

## 2.2.2 Obciążenie wiatrem

### Rozważono 4 modele obliczeniowe:

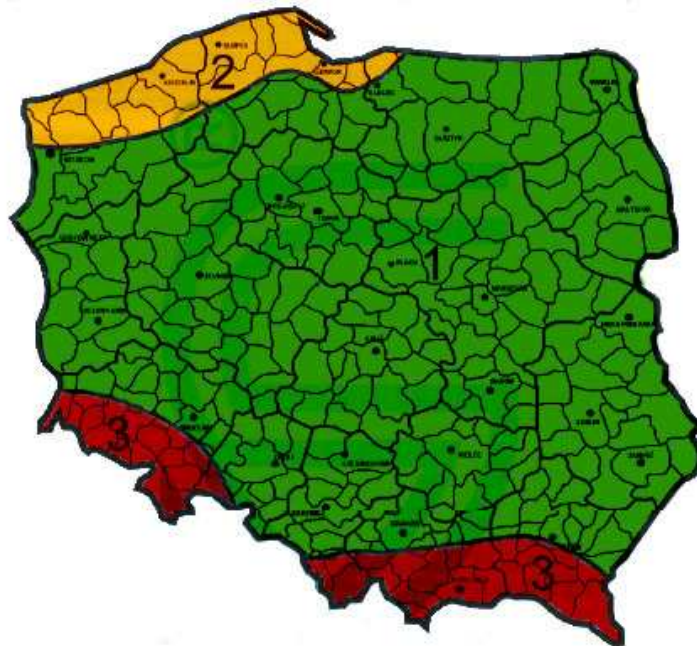
- 1) Model budynku zamkniętego z dachem łukowym
- 2) Model wiaty o dachu jednospadowym (15 stopni)  $\varphi$  przejściowe
- 3) Model wiaty o dachu jednospadowym (15 stopni)  $\varphi = 0$
- 4) Model wiaty o dachu jednospadowym (15 stopni)  $\varphi = 1$

### MODEL 1 - łukowy dach zamkniętego budynku

#### *Oddziaływania ogólne - oddziaływania wiatru*

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

#### *Strefy Obciążenia Wiatrem*



Rys. 1 - Podział Polski na strefy obciążenia wiatrem

Strefa położenia obiektu (według mapy)

**Strefa = 3**

Wysokość obiektu nad poziomem morza

**$a = 226.1m$**  nad poziomem morza

## ***Wpływ Terenu - Kategoria Terenu***

### **Kategoria terenu 0**

Morze, obszar brzegowy otwarty na morze

### **Kategoria terenu 1**

Jeziora albo obszary z pomijalnie niewielką roślinnością i bez przeszkód

### **Kategoria terenu 2**

Obszary z niską roślinnością, taką jak trawa, oraz pojedynczymi przeszkodami (drzewa, budynki) oddalonymi od siebie na odległość nie mniejszą niż 20 ich wysokości

### **Kategoria terenu 3**

Obszary regularnie pokryte roślinnością albo budynkami lub z pojedynczymi przeszkodami oddalonymi od siebie na odległość nie większą niż 20 ich wysokości (jak wsie, tereny podmiejskie, stałe lasy)

### **Kategoria terenu 4**

Obszary, na których przynajmniej 15% powierzchni pokrywają budynki o średniej wysokości przekraczającej 15m

Kategoria terenu (Według rysunków powyżej)

$$kat_{ter} = 3$$

## **I. Podstawowa prędkość wiatru**

$$\nu_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot \nu_{b.0} = 22 \frac{m}{s}$$

gdzie:

- $\nu_b$  - bazowa prędkość wiatru
- $c_{dir}$  - współczynnik kierunkowy
- $c_{season}$  - współczynnik pory roku
- $\nu_{b.0}$  - wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru

**I.I. Wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru**  $v_{b.0} = 22 \frac{m}{s}$

$$v_{b.0} = \begin{cases} 22 & \text{if } a \leq 300m \wedge \text{Strefa} = 1 \\ 22 \left[ 1 + 0.0006 \left( \frac{a}{m} - 300 \right) \right] & \text{if } a \geq 300m \wedge \text{Strefa} = 1 \\ 26 & \text{if } a \leq 300m \wedge \text{Strefa} = 2 \\ 26 & \text{if } a \geq 300m \wedge \text{Strefa} = 2 \\ 22 & \text{if } a \leq 300m \wedge \text{Strefa} = 3 \\ 22 \left[ 1 + 0.0006 \left( \frac{a}{m} - 300 \right) \right] & \text{if } a \geq 300m \wedge \text{Strefa} = 3 \end{cases} \cdot \frac{m}{s}$$

**I.II. Współczynnik pory roku**

$c_{season} = 1$  - Wartość zalecana (1) inna wartość według załącznika krajowego

**I.III. Współczynnik kierunkowy**

$c_{dir} = 1$  - Wartość zalecana (1) inna wartość według załącznika krajowego

**II. Bazowe ciśnienie prędkości wiatru -  $q_h$**

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot v_b^2 = 302.5 Pa$$

gdzie:

$$\rho_{air} = 1.25 \frac{kg}{m^3} \quad \text{- gęstość powietrza}$$

$$q_{b.zk} = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot \begin{cases} 0.30 & \text{if } a \leq 300m \wedge \text{Strefa} = 1 \\ 0.30 \left[ 1 + 0.0006 \left( \frac{a}{m} - 300 \right) \right]^2 & \text{if } a \geq 300m \wedge \text{Strefa} \\ 0.42 & \text{if } a \leq 300m \wedge \text{Strefa} = 2 \\ 0.42 & \text{if } a \geq 300m \wedge \text{Strefa} = 2 \\ 0.30 & \text{if } a \leq 300m \wedge \text{Strefa} = 3 \\ 0.30 \left[ 1 + 0.0006 \left( \frac{a}{m} - 300 \right) \right] \cdot \left( \frac{2000 - \frac{a}{m}}{2000 + \frac{a}{m}} \right) & \text{if } a \geq 300m \wedge \text{Strefa} = 3 \end{cases}$$

$$q_{b.zk} = 300 Pa$$

### III. Szczytowe ciśnienie prędkości wiatru

#### III.I. Średnia prędkość wiatru

$$\nu_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot \nu_b$$

gdzie:

$c_r(z)$  - współczynnik chropowatości terenu

$c_o(z)$  - współczynnik rzeźby terenu (orografii)

##### III.I.I. Współczynnik chropowatości terenu

$$c_r(z) = \begin{cases} 1.27 \cdot \left(\frac{z}{10m}\right)^{0.11} & \text{if } kat_{ter} = 0 \\ 1.18 \cdot \left(\frac{z}{10m}\right)^{0.13} & \text{if } kat_{ter} = 1 \\ 1.00 \cdot \left(\frac{z}{10m}\right)^{0.17} & \text{if } kat_{ter} = 2 \\ 0.81 \cdot \left(\frac{z}{10m}\right)^{0.19} & \text{if } kat_{ter} = 3 \\ 0.62 \cdot \left(\frac{z}{10m}\right)^{0.24} & \text{if } kat_{ter} = 4 \end{cases}$$

##### III.I.II. Współczynnik rzeźby terenu

$$c_o(z) = 1 \quad - \text{Wartość (1)}$$

lub

dla terenów nie płaskich szczegóły w A.3 (1991-1-4)

#### III.II. Turbulencje wiatru

$$I_\nu(z) = \begin{cases} \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} & \text{if } z \geq z_{min} \wedge z \leq z_{max} \\ \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right)} & \text{if } z < z_{min} \end{cases}$$

## Szczytowe ciśnienie prędkości wiatru

$k_I = 1$  - wsółczynnik turbulencji

$z_0$  - Wysokość chropowatości

$$z_0 = \begin{cases} 0.003 & \text{if } kat_{ter} = 0 \\ 0.01 & \text{if } kat_{ter} = 1 \\ 0.05 & \text{if } kat_{ter} = 2 \\ 0.3 & \text{if } kat_{ter} = 3 \\ 1.0 & \text{if } kat_{ter} = 4 \end{cases} \cdot m$$

$$z_0 = 0.3 m$$

$z_{min}$  - Wysokość minimalna

$$z_{min} = \begin{cases} 1 & \text{if } kat_{ter} = 0 \\ 1 & \text{if } kat_{ter} = 1 \\ 2 & \text{if } kat_{ter} = 2 \\ 5 & \text{if } kat_{ter} = 3 \\ 10 & \text{if } kat_{ter} = 4 \end{cases} \cdot m$$

$$z_{min} = 5 m$$

$z_{max}$  - Wysokość maksymalna

$$z_{max} = 200 m$$

#### IV. Współczynnik ekspozycji

$$c_e(z) = \begin{cases} 2.98 \cdot \left(\frac{z}{10m}\right)^{0.176} & \text{if } kat_{ter} = 0 \\ 2.78 \cdot \left(\frac{z}{10m}\right)^{0.205} & \text{if } kat_{ter} = 1 \\ 2.29 \cdot \left(\frac{z}{10m}\right)^{0.265} & \text{if } kat_{ter} = 2 \\ 1.89 \cdot \left(\frac{z}{10m}\right)^{0.26} & \text{if } kat_{ter} = 3 \\ 1.47 \cdot \left(\frac{z}{10m}\right)^{0.3} & \text{if } kat_{ter} = 4 \end{cases}$$

#### V. Wartość szczytowa ciśnienia prędkości

Wartość wyznaczona z zapisów ogólnych

$$q_p(z) = \left(1 + 7 \cdot I_\nu(z)\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot \nu_m(z)^2$$

Wartość wyznaczona z załącznika krajowego

$$q_{p.zal.kr.}(z) = c_e(z) \cdot q_{b.zk}$$

$$q_p(z) = 0.562 \cdot \frac{kN}{m^2} \quad \text{dla } z = 7.3 m$$

$$q_{p.zal.kr.}(z) = 0.522 \cdot \frac{kN}{m^2} \quad \text{dla } z = 7.3 m$$

#### VI. Wartość współczynnika konstrukcyjnego

$$c_s \cdot c_d = 1 \quad \text{należy obliczyć}$$

#### VI. Wartość współczynnika konstrukcyjnego

## VII. Geometria konstrukcji

$$\begin{aligned}l &= 800\text{cm} && \text{- długość konstrukcji} \\d &= 900\text{cm} && \text{- szerokość konstrukcji} \\h &= 630\text{cm} && \text{- wysokość konstrukcji w podporze} \\f &= 100\text{cm} && \text{- strzałka łuku dachu} \\h_p &= 0\text{cm} && \text{- wysokość attyki}\end{aligned}$$

$$z = h + f = 7.3\text{m} \quad \text{- wysokość odniesienia}$$

$$e = \min(d, 2 \cdot z) = 9\text{m}$$

Równanie paraboli

$$a_S = 1 \quad b_S = 1 \quad c_S = 1$$

Given

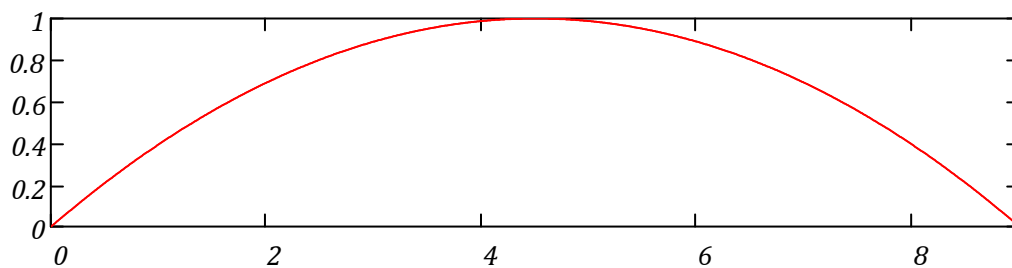
$$a_S \cdot 0^2 + b_S \cdot 0 + c_S = 0$$

$$a_S \cdot \left(\frac{d}{m}\right)^2 + b_S \cdot \frac{d}{m} + c_S = 0$$

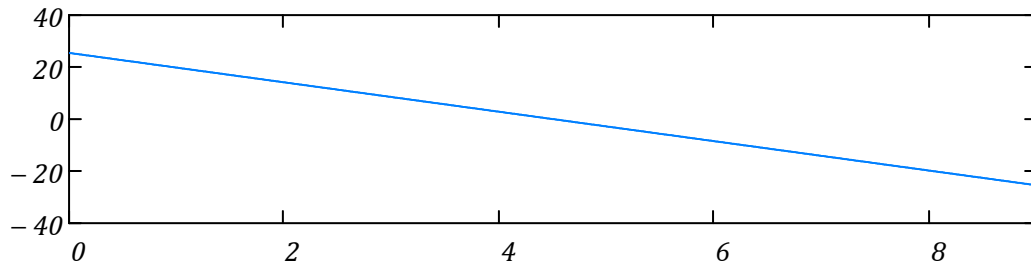
$$a_S \cdot \left(\frac{d}{2m}\right)^2 + b_S \cdot \frac{d}{2m} + c_S = \frac{f}{m}$$

$$\begin{pmatrix} a_S \\ b_S \\ c_S \end{pmatrix} = \text{Find}(a_S, b_S, c_S)$$

$$f_S(x) = \frac{a_S}{m} \cdot x^2 + b_S \cdot x + c_S \cdot m$$



$$f_{s.prim}(x) = b_s + \frac{2 \cdot a_s \cdot x}{m}$$



### VIII. Współczynnik ciśnienia zewnętrznego dachu

Równoległe do połaci

$$\frac{h}{d} = 0.7 \quad \frac{f}{d} = 0.111$$

Obliczenia pomocnicze do interpolacji dla wartości  $0 < h/d < 0.5$

$$c_{pe.10.A.0} = \text{linterp} \left[ \begin{pmatrix} 0 \\ 0.5 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 0.8 \end{pmatrix}, \frac{f}{d} \right] = 0.178$$

$$c_{pe.10.A.0.5} = \text{linterp} \left[ \begin{pmatrix} 0 \\ 0.1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -0.7 \\ -1.2 \end{pmatrix}, \frac{f}{d} \right] = -1.256$$

definicja na sztywno  $c_{pe.10.A.0.5} = -1.2$

Wartość współczynników ciśnienia zewnętrznego

$$c_{pe.10.A} = \text{linterp} \left[ \begin{pmatrix} 0 \\ 0.5 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} c_{pe.10.A.0} \\ c_{pe.10.A.0.5} \end{pmatrix}, \frac{h}{d} \right] = -1.751$$

$$c_{pe.10.B} = \text{linterp} \left[ \begin{pmatrix} 0 \\ 0.5 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -0.7 \\ -1.2 \end{pmatrix}, \frac{f}{d} \right] = -0.811$$

$$c_{pe.10.C} = \text{linterp} \left[ \begin{pmatrix} 0 \\ 0.1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -0.7 \\ -0.4 \end{pmatrix}, \frac{f}{d} \right] = -0.367$$



Prostopadle do połaci

$$\alpha_{max.F} = f_{s.prim}(0 \cdot m) = 25.465 \cdot deg$$

$$\alpha_{min.F} = f_{s.prim}\left(\frac{e}{4}\right) = 12.732 \cdot deg$$

$$c_{pe.F.ujem} = linterp\left[\left(\begin{matrix} 5deg \\ 15deg \end{matrix}\right), \left(\begin{matrix} -1.7 \\ -0.9 \end{matrix}\right), \alpha_{min.F}\right] = -1.081$$

$$c_{pe.F.dod} = linterp\left[\left(\begin{matrix} 5deg \\ 15deg \end{matrix}\right), \left(\begin{matrix} 0 \\ 0.2 \end{matrix}\right), \alpha_{max.F}\right] = 0.409$$

$$\alpha_{max.G} = f_{s.prim}\left(\frac{e}{4}\right) = 12.732 \cdot deg$$

$$\alpha_{min.G} = f_{s.prim}\left(\frac{d}{2}\right) = 0 \cdot deg$$

$$c_{pe.G.ujem} = -0.8 \quad \text{dla dachu płaskiego z attyką } h_p/h=0.269$$

$$c_{pe.G.dod} = linterp\left[\left(\begin{matrix} 5deg \\ 15deg \end{matrix}\right), \left(\begin{matrix} 0 \\ 0.2 \end{matrix}\right), \alpha_{max.G}\right] = 0.155$$

$$\alpha_{max.H} = f_{s.prim}(0 \cdot m) = 25.465 \cdot deg$$

$$\alpha_{min.H} = f_{s.prim}\left(\frac{d}{2}\right) = 0 \cdot deg$$

$$c_{pe.H.ujem} = -0.7$$

$$c_{pe.H.dod} = linterp\left[\left(\begin{matrix} 5deg \\ 15deg \end{matrix}\right), \left(\begin{matrix} 0 \\ 0.2 \end{matrix}\right), \alpha_{max.H}\right] = 0.409$$

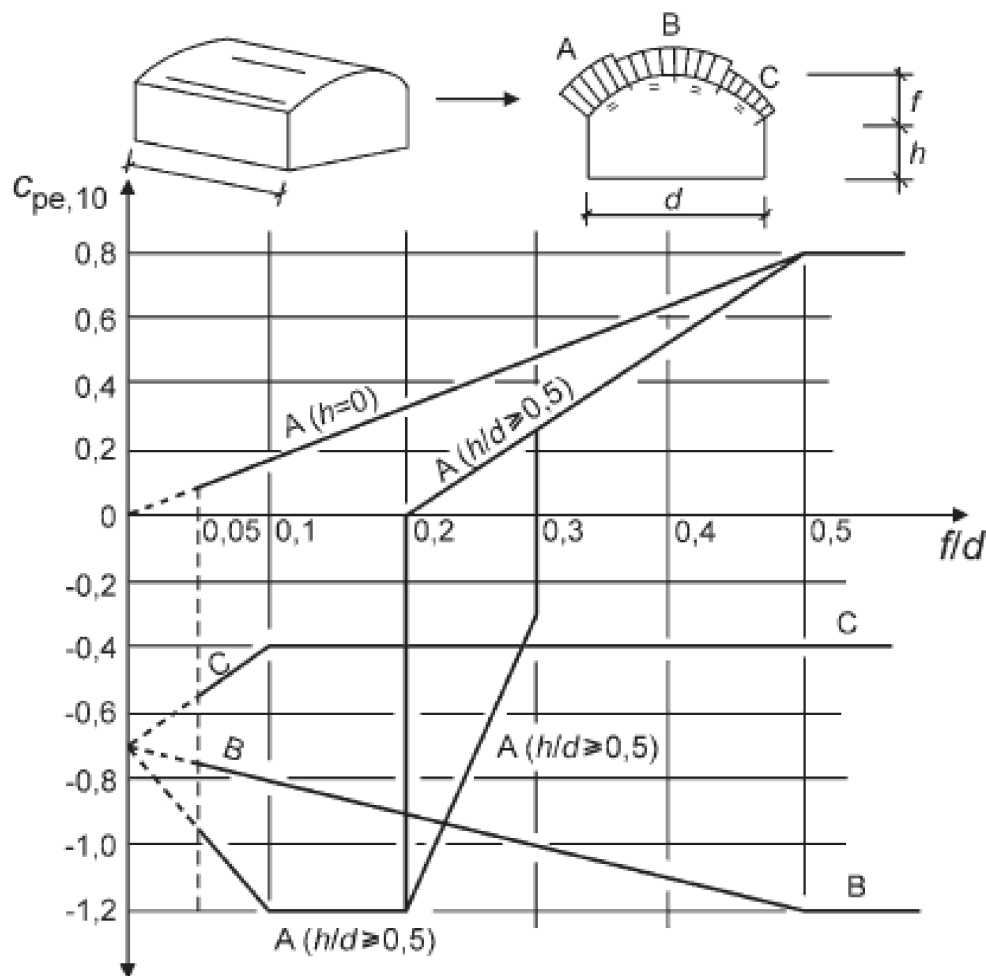
$$\alpha_{max.I} = f_{s.prim}(0 \cdot m) = 25.465 \cdot deg$$

$$\alpha_{min.I} = f_{s.prim}\left(\frac{d}{2}\right) = 0 \cdot deg$$

$$c_{pe.I.dod} = 0.2$$

$$c_{pe.I.ujem} = -0.2$$

$$c_{pe.I.ujem1} = \text{interp} \left[ \begin{pmatrix} 5deg \\ 15deg \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -0.6 \\ -0.4 \end{pmatrix}, \alpha_{max.I} \right] = -0.191$$



## IX. Ciśnienie wiatru działające na powierzchnie zewnętrzne dachu

Równoległe do połaci

$$w_{e.A} = c_{pe.10.A} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = -0.985 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.B} = c_{pe.10.B} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = -0.456 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.C} = c_{pe.10.C} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = -0.206 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

### Prostopadłe do połączi

$$w_{e.F.ssanie} = c_{pe.F.ujem} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = -0.608 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.G.ssanie} = c_{pe.G.ujem} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = -0.45 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.H.ssanie} = c_{pe.H.ujem} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = -0.394 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.I.ssanie} = c_{pe.I.ujem} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = -0.112 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.F.parcie} = c_{pe.F.dod} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = 0.23 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.G.parcie} = c_{pe.G.dod} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = 0.087 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.H.parcie} = c_{pe.H.dod} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = 0.23 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.I.parcie} = c_{pe.I.dod} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = 0.112 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

### **X. Współczynnik ciśnienia wewnętrznego**

$$c_{pi.1} = -0.3$$

$$c_{pi.2} = 0.2$$

### **XI. Ciśnienie wiatru działające na powierzchnię wewnętrzną**

$$w_{i.1} = c_{pi.1} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = -0.169 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{i.2} = c_{pi.2} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = 0.112 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

### **XII. Współczynnik tarcia**

$$c_{fr} = 0.02$$

### XIII. Siły tarcia

$$\min(2 \cdot d, 4 \cdot z) = 18 \text{ m}$$

$$A_{fr} = (l - \min(2 \cdot d, 4 \cdot z)) \cdot d = -90 \text{ m}^2$$

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) \cdot A_{fr} = -1.012 \cdot \text{kN}$$

$$q_{fr} = \frac{F_{fr}}{A_{fr}} = 0.011 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

### XIV. Sumaryczne (Maksymalne) ciśnienie wiatru działające na dach

Równoległe do połączi

$$w_{A.ssanie} = \begin{cases} w_{e.A} - w_{i.1} & \text{if } w_{e.A} > 0 \\ w_{e.A} - w_{i.2} & \text{otherwise} \end{cases} = -1.097 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_{B.ssanie} = \begin{cases} w_{e.B} - w_{i.1} & \text{if } w_{e.B} > 0 \\ w_{e.B} - w_{i.2} & \text{otherwise} \end{cases} = -0.569 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_{C.ssanie} = \begin{cases} w_{e.C} - w_{i.1} & \text{if } w_{e.C} > 0 \\ w_{e.C} - w_{i.2} & \text{otherwise} \end{cases} = -0.319 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Prostopadle do połączi

$$w_{F.ssanie} = \begin{cases} w_{e.F.ssanie} - w_{i.1} & \text{if } w_{e.F.ssanie} > 0 \\ w_{e.F.ssanie} - w_{i.2} & \text{otherwise} \end{cases} = -0.721 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{G.ssanie} = \begin{cases} w_{e.G.ssanie} - w_{i.1} & \text{if } w_{e.G.ssanie} > 0 \\ w_{e.G.ssanie} - w_{i.2} & \text{otherwise} \end{cases} = -0.562 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{H.ssanie} = \begin{cases} w_{e.H.ssanie} - w_{i.1} & \text{if } w_{e.H.ssanie} > 0 \\ w_{e.H.ssanie} - w_{i.2} & \text{otherwise} \end{cases} = -0.506 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{I.ssanie} = \begin{cases} w_{e.I.ssanie} - w_{i.1} & \text{if } w_{e.I.ssanie} > 0 \\ w_{e.I.ssanie} - w_{i.2} & \text{otherwise} \end{cases} = -0.225 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{F.parcie} = \begin{cases} w_{e.F.parcie} - w_{i.1} & \text{if } w_{e.F.parcie} > 0 \\ w_{e.F.parcie} - w_{i.2} & \text{otherwise} \end{cases} = 0.399 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{G.parcie} = \begin{cases} w_{e.G.parcie} - w_{i.1} & \text{if } w_{e.G.parcie} > 0 \\ w_{e.G.parcie} - w_{i.2} & \text{otherwise} \end{cases} = 0.256 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{H.parcie} = \begin{cases} w_{e.H.parcie} - w_{i.1} & \text{if } w_{e.H.parcie} > 0 \\ w_{e.H.parcie} - w_{i.2} & \text{otherwise} \end{cases} = 0.399 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{I.parcie} = \begin{cases} w_{e.I.parcie} - w_{i.1} & \text{if } w_{e.I.parcie} > 0 \\ w_{e.I.parcie} - w_{i.2} & \text{otherwise} \end{cases} = 0.281 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{parcie.zastepcze} = 0.33 \frac{kN}{m^2}$$

Tarcie

$$q_{fr} = 0.011 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

## MODEL 2 - wiata o dachu jednospadowym - kąt spadku 15 stopni

### I. Ciśnienie wiatru działające na powierzchnię dachu

Współczynniki ciśnienia netto $c_{p,net}$					
Plan					
	Pole A	Pole B	Pole C		
15°	Maksimum, wszystkie $\varphi$	+ 0,7	+ 1,4	+ 2,7	+ 1,8
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,1	- 1,8	- 2,4	- 2,5
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0

Współczynniki ciśnienia netto dla wiata dwuspadowej dla sytuacji pośredniej  $\varphi=0$  do  $\varphi=1$

$$c_{p.net.A} = 1.4$$

$$c_{p.net.B} = 2.7$$

$$c_{p.net.C} = 1.8$$

$$w_{e.A} = c_{p.net.A} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = 0.787 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.B} = c_{p.net.B} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = 1.518 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.C} = c_{p.net.C} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = 1.012 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

### Współczynniki ciśnienia netto dla wiaty dwuspadowej dla sytuacji $\varphi=0$

$$c_{p.net.A} = -1.8$$

$$c_{p.net.B} = -2.4$$

$$c_{p.net.C} = -2.5$$

Równoległe do połączi

$$w_{e.A} = c_{p.net.A} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = -1.012 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.B} = c_{p.net.B} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = -1.35 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.C} = c_{p.net.C} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = -1.406 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

### Współczynniki ciśnienia netto dla wiaty dwuspadowej dla sytuacji $\varphi=1$

$$c_{p.net.A} = -1.6$$

$$c_{p.net.B} = -2.9$$

$$c_{p.net.C} = -3$$

Równoległe do połączi

$$w_{e.A} = c_{p.net.A} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = -0.9 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.B} = c_{p.net.B} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = -1.631 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.C} = c_{p.net.C} \cdot \max(q_p(z), q_{p.zal.kr.}(z)) = -1.687 \cdot \frac{kN}{m^2}$$