

**WYKŁAD 4**

**AERODYNAMIKA  
STRUKTUR URBANISTYCZNYCH**

**PN-EN 1991-1-4 EUROKOD 1**

# PN-EN 1991-1-4 EUROKOD 1

## PODSTAWA PRAWNA

Norma Europejska PN-EN 1991-1-4 została przyjęta przez CEN 4 czerwca 2004

The European Committee for Standardization (CEN) <https://www.cencenelec.eu/>

**Członkami CEN** są krajowe jednostki normalizacyjne następujących państw:

Austrii, Belgii, Cypru, Danii, Estonii, Finlandii, Francji, Grecji, Hiszpanii, Holandii, Irlandii, Islandii, Luksemburga, Litwy, Łotwy, Malty, Niemiec, Norwegii, Polski, Portugalii, Republiki Czeskiej, Słowacji, Słowenii, Szwajcarii, Szwecji, Włoch, Węgier i Zjednoczonego Królestwa.

# OBCIĄŻENIA WIATREM WG PN-EN 1991-1-4

Obciążenie wiatrem, jest jedną z istotnych wielkości uwzględnianych w analizie konstrukcji. Mimo możliwości stosowania wielu uproszczeń często stwarza wiele problemów przy projektowaniu, ponieważ zależy od wielu czynników:

- strefy klimatycznej;
- podstawowej bazowej prędkości wiatru;
- wysokości budynku i jego kształtu (im bardziej skomplikowany, tym trudniej określić dokładne obciążenie wiatrem);
- usytuowania budynku na danym terenie (ekspozycja);
- porywistości wiatru;
- dynamicznego charakteru pracy konstrukcji;
- rodzaju ścian.

## **W 2008 R. ZOSTAŁA ZATWIERDZONA I OPUBLIKOWANA PN-EN 1991-1-4:2008 *ODDZIAŁYWANIA NA KONSTRUKCJĘ - ODDZIAŁYWANIE WIATRU***

Przedstawia ona analityczne podejście do problemu wiatru, które wynika z wieloletnich badań i pomiarów meteorologicznych. **Załącznik krajowy** do normy zmienia dotychczasowe wartości charakterystyczne i **współczynniki ekspozycji**. Stosowanie tej normy, jak podaje rozporządzenie Ministra Infrastruktury *w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, jest dozwolone tylko wówczas, gdy Eurokody stanowią pełen zestaw norm umożliwiających zaprojektowanie konstrukcji.

Z tego też powodu, do normy polskiej PN-B-02011:1977 (również wymienionej w przytoczonym rozporządzeniu) **dodano w 2009 r. poprawkę**, która zmieniła dotychczasowe wartości charakterystyczne oraz współczynniki ekspozycji na wartości z załącznika krajowego w normie PN-EN 1991-1-4:2008.

# NAJWAŻNIEJSZE RÓŻNICE POMIĘDZY NORMĄ PN-B-02011:1977 I NORMĄ PN-EN 1991-1-4:2008

1. Zwiększenie charakterystycznych wartości podstawowych, bazowych prędkości i ciśnienia prędkości wiatru, np. w przypadku I strefy z 0,25 kPa wg PN-B-02011:1997 na 0,30 kPa wg PN-EN-1991-1-4:2008.
2. Zastosowanie wartości chwilowej (szczytowej) ciśnienia prędkości wiatru  $q_p$  zamiast średniej 10-minutowej  $p_k$ .
3. Wprowadzenie współczynnika konstrukcyjnego  $c_{scd}$  oraz zastąpienie nim współczynnika dynamicznego działania porywów wiatru  $\beta$ .
4. Zwiększenie współczynnika bezpieczeństwa z 1,3 wg PN-B na 1,5 wg PN-EN.

Pozostałe zmiany, które wprowadza norma, to m.in.:

- więcej kategorii terenu (5 zamiast 3 podstawowych),
- inna metoda obliczania współczynnika ekspozycji,
- przesunięcie granicy pomiędzy I i II strefą itp.

# NAJWAŻNIEJSZE RÓŻNICE POMIĘDZY NORMĄ PN-B-02011:1977 I NORMĄ PN-EN 1991-1-4:2008

W celu oszacowania poziomu zwiększenia obciążeń obliczanego wg PN-B i PN-EN (bez uwzględnienia poprawki z 2009 r.) założymy następujące parametry: strefa I, teren A, wysokość 10 m.

$$\frac{PN-EN}{PN-B} = \frac{0,3kPa}{0,25kPa} \cdot \frac{1,5}{1,3} = 1,38$$

Na podstawie tej zależności uzyskuje się zwiększenie wartości obciążenia wiatrem o 38%.

# ALGORYTM WYZNACZANIA OBCIĄŻEŃ OD WIATRU

Przystępując do obliczania obciążenia wiatrem należy zwrócić uwagę na fakt, iż w normie europejskiej rozdzielono obciążenia działające na **przegrody budynków** oraz na **konstrukcję traktowaną jako całość**.

Dodatkowo rozróżnia się obciążenie powierzchni zewnętrznych, wewnętrznych oraz obciążenie wypadkową siłą skupioną wg wzorów:

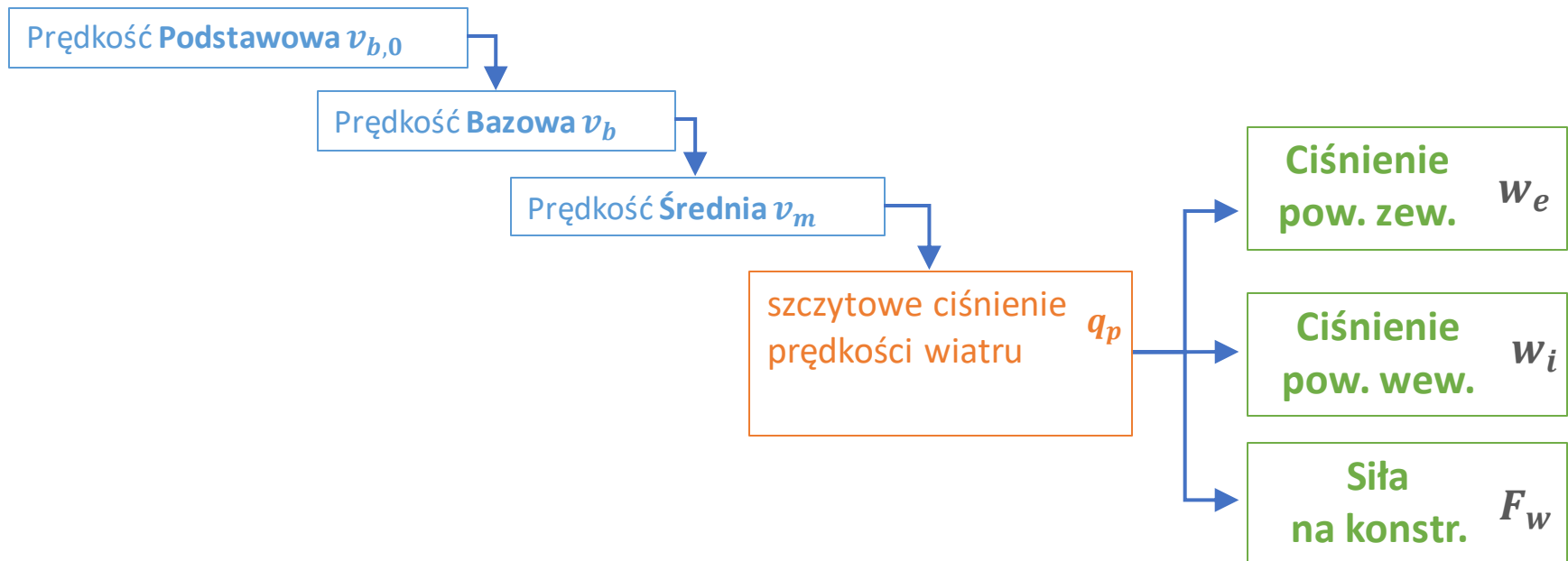
- **Ciśnienie wiatru działające na powierzchni zewnętrzne konstrukcji.**
- **Ciśnienie wiatru działające na powierzchni wewnętrzne konstrukcji.**
- **Siła wywierana przez wiatr na konstrukcję.**

# OBCIĄŻENIA WIATREM WG PN-EN 1991-1-4





# OBCIĄŻENIA WIATREM WG PN-EN 1991-1-4



# STREFY DZIAŁANIA WIATRU

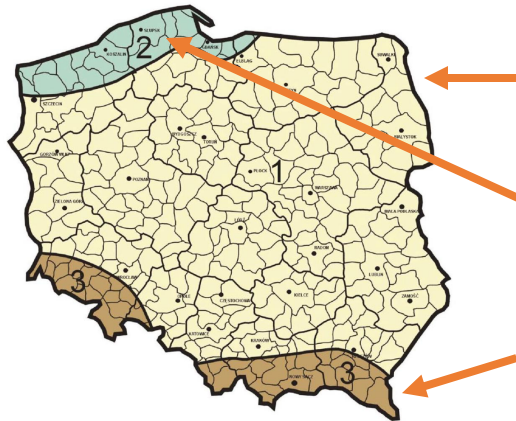
W załączniku krajowym do normy można znaleźć:

- wartość podstawowej bazowej prędkości wiatru oraz ciśnienia prędkości wiatru (tabela 1),
- podział Polski na strefy działania wiatru (rysunek 1),
- współczynniki ekspozycji i chropowatości zależne od kategorii terenu (tabela 2).



Rysunek nr 1

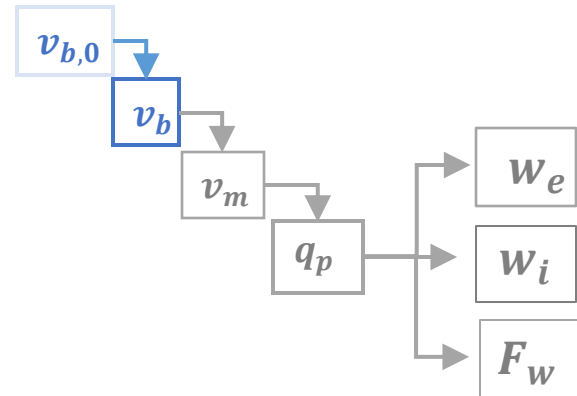
# PRĘDKOŚĆ PODSTAWOWA $v_{b,0}$



Str efa	$V_{b,0}$ (m/s)	$V_{b,0}$ (m/s)	$q_{b,0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_{b,0}$ (kN/m <sup>2</sup> )
	$A \leq 300 \text{ m}$	$A > 300 \text{ m}$	$A \leq 300 \text{ m}$	$A > 300 \text{ m}$
1	22	$22 \cdot [1 + 0,0006 \cdot (A - 300)]$	0,30	$0,30 \cdot [1 + 0,0006 \cdot (A - 300)]^2$
2	26	26	0,42	0,42
3	22	$22 \cdot [1 + 0,0006 \cdot (A - 300)]$	0,30	$0,30 \cdot [1 + 0,0006 \cdot (A - 300)]^2 \cdot \left[ \frac{20000 - A}{20000 + A} \right]$

Tabela nr 1

# PRĘDKOŚĆ BAZOWA WIATRU

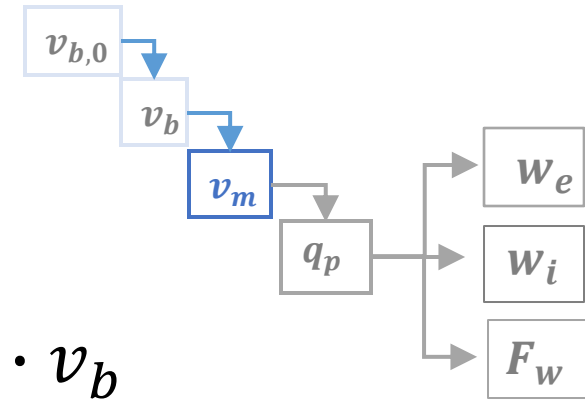


$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

gdzie:

- $c_{dir}$  – współczynnik kierunkowy uwzględniający kierunek wiatru;
- $c_{season}$  – współczynnik sezonowy; stosuje się go do obliczeń konstrukcji tymczasowych lub znajdujących się w stadium budowy, o ile w obliczeniach można uwzględnić porę roku. Zaleca się stosowanie współczynnika równego 1,0;
- $v_{b,0}$  – podstawowa bazowa prędkość wiatru.

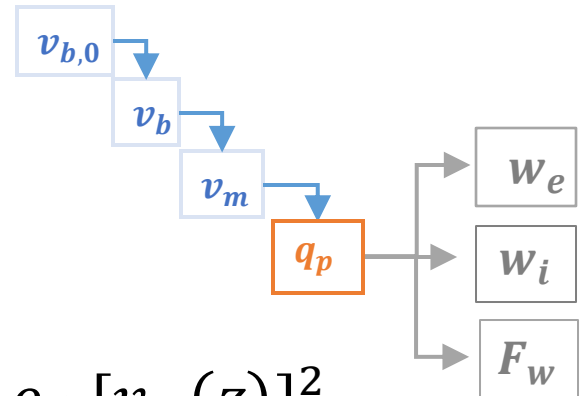
# ŚREDNIA PRĘDKOŚĆ WIATRU



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

- gdzie:
- $c_r(z)$  – współczynnik chropowatości terenu;
- $c_o(z)$  – współczynnik orografii (rzeźby terenu);
- $v_b$  – **prędkość bazowa wiatru**

# SZCZYTOWEGO CIŚNIENIA PRĘDKOŚCI WIATRU

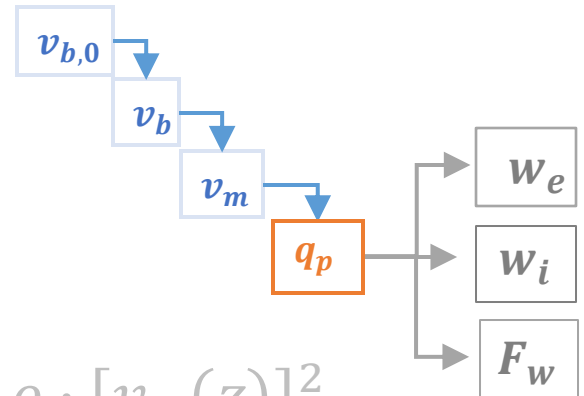


$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \rho \cdot [v_m(z)]^2$$

gdzie:

- $I_v(z)$  – intensywność turbulencji;
- $\rho$  – gęstość powietrza;
- $v_m(z)$  – **średnia prędkość wiatru**

# SZCZYTOWEGO CIŚNIENIA PRĘDKOŚCI WIATRU

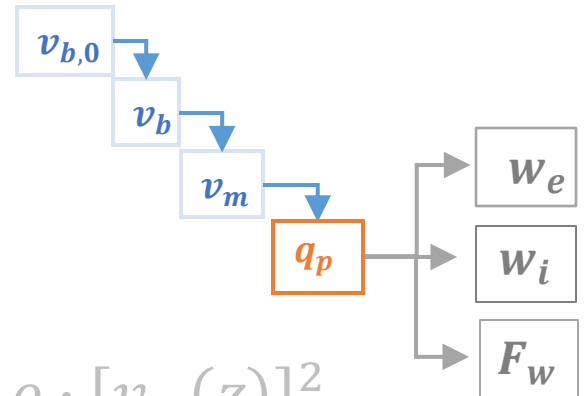


$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \rho \cdot [v_m(z)]^2$$
$$= c_e(z) \cdot q_b$$

gdzie:

- $I_v(z)$  – intensywność turbulencji;
- $\rho$  – gęstość powietrza;
- $v_m(z)$  – średnia prędkość wiatru
- $c_e(z)$  – **współczynnik ekspozycji**;
- $q_b$  – *wartość bazowa ciśnienia prędkości wiatru*;

# SZCZYTOWEGO CIŚNIENIA PRĘDKOŚCI WIATRU



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

gdzie:

- $I_v(z)$  – intensywność turbulencji;
- $\rho$  – gęstość powietrza;
- $v_m(z)$  – średnia prędkość wiatru
- $c_e(z)$  – **współczynnik ekspozycji**;
- $q_b$  – *wartość bazowa* ciśnienia prędkości wiatru;

Te wartości ( $I_v(z)$  oraz  $c_e(z)$ ) możemy odczytać z wykresów lub tabel (wartości lub w postaci formuły)



# TURBULENCJA WIATRU

Intensywność turbulencji  $I_v(z)$  na wysokości  $z$  jest zdefiniowana jako odchylenie standardowe składowych fluktuacyjnych prędkości wiatru podzielone przez średnią prędkość wiatru.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad \text{dla} \quad z_{min} \leq z \leq z_{min}$$

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

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_I$$

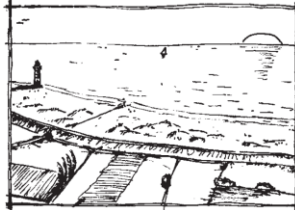
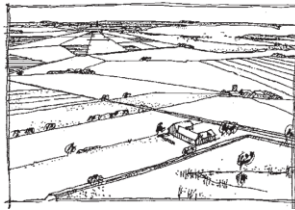
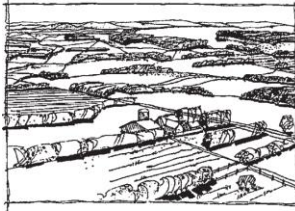

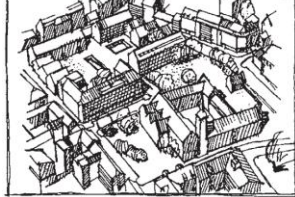
$k_I$  – współczynnik turbulencji. Wartość  $k_I$  może być podana w Załączniku krajowym. Zaleca się wartość  $k_I = 1,0$ .

$c_0$  – współczynnik rzeźby terenu, opisany w 4.3.3;

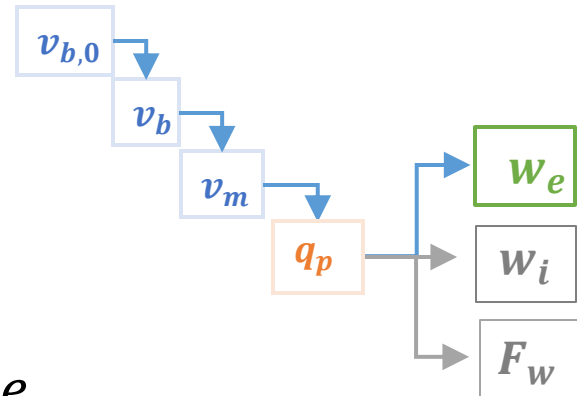
$z_0$  – wymiar chropowatości, podany w Tabelicy 4.1.

# KATEGORIA TERENU

Tabela nr 2

Kategoria terenu		$c_r(z)$	$c_e(z)$	$z_{min}$ m	$z_0$ m	$z_{max}$ m	
0	Obszary morskie i przybrzeżne wystawione na otwarte morze.	$1,3 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,11}$	$3,0 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,17}$	1	0,003	200	
I	Jeziora lub tereny płaskie, poziome, o nieznacznej roślinności i bez przeszkód terenowych.	$1,2 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,13}$	$2,8 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,19}$	1	0,01	200	
II	Tereny o niskiej roślinności, takiej jak trawa, i o pojedynczych przeszkodach (drzewa, budynki) oddalonych od siebie na odległość równą co najmniej ich 20 wysokościom.	$1,0 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,17}$	$2,3 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24}$	2	0,05	300	
III	Tereny regularnie pokryte roślinnością lub budynkami albo o pojedynczych przeszkodach, oddalonych od siebie najwyżej na odległość równą ich 20 wysokościom (takie jak wsie, tereny podmiejskie, stałe lasy).	$0,8 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,19}$	$1,9 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,26}$	5	0,3	400	
IV	Tereny, których przynajmniej 15% powierzchni jest pokryte budynkami o średniej wysokości przekraczającej 15 m.	$0,6 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24}$	$1,5 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,29}$	10	1,0	500	

# CIŚNIENIE WIATRU DZIAŁAJĄCE NA POWIERZCHNIĘ ZEWNĘTRZNE KONSTRUKCJI

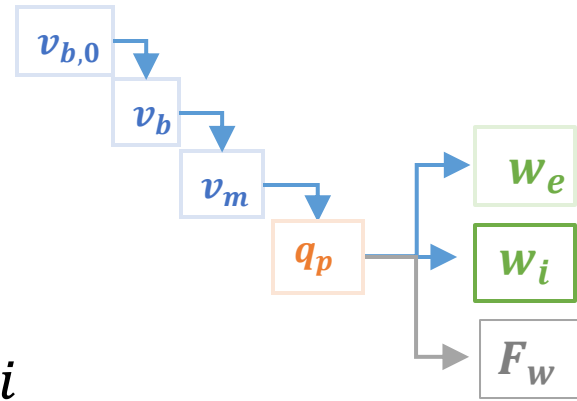


$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

gdzie:

- $q_p(z_e)$  – szczytowe ciśnienie prędkości wiatru do obliczenia ciśnienia zewnętrznego;
- $c_{pe}$  – współczynnik ciśnienia zewnętrznego;
- $z_e$  – wysokość odniesienia do obliczenia ciśnienia zewnętrznego;

# CIŚNIENIE WIATRU DZIAŁAJĄCE NA POWIERZCHNIE WEWNĘTRZNE KONSTRUKCJI

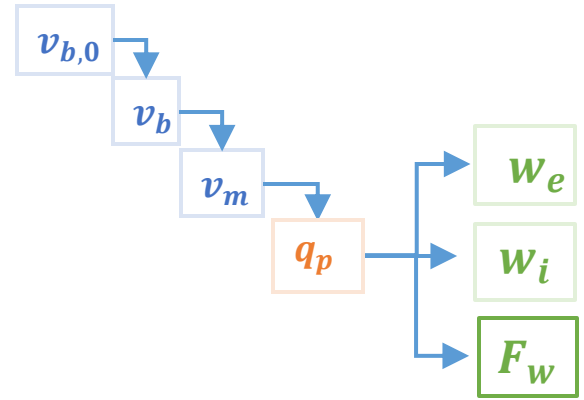


$$W_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

gdzie:

- $q_p(z_i)$  – szczytowe ciśnienie prędkości wiatru do obliczenia ciśnienia wewnętrznego;
- $c_{pi}$  – współczynnik ciśnienia wewnętrznego;
- $z_i$  – wysokość odniesienia do obliczenia ciśnienia wewnętrznego;

# SIŁA WYWIERANA PRZEZ WIATR NA KONSTRUKCJĘ



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

gdzie:

- $q_p(z_e)$  – szczytowe ciśnienie prędkości wiatru do obliczenia obciążenia skupionego;
- $c_s c_d$  – współczynnik konstrukcyjny;
- $c_s$  – współczynnik rozmiarów;
- $c_d$  – współczynnik dynamiczny;
- $c_f$  – współczynnik siły aerodynamicznej;
- $z_e$  – wysokość odniesienia do obliczenia obciążenia skupionego;
- $A_{ref}$  – powierzchnia odniesienia do obliczeń siły skupionej.

# WSPÓŁCZYNNIKI DLA BUDOWLI I ICH POWIERZCHNI

Norma europejska w sposób bardzo szczegółowy podaje wartości **współczynników ciśnienia na powierzchniach**, które można znaleźć w tabelach w zależności od elementu, jaki jest obliczany, np. dach dwuspadowy, ściana nawietrzna, ściana zawietrzna, dach czterospadowy itp.

Współczynnik  $c_{pe}$  może być stosowany w dwojaki sposób, w zależności od pola powierzchni elementu, do którego przykładane jest obciążenie. W związku z tym w tablicach odnoszących się do tego współczynnika podawane są wartości  $c_{pe,1}$  które uwzględniają elementy o powierzchni nieprzekraczającej  $1m^2$  oraz  $c_{pe,10}$ , odnoszące się do elementów o powierzchni większej bądź równej  $10m^2$ . Wartości pośrednie można interpolować lub przyjąć na podstawie rysunku 7.2. zamieszczonego w PN-E

Współczynnik konstrukcyjny  $c_s c_d$  może być przyjmowany na zasadach ogólnych  $c_s c_d = 1$  bądź wg. procedury szczegółowej zależnie od przypadku gdzie stosowanie jak i wzory są podane w normie.