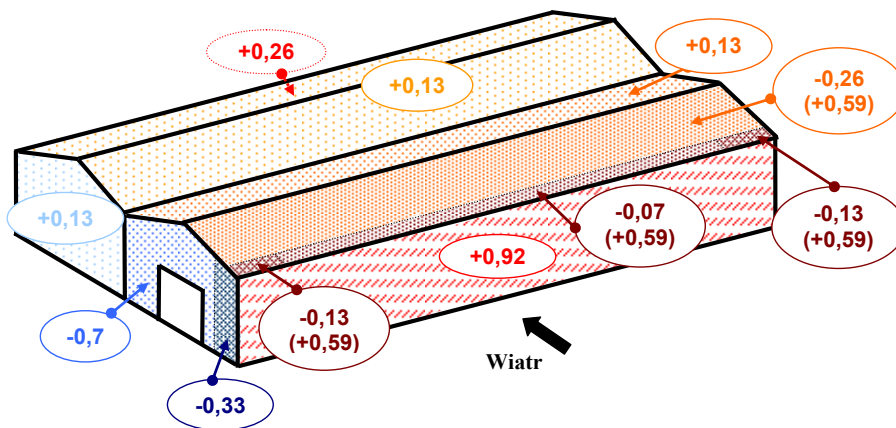


Rysunek B.9 Napór wiatru na dłuższy bok przy współczynniku  $c_{pi} = -0,3$

Należy wykorzystać równocześnie wartości w nawiasach.



Rysunek B.10 Wyjątkowa sytuacja obliczeniowa: drzwi otwierane na stronę nawietrzną (napór wiatru na ścianę szczytową) przy współczynniku  $c_{pi} = +0,6$



Rysunek B.11 Wyjątkowa sytuacja obliczeniowa: drzwi otwierane na stronę zawietrzną (napór wiatru na dłuższy bok) przy współczynniku  $c_{pi} = -0,7$

Należy wykorzystać równocześnie wartości w nawiasach