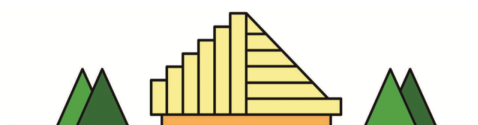




SZCZYRK



XXVI OGÓLNOPOLSKIE WARSZTATY
PRACY PROJEKTANTA KONSTRUKCJI
SZCZYRK, 9-12 marca 2011 roku



BIELSKO-BIAŁA



Jerzy Antoni ŻURAŃSKI*



Mariusz GACZEK**

OBCIĄŻENIA ŚRODOWISKOWE WEDŁUG EUROKODÓW

1. Wstęp

Z dniem 31 marca 2010 roku zostały oficjalnie wycofane dotychczasowe normy oddziaływań środowiskowych (przede wszystkim klimatycznych), zamiast nich mają być stosowane wcześniej opublikowane trzy Eurokody: obciążenie śniegiem [1], oddziaływania wiatru [2] i oddziaływania termiczne [3]. Informacje dotyczące współczynników częściowych (częściowych współczynników bezpieczeństwa) i kombinacji obciążeń są podane w Eurokodzie podstawowym [4]. Wszystkie Eurokody zostały przywołane w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury [5], są zatem uważane za obowiązujące. Jednakże zgodnie z postanowieniem tego Rozporządzenia Eurokody mogą być stosowane wówczas, gdy cały projekt jest według nich wykonany.

W marcu 2010 roku odbyło się spotkanie w Polskim Komitecie Normalizacyjnym na temat stosowania Eurokodów. W Notatce [6] z tego spotkania napisano, że mimo wycofania dotychczasowych Polskich Norm znajdują się one w Archiwum PKN do ewentualnego wykorzystania.

Dotychczas brak Eurokodu dotyczącego oblodzenia konstrukcji. Jest planowane przyjęcie normy ISO [7] jako Eurokodu, lecz nie jest jasne, kiedy to nastąpi i w jakiej formie, dosłownej czy w jakiś sposób zmienionej.

Celem referatu jest przedstawienie trzech wymienionych norm, w tym podanie przykładów ustalania obciążenia wiatrem budynków. Więcej informacji o charakterze historycznym i porównawczym podano wcześniej [8].

* dr hab. inż., Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa

** dr inż., Instytut Konstrukcji Budowlanych, Politechnika Poznańska

2. Obciążenie śniegiem

W październiku 2005 r. zostało opublikowane polskie wydanie normy europejskiej [1]. Składa się na nie Eurokod, przetłumaczony bez żadnych zmian, i załącznik krajowy [9]. Nowe wartości charakterystyczne, podane w załączniku krajowym, wzbudziły zastrzeżenia po katastrofie hali MTK w Chorzowie [10], lecz nie zostały zmienione [11, 12].

W Eurokodzie wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem dachu jest przedstawiona wzorem

- w trwałej i przejściowej sytuacji obliczeniowej

$$s = \mu_i C_e C_t s_k \quad (1)$$

- w wyjątkowej sytuacji obliczeniowej, w której obciążenie śniegiem jest traktowane jako oddziaływanie wyjątkowe

$$s = \mu_i C_e C_t s_{Ad} \quad (2)$$

- w wyjątkowej sytuacji obliczeniowej, w której wyjątkowe zasy śnieżne traktuje się jako oddziaływanie wyjątkowe i stosuje się załącznik B

$$s = \mu_i s_k \quad (3)$$

We wzorach tych:

μ_i – współczynnik kształtu dachu,

C_e – współczynnik ekspozycji,

C_t – współczynnik termiczny,

s_k – wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu,

s_{Ad} – wartość obliczeniowa wyjątkowego obciążenia śniegiem gruntu.

Wartość obliczeniową wyjątkowego obciążenia śniegiem gruntu uzyskuje się mnożąc wartość charakterystyczną przez współczynnik wyjątkowego obciążenia śniegiem. Podano zalecaną wartość tego współczynnika $C_{esl} = 2,0$.

Jeżeli przyjąć $C_e = 1,0$ oraz $C_t = 1,0$ to wzór (1) staje się tożsamy ze wzorem podanym w dotychczasowej normie polskiej [13], inne są tylko oznaczenia.

W porównaniu z poprzednią normą ISO, a więc i z normą polską [13], w normie europejskiej zmniejszono obciążenie jednej połaci dachu dwupołaciowego, przy nierównomiernym rozkładzie śniegu i nieco zmieniono rozkład śniegu na dachu walcowym. Wprowadzono dodatkowe układy obciążeń, które wzbogacają liczbę różnych przypadków obciążenia miejscowego (nawisy, zasy przy attykach i na przybudówce) jednak mają one przede wszystkim zastosowanie w wyjątkowych sytuacjach obliczeniowych. Sytuacje wyjątkowe, wprowadzone głównie na wniosek Francji, gdzie zdarzały się w przeszłości nadzwyczaj obfite, wyjątkowe opady śniegu, podzielono na trzy przypadki:

- 1) wyjątkowe opady, lecz brak wyjątkowych zamieci,
- 2) wyjątkowe zamiecie przy braku wyjątkowych opadów,
- 3) wyjątkowe zamiecie przy wyjątkowych opadach.

Metoda wyznaczania obciążenia śniegiem gruntu w zależności od wysokości nad poziomem morza jest dość złożona. Powoduje m.in. drobiazgowo zróżnicowanie wartości charakterystycznych w zakresie niewielkich wysokości, np. do 300 m npm.

Takiego zróżnicowania nie ma w polskim załączniku krajowym normy [1], w którym stałe wartości obciążenia śniegiem gruntu podano dla obszarów położonych na wysokości do 300 m npm.

W polskim załączniku krajowym do normy europejskiej podano nowe wartości charakterystyczne obciążenia śniegiem gruntu. Zostały one wyznaczone w wyniku analizy danych pomiarowych ciężaru pokrywy śnieżnej, wartości maksymalnych rocznych (zimowych) ze 115 stacji i posterunków meteorologicznych w Polsce z lat 1950/51 – 1999/2000 [14]. Do obliczania wartości charakterystycznych zastosowano rozkład prawdopodobieństwa wartości ekstremalnych Gumbela. Przyjęto następujące zasady postępowania [9]:

- Wartości charakterystyczne muszą mieć okres powrotu 50 lat, zgodnie z wymaganiami normy europejskiej.
- Jeżeli będzie to możliwe to przynajmniej na pewnych obszarach Polski należy pozostawić dotychczasowe wartości charakterystyczne obciążenia śniegiem gruntu.
- W strefach nizinnych przyjęto średnie wartości obciążenia śniegiem gruntu. Wartości z poszczególnych stacji nie powinny się różnić od wartości średniej więcej niż w granicach $\pm 15\%$ (w nielicznych przypadkach różnią się nieco więcej). W górach przyjęto równania regresji, liniowej w strefach 1 i 3, a wykładniczej w strefie 5.

Na terenach nizinnych, poniżej 300 m npm, przyjęto następujące wartości strefowe: 0,7; 0,9; 1,2 i 1,6 kN/m². Dwie pierwsze są takie jak w dotychczasowej normie. Zasięg terytorialny nowej strefy 1 (Dolny Śląsk, Ziemia Lubuska) obejmuje część dawnej strefy 1. Ta sama wartość charakterystyczna to skutek niedokładnej oceny obciążenia śniegiem dokonanej poprzednio z użyciem wysokości pokrywy śnieżnej, co wzbudziło wątpliwości [10]. Zasięg terytorialny obecnej strefy 2 jest inny niż dotychczasowej.

Strefy 1 i 3 obejmują zarówno tereny położone poniżej jak i powyżej 300 m nad poziomem morza. W strefie 1 powyżej 300 m npm leżą Sudety., w strefie 3 Karpaty (z wyjątkiem Tatr, które należą do strefy 5), a także Jura Krakowsko – Częstochowska i Góry Świętokrzyskie.

Nową mapę stref przedstawiono na rys. 1, a wartości charakterystyczne w tabl. 1. Z wyjątkiem strefy 1 i niewielkiego obszaru strefy 2 nowe wartości charakterystyczne są większe od poprzednich o ok. 30 do ok. 70 %. Mogą się jednak znaleźć niewielkie obszary, położone na Przedgórzu Sudeckim, w dotychczasowej strefie IV, na których nowe wartości obciążenia śniegiem gruntu są mniejsze niż dotychczasowe. Wynika to z różnicy między poprzednią a obecną metodą wyznaczania granic wartości obciążenia śniegiem na terenach górskich i podgórskich. Poprzednio podano granicę, wyznaczoną w sposób przybliżony linią łukową, na południe od której, niezależnie od wysokości nad poziomem morza, powinno być $Q_k \geq 0,9$ kN/m². Wewnątrz tej strefy znajdują się miejscowości położone na wysokości $A < 300$ m npm, a zatem w tych miejscowościach jest obecnie $s_k = 0,7$ kN/m² (tablica 1) albowiem wartości $s_k = 0,7$ kN/m² i $s_k > 0,7$ kN/m² oddziela obecnie nie granica stref I i IV lecz warstwica 300 m npm, która nie pokrywa się z tą dotychczasową granicą.

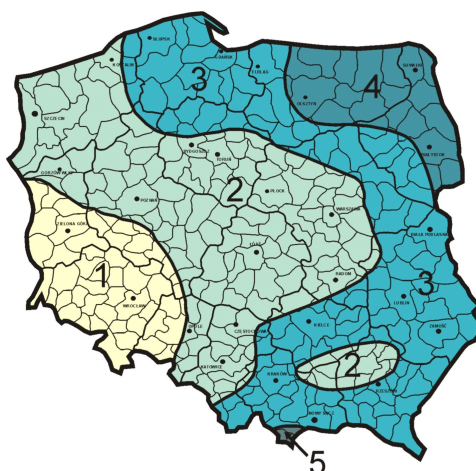
Wyznaczanie granic stref wiąże się bowiem niekiedy z koniecznością rozstrzygnięcia różnych problemów.

W przypadku obciążenia śniegiem ich przyczyną jest silne zróżnicowanie wartości obciążenia na niektórych, niewielkich obszarach. Niektóre stacje meteorologiczne zarejestrowały znacznie większe wartości obciążenia niż stacje sąsiednie, wartości prognozowane są więc też większe niż wartości przypisane strefie, w której dana stacja leży.

Są to przede wszystkim stacje peryferyjne, w pobliżu granic państwa, jak Dynów, Międzyzlesie, Suwałki, Tomaszów Lubelski i Zgorzelec, trudno więc dla nich wydzielać oddzielne strefy. Wartości charakterystyczne z tych stacji są podane w innych publikacjach [8, 9, 14].

Duże wartości charakterystyczne, przekraczające wartość strefową, oszacowano także na stacjach Gdańsk - Rębiechowo i w Słupsku, natomiast prawdopodobnie zbyt dużą wartość podano dla Powiśla, tam jednak brak stacji. Najbliższe znajdują się w Elblągu i w Prabutach.

W załączniku krajowym podano wzór na współczynnik zmienności wartości maksymalnych rocznych obciążenia śniegiem gruntu, pozwalający na przeliczenie, według normowego wzoru (D.1), wartości charakterystycznych z okresu powrotu 50 lat na inny (mimo zgłaszanych zastrzeżeń [10] wzór ten jest poprawny [11]), a także wzór na współczynnik termiczny C_t (według normy ISO [15]).



Rys. 1. Podział Polski na strefy obciążenia śniegiem gruntu wg [1]

Tablica 1. Wartości charakterystyczne obciążenia śniegiem gruntu w Polsce wg [1]

Strefa	$s_k, \text{kN/m}^2$
1	$0,007A - 1,4; \quad s_k \geq 0,70$
2	0,9
3	$0,006A - 0,6; \quad s_k \geq 1,2$
4	1,6
5	$0,93\exp(0,00134A); \quad s_k \geq 2,0$
UWAGA: A = Wysokość nad poziomem morza (m)	

W normie podano układy obciążenia i wartości współczynnika μ dla kilku podstawowych kształtów dachu. Są to dachy jedno i dwuspadowe, dachy wielospadowe (pilaste) i walcowe; podano układy obciążenia dla dachów przylegających do wyższych budynków, a także dla dachów z attykami i przeszkodami innymi niż atyki. Podano także

sposób obliczania obciążenia dachu od nawisów śnieżnych i obciążenia barierek przeciwsnieżnych (przeciw ześlizgowych).

Można wyróżnić dwa główne przypadki obciążenia: obciążenie równomiernie rozłożone, o stałej wartości współczynnika kształtu dachu i obciążenie nierównomiernie rozłożone, przede wszystkim pod wpływem wiatru. Do obliczeń dachu jednospadowego (jednopołaciowego) oraz dachów dwuspadowych o nachyleniu połaci do 15° przyjmuje się obciążenie równomiernie rozłożone, o jednej wartości współczynnika kształtu dachu $\mu = 0,8$. Pomiarzy wykonane po katastrofie hali MTK w Chorzowie wykazały, że w pewnych sytuacjach może być $\mu > 1,0$ [16]. Ponieważ w normie europejskiej nie przewidziano dotychczas takich wartości w Zmianie do polskiej normy [17] wprowadzono wartość $C_e = 1,2$ dla dachów osłoniętych od wiatru przez sąsiadujące z nimi wyższe budynki lub wysokie drzewa.

W większości przypadków podane układy obciążenia są takie same jak w dotychczasowej normie polskiej, ponieważ wykorzystano to samo źródło, normę ISO [15].

3. Oddziaływanie wiatru

Europejska norma oddziaływań wiatru, wraz z załącznikiem krajowym, została zatwierdzona we wrześniu 2008 roku [2]. Różni się ona znacznie od dotychczasowej normy polskiej.

Model obliczeniowy obciążenia wiatrem w normie europejskiej charakteryzuje się następującym ujęciem:

- Podstawową wartością prognozowaną, zależną od warunków klimatycznych, jest średnia 10 minutowa prędkość wiatru, nazywana wartością podstawową bazowej prędkości wiatru.
- Obciążenie wiatrem konstrukcji w miejscu jej lokalizacji wyznacza się przeliczając podstawową wartość bazową ciśnienia prędkości na wartość szczytową (chwilową) w funkcji wysokości nad poziomem gruntu. Dokonuje się tego uwzględniając intensywność turbulencji, zależną od rodzaju terenu i wysokości nad nim.
- Podano 5 kategorii terenu. Kategorie II, III i IV odpowiadają opisowo rodzajom terenu A, B i C w normie polskiej [2]. Kategoria 0 charakteryzuje otwarte morze, kategoria I zaś rozległy teren całkowicie otwarty.
- Zależność prędkości od wysokości nad terenem podano w postaci wzoru logarytmicznego.
- Obciążenie wiatrem oblicza się przyjmując wartość chwilową ciśnienia prędkości, zwaną wartością szczytową.
- Wartość szczytową ciśnienia prędkości stosuje się zarówno do obliczeń ciśnienia wywieranego na element ściany osłonowej jak i na całą konstrukcję nośną budowli. W tym drugim przypadku jednak, redukuje się wartość szczytową uwzględniając brak korelacji wartości chwilowych na obszarze całej budowli, za pomocą współczynnika rozmiarów c_s , a także zwiększa, uwzględniając właściwości dynamiczne budowli za pomocą współczynnika dynamicznego c_d . Iloczyn obydwu współczynników, $c_s c_d$, nazwany współczynnikiem konstrukcyjnym, zawiera się zwykle w dość wąskim zakresie od 0,85 do 1,10. W załączniku D do normy podano wykresy współczynnika $c_s c_d$ dla kilku typów budowli w zależności od ich rozwiązania konstrukcyjnego i głównych wymiarów. Obliczenia wykonano jednak

dla prędkości bazowej $v_b = 28$ m/s, która w naszych warunkach klimatycznych praktycznie nie występuje.

- Podano obszernie zestawienia współczynników ciśnienia zewnętrznego dla różnych budowli, wzięte z wielu norm, przede wszystkim z normy brytyjskiej i niemieckiej oraz z normy Europejskiej Konwencji Konstrukcji Metalowych, a także z wielu publikacji. Były one uzyskane z badań, w których w różny sposób odwzorowano strukturę wiatru.
- Podano 5 załączników dotyczących:
 - Załącznik A: wpływ terenu – ilustracje kategorii terenu, zasady kwalifikacji terenu wokół rozpatrywanej budowli (rozbieg), wpływ rzeźby terenu (pojedynczych wzgórz i skarp).
 - Załączniki B i C: dwie procedury obliczania współczynnika konstrukcyjnego.
 - Załącznik D: wykresy współczynnika konstrukcyjnego dla kilku rodzajów konstrukcji.
 - Załącznik E: formy niestateczności aeroelastycznej, w tym drgania wywołane wzbudzeniem wirowym.
 - Załącznik F: uproszczone metody wyznaczania charakterystyk dynamicznych konstrukcji.

Ciśnienie wiatru działające na powierzchnie zewnętrzne przedstawia wzór

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (4)$$

a na powierzchni wewnętrzne wzór

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (5)$$

Obciążenie siłą skupioną jest przedstawione za pomocą wzoru

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (6)$$

We wzorach tych:

- $q_p(z_e)$ – wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru do obliczeń ciśnienia zewnętrznego,
- $q_p(z_i)$ – wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru do obliczeń ciśnienia wewnętrznego,
- c_{pe} – współczynnik ciśnienia zewnętrznego,
- c_{pi} – współczynnik ciśnienia wewnętrznego,
- c_f – współczynnik siły aerodynamicznej, np. oporu aerodynamicznego,
- $c_s c_d$ – współczynnik konstrukcyjny,
- c_d – współczynnik dynamiczny,
- c_s – współczynnik rozmiarów,
- z_e – wysokość odniesienia do obliczeń ciśnienia zewnętrznego,
- z_i – wysokość odniesienia do obliczeń ciśnienia wewnętrznego,
- A_{ref} – powierzchnia odniesienia.

Wartość szczytowa ciśnienia prędkości jest wyrażona wzorem

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

gdzie:

$v_m(z)$ – wartość średnia prędkości wiatru,

ρ – gęstość powietrza,

$I_v(z)$ – intensywność turbulencji,

z – wysokość nad poziomem gruntu.

Wartość średnia prędkości wiatru jest przedstawiona w postaci

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (8)$$

gdzie:

v_b – wartość bazowa prędkości wiatru (także średnia 10 minutowa),

$c_r(z)$ – współczynnik chropowatości terenu,

$c_o(z)$ – współczynnik rzeźby terenu (orografii),

z – jak wyżej.

Za pomocą współczynnika chropowatości uwzględnia się zależność prędkości wiatru od rodzaju terenu i wysokości nad nim; za pomocą współczynnika rzeźby terenu uwzględnia się wpływ skarp lub pojedynczych wzniesień na prędkość wiatru.

Bazowa prędkość wiatru jest wyrażona wzorem

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (9)$$

gdzie:

$v_{b,0}$ – podstawowa wartość bazowa prędkości wiatru (także średnia 10 minutowa),

c_{dir} – współczynnik kierunkowy,

c_{season} – współczynnik pory roku (sezonowy).

Za pomocą współczynnika kierunkowego uwzględnia się zależność bazowej prędkości wiatru od jego kierunku, współczynnik sezonowy stosuje się do obliczeń konstrukcji tymczasowych albo znajdujących się w stadium budowy, jeżeli w obliczeniach można uwzględnić porę roku (miesiąc). Zaleca się stosowanie wartości $c_{season} = 1,0$; wartość ta może być zmieniona w załączniku krajowym.

Wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru, $v_{b,0}$, jest wartością charakterystyczną, średnią 10 minutową, niezależną od kierunku wiatru i pory roku, na wysokości 10 m nad poziomem gruntu, w otwartym terenie wiejskim o niskiej roślinności, jak trawa, i o pojedynczych przeszkodach oddalonych od siebie przynajmniej na odległość ich 20 wysokości. Jest to teren oznaczony w normie europejskiej jako teren kategorii II, określanej w skrócie jako „otwarty, rolniczy”, według normy polskiej jest to teren A, a wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru ma cechy wartości charakterystycznej wg normy polskiej. Teren kategorii II jest podstawowym terenem odniesienia.

Zastosowanie terenów kategorii III i IV jest ograniczone przez wymagany promień zabudowy lub zadrzewienia, pod wiatr, w kierunku, z którego prędkość wiatru ma być brana pod uwagę. W Załączniku A do normy [17] podano w tablicach odpowiednie warunki. Na przykład, aby budynek o wysokości 50 m, zlokalizowany na terenie kategorii III,

mógł być rozpatrywany jako znajdujący się na takim terenie, teren ten musi się rozciągać na odległość 30 km od rozpatrywanego budynku pod wiatr. W przypadku terenu IV, miejskiego, budynek o wysokości 15 m musi być otoczony przez zabudowę miejską w promieniu 20 km. Są to wymagania bardzo ostrożne, nie spotykane w innych normach, oprócz brytyjskiej. Jednakże dopuszczono podanie innych warunków w załączniku krajowym.

Współczynnik konstrukcyjny, występujący we wzorze (6) jest wyrażony wzorem

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \quad (10)$$

Licznik wzoru (10) ma postać analogiczną do postaci wzoru na współczynnik działania porywów wiatru β w dotychczasowej normie polskiej. Wyrażenia B^2 i R^2 ujmują poza rezonansową (background – B) i rezonansową (R) część odpowiedzi konstrukcji, analogicznie do współczynników k_b i k_r . W normie europejskiej są one jednak bardziej szczegółowo wyznaczane. Intensywność turbulencji $I_v(z_s)$ jest tu wyniesiona przed pierwiastek. Ponieważ we wzorze na ciśnienie prędkości suma średniej prędkości wiatru i wartości fluktuacyjnej jest podniesiona do kwadratu to po przeniesieniu kwadratu wartości średniej przed nawias i pominięciu trzeciego członu w nawiasie jako małego pozostaje współczynnik $2 \cdot k_p$. Przeliczając średnią 10 minutową wartość prędkości wiatru na wartość szczytową przyjmuje się $k_p = 3,5$. Stąd wynika współczynnik liczbowy 7 we wzorze (7). Wyznaczając odpowiedź dynamiczną oblicza się współczynnik wartości szczytowej k_p z tego samego wzoru, z którego oblicza się współczynnik ψ według normy polskiej. Zwykle uzyskuje się $3,2 < \psi \leq 4$.

W normie podano, że można przyjmować $c_s c_d = 1,0$ jeżeli:

- wysokość budynku jest mniejsza niż 15 m,
- elementy ścian osłonowych i dachu mają częstotliwość drgań własnych $n > 5$ Hz,
- budynki ramowe mają wysokość do 100 m, a ich wymiar w linii wiatru jest 4 razy większy niż wysokość,
- kominy o przekroju kołowym o $H < 60$ m mają smukłość $H/D < 6,5$.

Ten model obciążenia wiatrem porywistym odnosi się do silnego wiatru wywołanego głębokim niżem atmosferycznym. W czasie takiego wiatru, nazywanego także sztormowym lub synoptycznym, fluktuacje prędkości chwilowych wokół wartości średniej mają charakter stacjonarnego procesu stochastycznego (pomija się tu wątpliwości co do słuszności tego założenia).

W załącznikach B i C są podane dwie metody obliczania współczynnika konstrukcyjnego. W normie podano (p. 6.3.1(1)), że różnice między wynikami uzyskanymi tymi dwiema metodami nie przekraczają ok. 5 %.

W normie podano także dwie metody obliczania odpowiedzi konstrukcji smukłych na wzbudzenie drgań wywołane odrywaniem się wirów (wzbudzenie wirowe). Podano, że metoda 2, dająca większe wartości amplitudy drgań konstrukcji wspornikowych w płaszczyźnie prostopadłej do średniego kierunku wiatru, ma zastosowanie w regionach o niskiej temperaturze powietrza w warunkach małej turbulencji przepływu. Ostatnie doświadczenia wskazują jednak, że te warunki nie muszą być spełnione aby wystąpiły silne drgania w poprzek średniego kierunku wiatru [18].

Załącznik krajowy zawiera inne niż dotychczas wartości charakterystyczne prędkości wiatru (tablica 2) i ciśnienia prędkości (tablica 3) [2]. Podział Polski na strefy obciążenia wiatrem pozostaje prawie całkowicie dotychczasowy, lecz z nieco inną jego interpretacją. Zależności prędkości wiatru od wysokości nad poziomem gruntu podano w postaci wzorów potęgowych zamiast logarytmicznych.

Tablica 2. Wartości podstawowe bazowej prędkości wiatru w załączniku krajowym do [2]

A – wysokość nad poziomem morza

Strefa	$v_{b,o}$, m/s	$v_{b,o}$, m/s
	A ≤ 300 m	A > 300 m
I	22	$22 \cdot [1 + 0,0006 (A - 300)]$
II	26	26
III	22	$22 \cdot [1 + 0,0006 (A - 300)]$

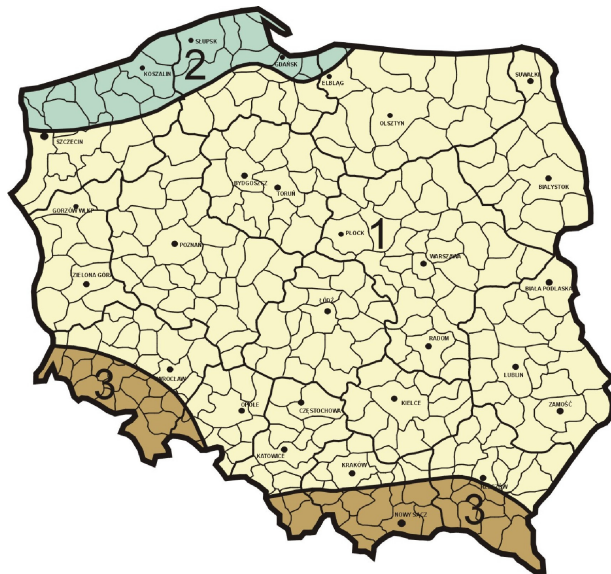
Tablica 3. Wartości podstawowe bazowego ciśnienia prędkości wiatru w załączniku krajowym do [2], A – wysokość nad poziomem morza

Strefa	$q_{b,o}$ (kN/m ²)	$q_{b,o}$ (kN/m ²)
	A ≤ 300 m	A > 300 m
I	0,30	$0,30 \cdot [1 + 0,0006(A - 300)]^2$
II	0,42	0,42
III	0,30	$0,30 \cdot [1 + 0,0006(A - 300)]^2 \cdot \left[\frac{20000 - A}{20000 + A} \right]$

W strefie I zwiększono wartość charakterystyczną prędkości wiatru z 20 do 22 m/s, oszacowanej na stacjach meteorologicznych leżących na płaskim, równym terenie, jak Warszawa i Poznań [19]. W strefie II zwiększono wartość prędkości wiatru do 26 m/s w wyniku ostatnich badań i analiz [19]. Nie wprowadzono dwóch podstref nad samym morzem, gdyż zwiększenie prędkości w tych miejscach jest wynikiem zastosowania kategorii terenu 0 oraz I [2].

W strefie III prędkość wiatru jest podana w postaci liniowej zależności od wysokości nad poziomem morza. W obliczeniach, przyjmując podstawową wartość bazową ciśnienia prędkości należy uwzględnić spadek gęstości powietrza wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza, podany w postaci dodatkowego członu w tablicy 3 [2, 19].

W strefie II, poza wierzchołkiem Wierzycy, nie ma miejscowości położonych powyżej 300 m npm. Takie obszary znajdują się w strefie I (Góry Świętokrzyskie, Jura Krakowsko – Częstochowska). Ze względu na to, że są to wzniesienia stosunkowo niewysokie w obliczeniach można nie uwzględniać spadku gęstości powietrza z wysokością nad poziomem morza.



Rys. 2. Podział Polski na strefy obciążenia wiatrem według załącznika krajowego [2]

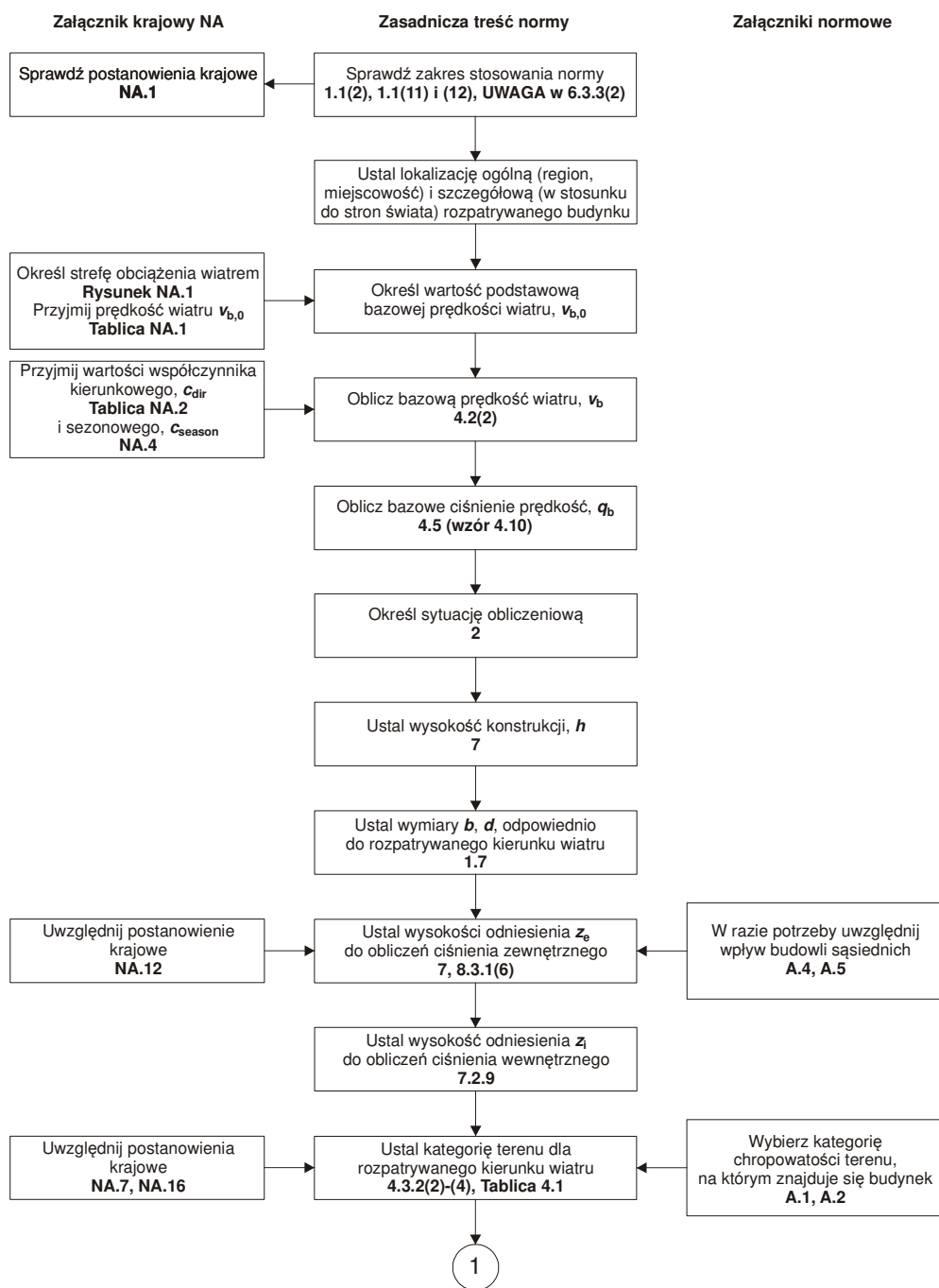
W strefach I i III, do wysokości 300 m npm wartości charakterystyczne podstawowej prędkości bazowej są takie same, różnią się jednak wartości współczynnika kierunkowego (tablica 4). Na tym polega wspomniana wyżej nieco inna interpretacja dotychczasowego podziału kraju na strefy.

Tablica 4. Wartości współczynnika kierunkowego c_{dir} w załączniku krajowym do normy europejskiej [2]

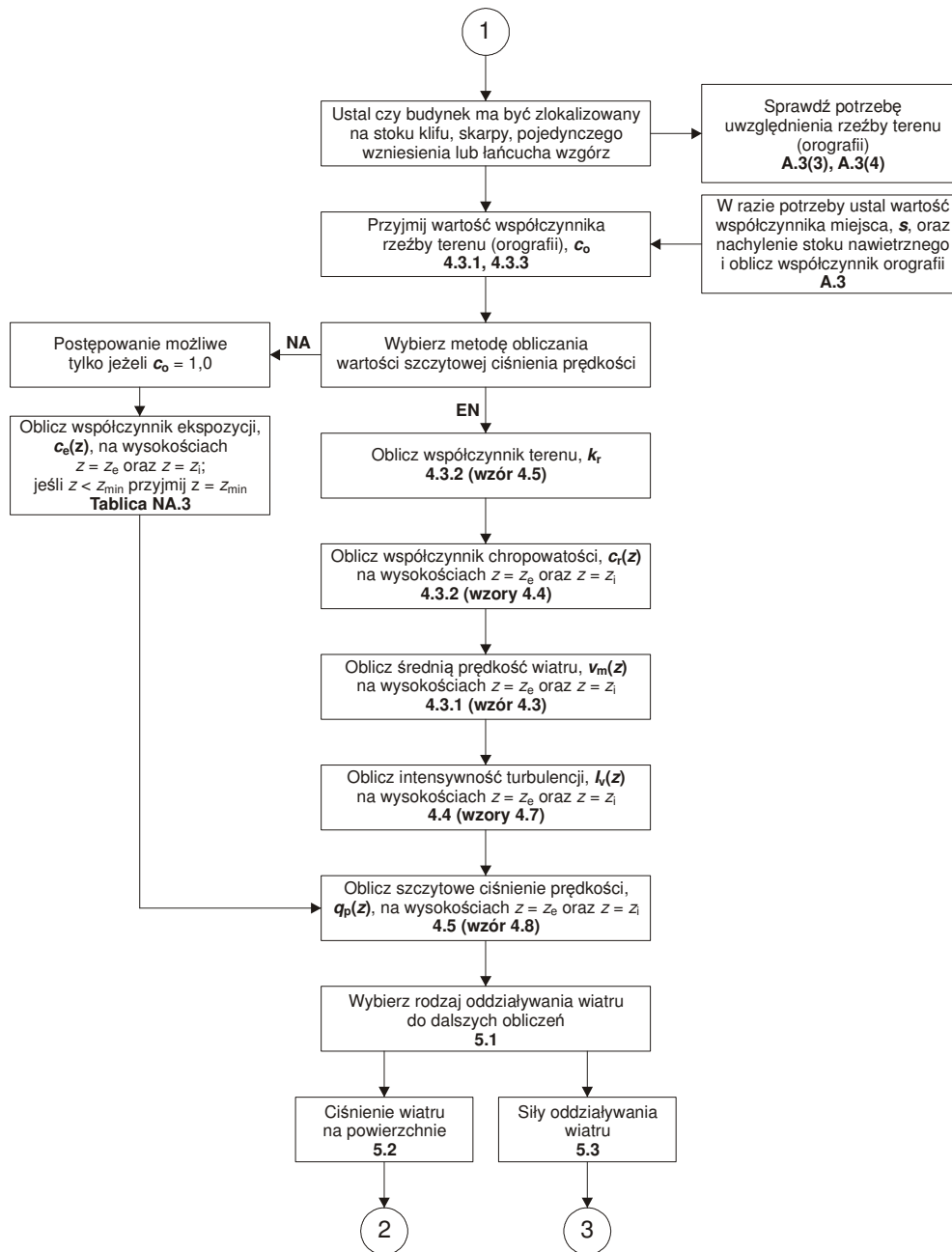
Strefa	Kierunek wiatru (sektor)											
	0 ⁰	30 ⁰	60 ⁰	90 ⁰	120 ⁰	150 ⁰	180 ⁰	210 ⁰	240 ⁰	270 ⁰	300 ⁰	330 ⁰
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	0,8	0,7						0,8	0,9	1,0		0,9
II	1,0	0,9	0,8	0,7				0,8	0,9	1,0		
III	0,8	0,7				0,9	1,0					

4. Przykłady obliczeń obciążenia wiatrem budynków

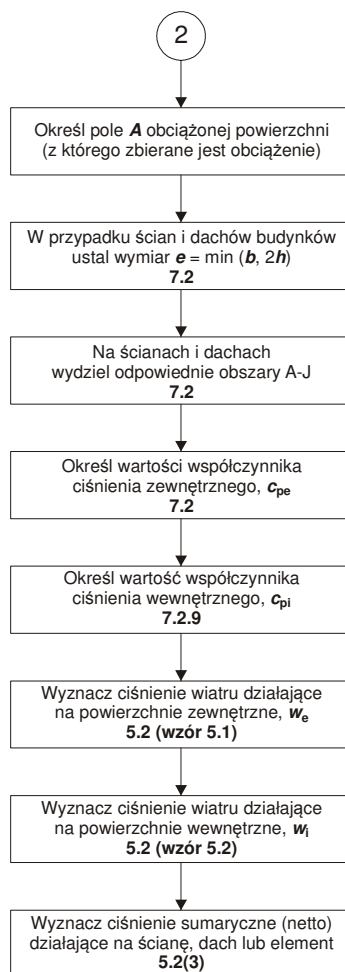
Podano dwa przykłady, w których wykorzystano obliczenia według artykułu [20]. Poniżej przedstawiono algorytm postępowania przy wyznaczaniu obciążenia wiatrem.



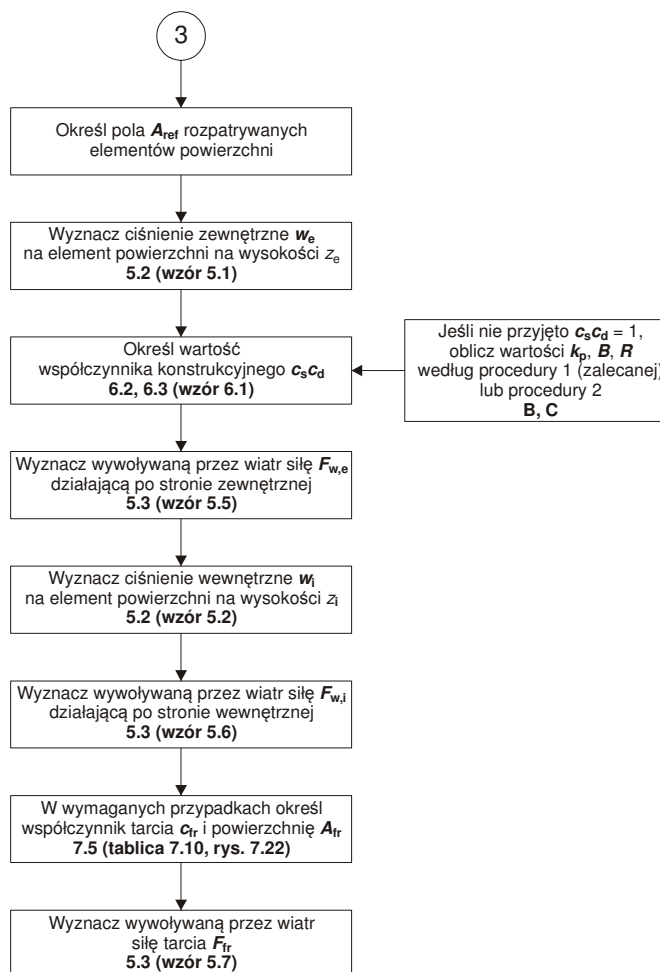
Rys. 3. Algorytm postępowania przy wyznaczaniu obciążenia wiatrem budynku



Rys. 3. Algorytm postępowania przy wyznaczaniu obciążenia wiatrem budynku, cd



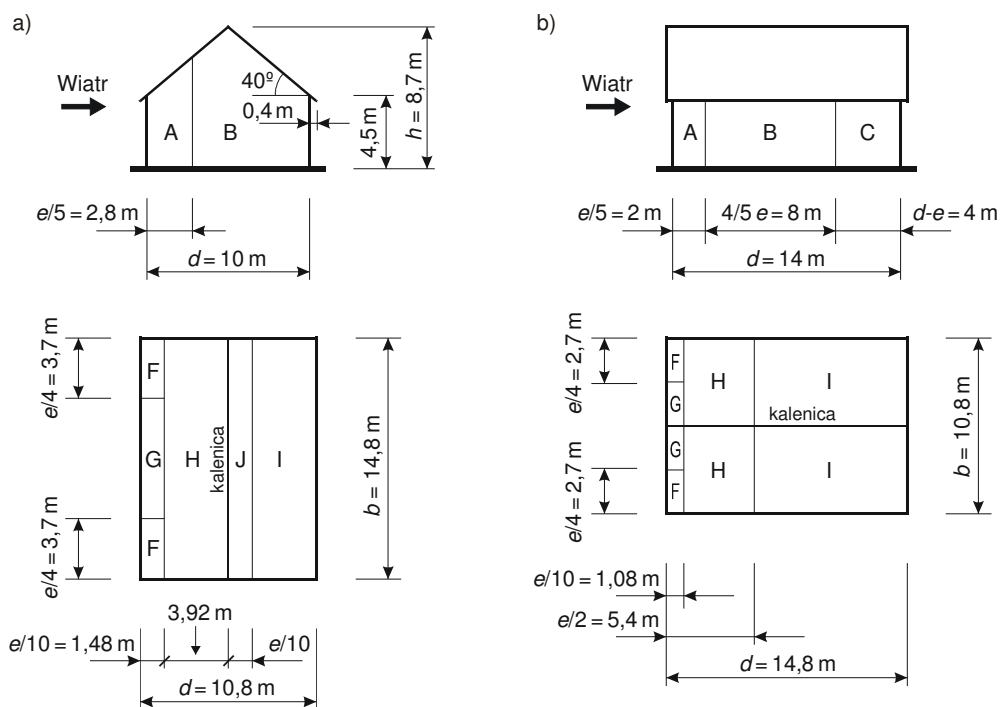
Rys. 3. Algorytm postępowania przy wyznaczaniu obciążenia wiatrem budynku, cd



Rys. 3. Algorytm postępowania przy wyznaczaniu obciążenia wiatrem budynku, cd

Przykład 1. Budynek na rzucie 10 m x 14 m, z dachem dwuspadowym o kącie spadku 40° , o wysokości ścian 4,5 m i wysokości całkowitej $h = 8,7$ m. Dach z okapem sięgającym na odległość 0,4 m od ścian (rys. 4). Strefa 1 obciążenia wiatrem, $v_b = 22$ m/s, teren kategorii II, rolniczy, otwarty wg [2], wysokość chropowatości $z_0 = 0,05$ m. Orientacja ścian dłuższych: wschód – zachód.

Obciążenie wiatrem powierzchni zewnętrznych oblicza się z wzoru (4), obciążenie powierzchni wewnętrznych oblicza się z wzoru (5). Jeżeli przyjmąc, że nie ma dominujących otworów w przegrodach zewnętrznych, to w obu przypadkach wysokość odniesienia jest taka sama, równa wysokości całkowitej budynku $z_e = z_i = h = 8,7$ m.



Rys. 4. Budynek z Przykładu 1. Zaznaczono pola ścian i dachu według kierunku wiatru i normy (rys. 7.5 i 7.8 wg [2]).

Na rysunkach górnych podział ścian, na dolnych - podział dachu

Wartość szczytową ciśnienia prędkości obliczyć można według wzorów podanych w Eurokodzie [2] albo w Załączniku krajowym do niego. W pierwszym przypadku należy obliczyć najpierw intensywność turbulencji z wzoru (4.7) normy [2]

$$I_v(h) = \frac{1}{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)} = \frac{1}{\ln\left(\frac{8,7}{0,05}\right)} = 0,194 \quad (11)$$

Przyjęto tu $k_1 = 1,0$ i $c_0(z) = 1,0$.

Współczynnik chropowatości obliczono z wzoru

$$c_r(h) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{h}{z_0}\right) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{8,7}{0,05}\right) = 0,98 \quad (12)$$

zatem wartość szczytowa ciśnienia prędkości wynosi

$$q_p(h) = [1 + 7 \cdot I_v(h)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot [c_r(h) \cdot v_b]^2 = [1 + 7 \cdot 0,194] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot [0,98 \cdot 22]^2 = 685 \text{ N/m}^2 \quad (13)$$

$$q_p(8,7) = 0,685 \text{ kN/m}^2$$

Postępując się wzorem potęgowym na współczynnik ekspozycji, podanym w Załączniku krajowym do Eurokodu [2] otrzymuje się

$$c_e(h) = 2,3 \left(\frac{h}{10} \right)^{0,24} = 2,3 \left(\frac{8,7}{10} \right)^{0,24} = 2,22 \quad (14)$$

oraz wartość szczytową ciśnienia prędkości na wysokości odniesienia $z_e = 8,7$ m

$$q_p(8,7) = 2,22 \cdot 0,3 = 0,666 \text{ kN/m}^2.$$

Wartości obciążenia, obliczane z wykorzystaniem współczynnika ekspozycji według Załącznika krajowego, są zatem mniejsze o ok. 3 % od wartości obliczonych według oryginalnych wzorów Eurokodu. Dotyczy to tylko budynku o wysokości 8,7 m w terenie kategorii II. W innych przypadkach różnice będą inne [18].

W dalszych obliczeniach wykorzystano wartości szczytowe ciśnienia prędkości wyznaczone według Załącznika krajowego. Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicach 5–8, oddzielnie dla ścian i dachu, dla dwóch kierunków wiatru: prostopadłego i równoległego do kalenicy. Wartości obciążenia *netto*, $w_{\text{net},10}$ i $w_{\text{net},1}$, przedstawiają sumę algebraiczną obciążenia z dwóch stron tej samej przegrody.

Tablica 5. Współczynniki ciśnienia i wartości charakterystyczne obciążenia wiatrem ścian budynku z przykładu 1. Kierunek wiatru 0° , $c_{\text{dir}} = 1,0$; $h/d = 0,87$

Wielkość	Pola ścian			
	A	B	D	E
$c_{\text{pe},10}$	- 1,2	- 0,8	0,783	- 0,465
$c_{\text{pe},1}$	- 1,4	- 1,1	1,0	
$w_{e,10}$	- 0,799	- 0,533	0,521	- 0,310
$w_{e,1}$	- 0,932	- 0,733	0,666	
w_i ($c_{\text{pi}} = 0,2$)	0,133		-	0,133
w_i ($c_{\text{pi}} = - 0,3$)	-	-	- 0,200	-
$w_{\text{net},10}$	- 0,932	- 0,666	0,721	- 0,443
$w_{\text{net},1}$	- 1,065	- 0,866	0,866	

Podział powierzchni zewnętrznych ścian budynku, zgodnie z rys. 7.5 normy i dachu dwuspadowego, według rys. 7.8, pokazano na rys. 4. Zgodnie z p.7.2.5 przy podziale dachu na obszary o zróżnicowanym ciśnieniu należy brać pod uwagę wymiary dachu z okapem. Mogą one zatem nieco się różnić od podziału ścian. Wartości współczynników ciśnienia zewnętrznego i wewnętrznego wzięto z tablic 7.1 i 7.4a [2]. Podano skrajne wartości współczynnika ciśnienia zewnętrznego i obciążenia powierzchni zewnętrznych – dla elementów o powierzchni 1 m^2 i 10 m^2 . W projektowaniu konstrukcji należy je zróżnicować w zależności od wielkości pola powierzchni, z którego jest zbierane obciążenie przypadające na obliczany element. Wartości współczynnika ciśnienia wewnętrznego, a więc także obciążenia powierzchni wewnętrznych, nie zależą od rozmiarów

rozpatrywanych elementów, są takie same dla całej przestrzeni wewnątrz budynku. Należy je jednak różnicować w zależności od kierunku działania sił zewnętrznych, tak aby z sumy algebraicznej obciążeń powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej uzyskiwać najniekorzystniejszy wynik.

Tablica 6. Współczynniki ciśnienia i wartości charakterystyczne obciążenia wiatrem ścian budynku z przykładu 1. Kierunek wiatru 90° , $q_p(8,7) = 0,330 \text{ kN/m}^2$, $c_{dir} = 0,7$, $h/d = 0,621$

Wielkość	Pola ścian				
	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	- 1,2	- 0,8	- 0,5	0,75	- 0,4
$c_{pe,1}$	- 1,4	- 1,1		1,0	
$w_{e,10}$	-0,396	- 0,264	-0,165	0,248	-0,132
$w_{e,1}$	-0,462	- 0,363		0,330	
$w_i (c_{pi} = 0,2)$	0,066			-	0,066
$w_i (c_{pi} = -0,3)$	-	-	-	- 0,099	-
$w_{net,10}$	-0,462	-0,330	-0,231	0,347	-0,198
$w_{net,1}$	-0,528	-0,429		0,429	

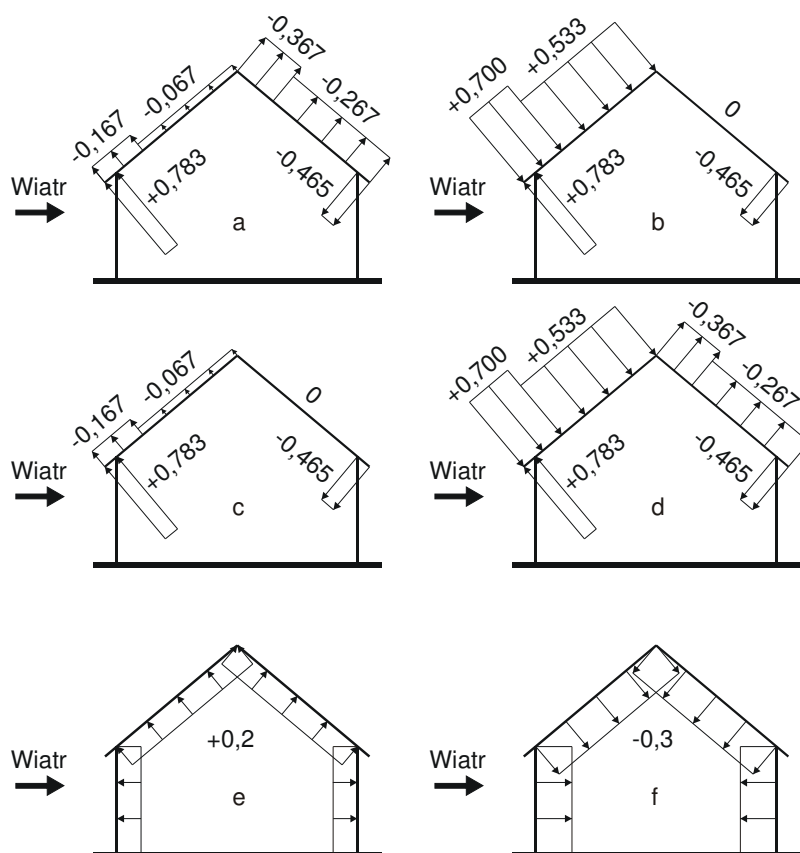
Tablica 7. Współczynniki ciśnienia i wartości charakterystyczne obciążenia wiatrem dachu budynku z przykładu 1. Kierunek wiatru 0° ; $c_{dir} = 1,0$

Wielkość	Pole dachu				
	F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	- 0,167	- 0,167	- 0,067	- 0,267	- 0,367
	0,70	0,70	0,533	0	0
$c_{pe,1}$	- 0,50	- 0,50	- 0,067	- 0,267	- 0,367
	0,70	0,70	0,533	0	0
$w_{e,10}$	- 0,111	- 0,111	- 0,045	- 0,178	- 0,244
	0,466	0,466	0,355	0	0
$w_{e,1}$	- 0,333	- 0,333	- 0,045	- 0,178	- 0,244
	0,466	0,466	0,355	0	0
$w_i (c_{pi} = 0,2)$	0,133				
$w_i (c_{pi} = - 0,3)$	- 0,200				
$w_{net,10}$	- 0,244	- 0,244	- 0,178	- 0,311	- 0,377
	0,666	0,666	0,555	0,200	0,200
$w_{net,1}$	- 0,466	- 0,466	- 0,178	- 0,311	- 0,377
	0,666	0,666	0,555	0,200	0,200

Dodatkowo należy uwzględnić obciążenie występujące na dolnej powierzchni okapu, zgodnie z punktem 7.2.1(3) normy [2].

Ustalając obciążenie okapu należy wziąć pod uwagę ciśnienie wywierane od spodu, zgodnie z rys. 7.3 w [2]. W tablicach 7 i 8 nie podano tego obciążenia ze względu na ich układ. Jest ono pokazane na rys. 5.

Pola oznaczone literą F są obciążone tylko przy pewnych kierunkach wiatru, na naroże. Podane dla nich wartości obciążenia nie występują jednocześnie na obu narożnikach dachu.



Rys. 5. Budynek z Przykładu 1. Cztery przypadki (a, b, c, d) rozkładu współczynnika ciśnienia zewnętrznego $c_{pe,10}$ na połaciach dachowych i pod okapem, przy wietrze działającym na ścianę podłużną, oraz dwa przypadki (e, f) przyjęcia współczynnika ciśnienia wewnętrznego c_{pi} (zgodnie z uwagą 2 w punkcie 7.2.9 (6) normy [2])

Tablica 8. Współczynniki ciśnienia i wartości charakterystyczne obciążenia wiatrem dachu budynku z przykładu 1. Kierunek wiatru 90° ; $c_{dir} = 0,7$

Wielkość	Pole dachu			
	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,1	-1,4	-0,867	-0,5
$c_{pe,1}$	-1,5	-2,0	-1,2	-0,5
Obciążenie wg PN-EN 1991-1-4:2008				
$w_{e,10}$	-0,363	-0,462	-0,286	-0,165
$w_{e,1}$	-0,495	-0,660	-0,396	-0,165
w_i ($c_{pi} = 0,2$)	0,066			
$w_{net,10}$	-0,429	-0,528	-0,352	-0,231
$w_{net,1}$	-0,561	-0,726	-0,462	-0,231

Oznaczenia wymiarów rzutu budynku, b i d , zależą od kierunku wiatru. Wymiar budynku prostopadły do kierunku wiatru jest oznaczany przez b (ang. breath – szerokość), a wymiar równoległy przez d (ang. depth – głębokość). Należy o tym pamiętać rozpatrując stosunek h/d oraz ustalając wysokość odniesienia. W rozpatrywanym przykładzie, w przypadku wiatru prostopadłego do kalenicy jest $b = 14$ m, a przypadku wiatru równoległego $b = 10$ m.

Kierunek wiatru $\theta = 0^\circ$ z tablicy 7.4a normy [2] oznacza w rozpatrywanym przykładzie kierunek zachodni – wiatr z sektora 10 (270°), prostopadły do kalenicy (rys. 4a), natomiast kierunek wiatru $\theta = 90^\circ$ oznacza wiatr południowy (180°), z sektora 7 (rys. 4b). Przywołano tu te kierunki, ponieważ umożliwia to wybór współczynnika kierunkowego. Dla sektora 10 jest $c_{dir} = 1,0$ natomiast dla sektora 7 jest $c_{dir} = 0,7$ [2].

Przy określaniu ciśnienia wewnętrznego wykorzystano Uwagę 2 zamieszczoną w punkcie 7.2.9(6) normy [2].

W przypadku wiatru prostopadłego do kalenicy (tablica 7) przyjęto możliwość wystąpienia na poddaszu nadciśnienia ($c_{pi} = 0,2$) lub podciśnienia ($c_{pi} = -0,3$) w zależności od tego, która wartość jest bardziej niekorzystna w rozważanym wariancie rozkładu ciśnienia zewnętrznego na połaciach dachowych.

W przypadku wiatru równoległego do kalenicy (tablica 8) przyjęto nadciśnienie na poddaszu ($c_{pi} = 0,2$) jako przypadek niekorzystny, bo sumujący się z podciśnieniem na powierzchniach zewnętrznych. Taka sytuacja może wystąpić, jeżeli duża jest przewiewność nawietrznej, szczytowej ściany poddasza.

Wartości charakterystyczne obciążenia wiatrem rozpatrywanego budynku, wyznaczone według nowej normy są ponad dwukrotnie większe od wartości obliczonych według normy dotychczasowej. Wynika to z kilku przyczyn: ze zwiększenia wartości charakterystycznej prędkości wiatru, ze zmiany metody obliczeń, tj. z przyjęcia wartości szczytowej ciśnienia prędkości jako ciśnienia odniesienia oraz z większych bezwzględnych wartości współczynnika ciśnienia zewnętrznego i z uwzględnienia ciśnienia wewnętrznego.

Nie dotyczy to jednak wszystkich przypadków. Jeżeli kąt spadku dachu dwuspadowego zawiera się w granicach od 15° do 30° to obciążenie połaci nawietrznej jest nawet dwukrotnie mniejsze niż obliczone według dotychczasowej normy.

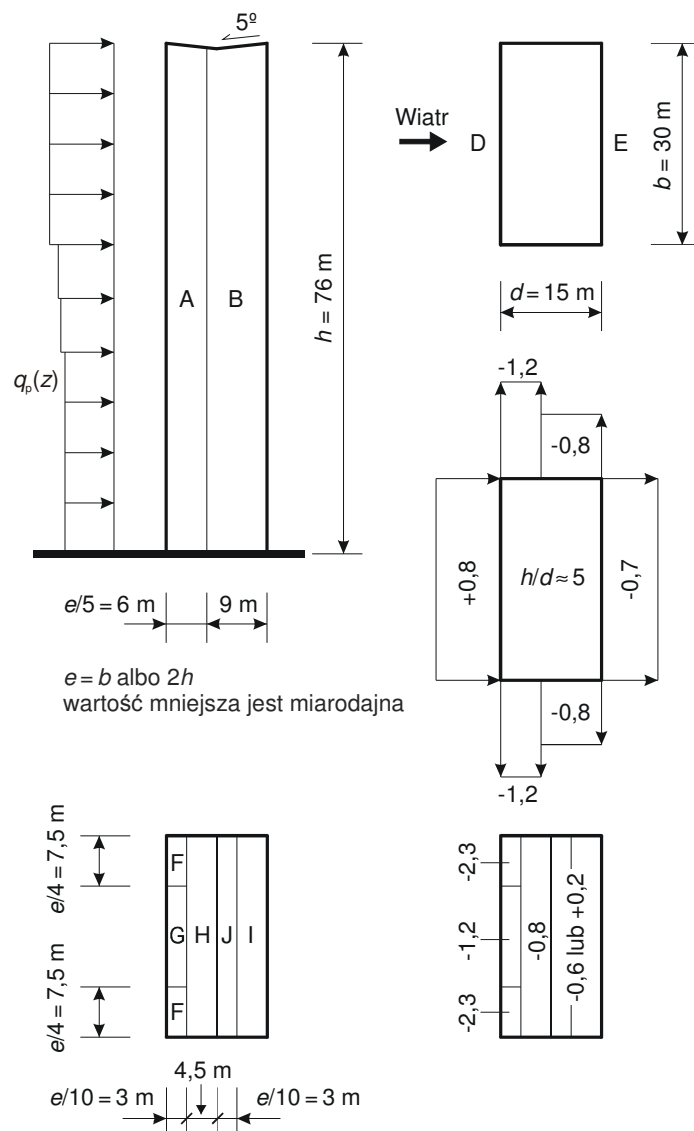
Przykład 2. Budynek wysoki, o konstrukcji betonowej monolitycznej. Wysokość: $h = 76,0$ m, wymiary rzutu: $30,0 \times 15,0$ m (rys. 5). Strefa obciążenia wiatrem 1, $v_b = 22$ m/s. Teren kategorii IV (miejski), $z_0 = 1,0$ m. Logarytmiczny dekrement tłumienia dla monolitycznych budynków betonowych $\delta = 0,10$.

Obliczenia wykonano dla kierunku wiatru zachodniego, prostopadłego do dłuższej osi budynku. Najpierw, w tablicach 9, 10 i 11 podano obliczenia współczynnika konstrukcyjnego według obu procedur (1 i 2) Eurokodu. W przykładzie 2 do wyznaczania wartości szczytowych ciśnienia prędkości posłużono się wzorem logarytmicznym Eurokodu.

W przypadku budynków, wykonujących drgania o równomiernych przemieszczeniach poziomych i liniowej zmienności przemieszczeń w funkcji wysokości jest $\Phi(y,z) = z/h$, $G_y = 1/2$, $G_z = 3/8$, $K_y = 1$ oraz $K_z = 3/2$. Obie stałe spadku c_y i c_z są równe 11,5.

W wyniku obliczeń według obu procedur otrzymano podobne wartości współczynnika konstrukcyjnego (0,815 i 0,810). Nie jest to jednak regułą - w zależności od strefy obciążenia wiatrem, kategorii terenu i rozmiarów budynku, może wystąpić kilkuprocentowa

różnica (w normie podano, że nie przekraczająca ok. 5%). W rozpatrywanym przykładzie korelacja obciążenia na ścianie zewnętrznej jest w przypadku stosowania Procedury 1 nieco większa – $c_s = 0,826$ zamiast $0,796$ w obliczeniach wg Procedury 2, współczynnik dynamiczny zaś nieco mniejszy – $c_d = 0,987$ zamiast $1,02$. Większe wartości współczynnika konstrukcyjnego otrzyma się, przyjmując w obliczeniach współczynnik odpowiedzi poza rezonansowej $B^2 = 1$.



Rys. 6. Budynek z Przykładu 2. Profil wartości szczytowych ciśnienia prędkości wiatru oraz rozkład wartości współczynnika ciśnienia zewnętrznego $c_{pe,10}$

Tablica 9. Przykład 2. Obliczenia wielkości wspólnych dla obu procedur wyznaczania współczynnika konstrukcyjnego

Wzór normy	Wielkości obliczane
Częstotliwość i okres drgań własnych	
(F.2)	$n_1 = \frac{46}{76} = 0,61 \text{ Hz}; T_1 = 1/0,61 = 1,64 \text{ s}$
Wysokość odniesienia do obliczeń współczynnika konstrukcyjnego	
6.3.2 (P)	$z_s = 0,6 \cdot 76 = 45,6 \text{ m.}$
Liniowa skala turbulencji	
(B.1)	$\alpha = 0,67 + 0,05 \cdot \ln(1,0) = 0,67$
	$L(45,6) = 300 \cdot \left(\frac{45,6}{200}\right)^{0,67} = 111,4$
Współczynnik terenu	
(4.5)	$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{1,0}{0,05}\right)^{0,07} = 0,234$
Współczynnik chropowatości	
(4.4)	$c_r(45,6) = 0,234 \cdot \ln\left(\frac{45,6}{1,0}\right) = 0,894$
Prędkość średnia	
(4.3)	$v_m(45,6) = 22 \cdot 0,894 = 19,7 \text{ m/s}$
Częstotliwość bezwymiarowa	
(B.2)	$f_L(45,6) = \frac{0,61 \cdot 111,4}{19,7} = 3,45$
Beczwymiarowa funkcja gęstości spektralnej mocy	
(B.2)	$S_L(z_s, n) = \frac{6,8 \cdot 3,45}{(1 + 10,2 \cdot 3,45)^{5/3}} = 0,059$
Intensywność turbulencji	
(4.7)	$I_v(z_s) = \frac{1}{\ln\left(\frac{z_s}{z_0}\right)} = \frac{1}{\ln\left(\frac{45,6}{1,0}\right)} = 0,262$; przyjęto $c_o(z_s) = 1,0$.

Tablica 10. Przykład 2. Obliczenia współczynnika konstrukcyjnego według procedury 1

Wzór normy	Wielkości obliczane
Współczynnik odpowiedzi poza rezonansowej	
(B.3)	$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{30 + 76}{111,4}\right)^{0,63}} = 0,534$
Funkcje admitancji aerodynamicznej	
(B.7)	$\eta_h = \frac{4,6 \cdot 76}{111,4} \cdot 3,45 = 10,83$
	$R_h = \frac{1}{10,83} - \frac{1}{2 \cdot 10,83^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 10,83}) = 0,088$
(B.8)	$\eta_b = \frac{4,6 \cdot 30}{111,4} \cdot 3,45 = 4,27$
	$R_b = \frac{1}{4,27} - \frac{1}{2 \cdot 4,27^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 4,27}) = 0,207$
Współczynnik odpowiedzi rezonansowej	
(B.6)	$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot 0,1} \cdot 0,059 \cdot 0,088 \cdot 0,207 = 0,053$
Częstotliwość przewyższania	
(B.5)	$\nu = 0,61 \cdot \sqrt{\frac{0,053}{0,534 + 0,053}} = 0,183$
Współczynnik wartości szczytowej	
(B.4)	$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(0,183 \cdot 600)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(0,183 \cdot 600)}} = 3,26$
Współczynnik konstrukcyjny	
(6.1)	$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot 3,26 \cdot 0,262 \cdot \sqrt{0,534 + 0,053}}{1 + 7 \cdot 0,262} = \frac{1 + 1,309}{1 + 1,834} = 0,815$
Współczynnik rozmiarów	
(6.2)	$c_s = \frac{1 + 7 \cdot 0,262 \cdot \sqrt{0,534}}{1 + 7 \cdot 0,262} = \frac{1 + 1,340}{1 + 1,834} = 0,826$
Współczynnik dynamiczny	
(6.3)	$c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2}} = \frac{1 + 2 \cdot 3,26 \cdot 0,262 \cdot \sqrt{0,534 + 0,053}}{1 + 7 \cdot 0,262 \cdot \sqrt{0,534}} = 0,987$

Tablica 11. Przykład 2. Obliczenia współczynnika konstrukcyjnego według procedury 2

Wzór normy	Wielkości obliczane
Współczynnik odpowiedzi poza rezonansowej	
(C.1)	$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{30}{111,4}\right)^2 + \left(\frac{76}{111,4}\right)^2 + \left(\frac{30}{111,4} \cdot \frac{76}{111,4}\right)^2}} = 0,469$
Współczynnik redukcyjny ze względu na rozmiary	
(C.3)	$\phi_y = \frac{c_y \cdot b \cdot n}{v_m(z_s)} = \frac{11,5 \cdot 30 \cdot 0,61}{19,7} = 10,68$
(C.3)	$\phi_z = \frac{c_z \cdot h \cdot n}{v_m(z_s)} = \frac{11,5 \cdot 76 \cdot 0,61}{19,7} = 27,06$
(C.3)	$K_s(n) = \frac{1}{1 + \sqrt{\left((1/2) \cdot 10,68\right)^2 + \left((3/8) \cdot 27,06\right)^2 + \left(\frac{2}{\pi} \cdot (1/2) \cdot 10,68 \cdot (3/8) \cdot 27,06\right)^2}} = 0,0268$
Współczynnik odpowiedzi rezonansowej	
(C.2)	$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot 0,1} \cdot 0,059 \cdot 0,0268 = 0,078$
Częstotliwość przewyższania	
(B.5)	$\nu = 0,61 \cdot \sqrt{\frac{0,078}{0,469 + 0,078}} = 0,23$
Współczynnik wartości szczytowej	
(B.4)	$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(0,23 \cdot 600)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(0,23 \cdot 600)}} = 3,33$
Współczynnik konstrukcyjny	
(6.1)	$c_s \cdot c_d = \frac{1 + 2 \cdot 3,33 \cdot 0,262 \cdot \sqrt{0,469 + 0,078}}{1 + 7 \cdot 0,262} = 0,81$
Współczynnik rozmiarów	
(6.2)	$c_s = \frac{1 + 7 \cdot 0,262 \cdot \sqrt{0,469}}{1 + 7 \cdot 0,262} = 0,796$
Współczynnik dynamiczny	
(6.3)	$c_d = \frac{1 + 2 \cdot 3,33 \cdot 0,262 \cdot \sqrt{0,469 + 0,078}}{1 + 7 \cdot 0,262 \cdot \sqrt{0,469}} = 1,02$

Tablica 12. Przykład 2. Zestawienie wartości obciążenia wiatrem budynku. Kierunek wiatru prostopadły do ściany $b = 30$ m. Współczynnik konstrukcyjny obliczony wg procedury 1, $c_s c_d = 0,815$. Wartości $q_p(z_e)$ według Eurokodu

z_e , m	$c_r(z_e)$	$v_m(z_e)$, m/s	$I_v(z_e)$	$q_p(z_e)$, N/m ²	$c_{pe,10}$ (A)	$c_{pe,10}$ (B)	$c_{pe,10}$ (D)	$c_{pe,10}$ (E)	w , N/m ²	w , kN/m ²
76	1,015	22,3	0,231	815	-1,2	-0,8	+0,8	-0,7	994	0,99
46	0,897	19,7	0,261	689					841	0,84
38	0,852	18,8	0,275	643					784	0,78
30	0,797	17,5	0,294	588					717	0,72

Tablica 13. Przykład 2. Zestawienie wartości obciążenia wiatrem ścian. Wiatr prostopadły do ściany $b = 30$ m. Współczynniki ciśnienia dla pól $A \geq 10$ m²; $c_s c_d = 1,0$

z_e , m	$q_p(z_e)$, N/m ²	$c_{pe,10}$ (A)	$c_{pe,10}$ (B)	$c_{pe,10}$ (D)	$c_{pe,10}$ (E)	$w(A)$ kN/m ²	$w(B)$ kN/m ²	$w(D)$ kN/m ²	$w(E)$ kN/m ²
76	815	-1,2	-0,8	+0,8	-0,7	-0,98	-0,65	+0,65	-0,57
46	689							+0,55	
38	643							+0,51	
30	588							+0,47	

Tablica 14. Przykład 2. Zestawienie wartości obciążenia wiatrem ścian. Wiatr prostopadły do ściany $b = 30$ m. Współczynniki ciśnienia dla pól $A \leq 1$ m²; $c_s c_d = 1,0$

z_e , m	$q_p(z_e)$, N/m ²	$c_{pe,10}$ (A)	$c_{pe,10}$ (B)	$c_{pe,10}$ (D)	$c_{pe,10}$ (E)	$w(A)$ kN/m ²	$w(B)$ kN/m ²	$w(D)$ kN/m ²	$w(E)$ kN/m ²
76	815	-1,4	-1,1	+1,0	-0,7	-1,14	-0,90	+0,81	-0,57
46	689							+0,69	
38	643							+0,64	
30	588							+0,59	

Tablica 15. Przykład 2. Współczynniki ciśnienia i wartości charakterystyczne obciążenia wiatrem dachu budynku. Kierunek wiatru 0°; $h/d = 5,087$

Wielkość	Pola dachu						
	F	G	H	I		J	
$c_{pe,10}$	-2,3	-1,2	-0,8	+0,2	-0,6	+0,2	-0,6
$c_{pe,1}$	-2,5	-2,0	-1,2				
$w_{e,10}$	-1,87	-0,98	-0,65	+0,16	-0,49	+0,16	-0,49
$w_{e,1}$	-2,04	-1,63	-0,98				
w_i ($c_{pi} = -0,3$)	-0,24						
$w_{net,10}$	-1,63	-0,74	-0,41	+0,40	-0,25	+0,40	-0,25
$w_{net,1}$	-1,80	-1,39	-0,74				

5. Oddziaływania temperatury

W październiku 2005 roku opublikowano polską wersję normy europejskiej oddziaływań termicznych na konstrukcje [3]. Różni się ona znacznie od dotychczasowej normy polskiej [21].

Zgodnie z tytułem dotyczy oddziaływań termicznych; są to nie tylko oddziaływania termiczne pochodzenia klimatycznego, lecz także technologicznego, w kominach przemysłowych, rurociągach, silosach, zbiornikach i chłodniach kominowych. Oprócz danych pozwalających na wyznaczenie efektów termicznych w konstrukcji podano postanowienia i zalecenia odnośnie do zasad sprawdzania konstrukcji na oddziaływania termiczne. Znaczną część normy poświęcono oddziaływaniom termicznym na mosty. Można nawet stwierdzić, że norma ta dotyczy przede wszystkim oddziaływań termicznych na mosty.

Temperaturę wewnątrz pojedynczego elementu konstrukcji rozkłada się na cztery podstawowe składowe:

- a) równomierną
- b) liniowo zmienną różnicę temperatury względem osi z-z,
- c) liniowo zmienną różnicę temperatury względem osi y-y,
- d) nieliniowo zmienną różnicę temperatury wywołującą powstanie naprężeń samorównoważących się, które nie powodują dodatkowego obciążenia elementu.

Zgodnie z tymi składowymi oddziaływaniami termicznymi na element konstrukcji należy określać stosując następujące wielkości podstawowe:

- a) składową równomierną temperaturę ΔT_U będącą różnicą między średnią temperaturą T elementu i jego temperaturą początkową T_0 (analogiczna do temperatury scalenia wg [21]),
- b) składową liniowo zmienną temperaturę określoną przez różnicę ΔT_M między temperaturą na zewnętrznej powierzchni przekroju poprzecznego a temperaturą na jego powierzchni wewnętrznej lub między temperaturami w poszczególnych warstwach,
- c) różnicę temperatury ΔT_p między różnymi częściami konstrukcji będącą różnicą między średnimi temperaturami tych części.

Temperaturę powietrza zewnętrznego (temperaturę powietrza w cieniu), jej wartości charakterystyczne, ujemną (minimalną) i dodatnią (maksymalną) wyznacza się jako odniesione do poziomu morza w terenie otwartym, o rocznym prawdopodobieństwie przekroczenia równym 0,02, a więc o okresie powrotu 50 lat. Podano wzory umożliwiające przeliczenie wartości charakterystycznych na inne okresy powrotu, przy zastosowaniu rozkładu Gumbela. W odróżnieniu od wzoru (D.1) w normie obciążenia śniegiem [1], według którego dokonuje się przeliczeń korzystając ze współczynnika zmienności w normie oddziaływań termicznych są podane parametry rozkładu Gumbela, zapewne uśrednione z pewnego obszaru (każdy kraj może podać w załączniku krajowym wartości właściwe dla swojego obszaru).

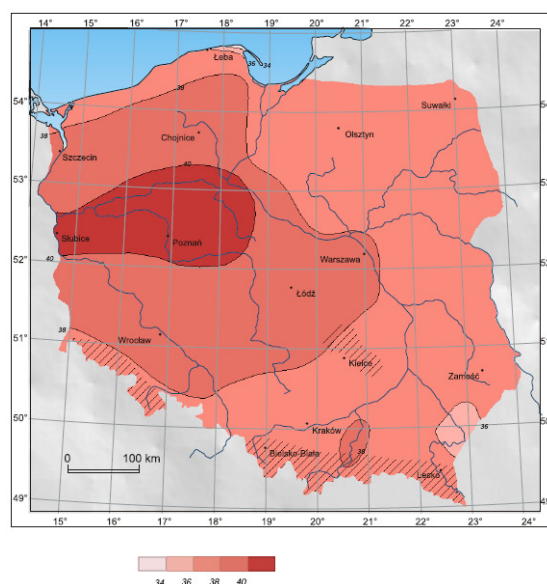
W normie europejskiej nie podano wartości promieniowania lecz równoważne w skutkach przyrosty temperatury powietrza na zewnątrz konstrukcji, zależne od rodzaju powierzchni i jej usytuowania względem stron świata (orientacji względem promieniowania słonecznego). Największe przyrosty temperatury dotyczą powierzchni usytuowanej od strony południowo zachodniej lub ułożonych poziomo i wynoszą: dla powierzchni jasno świecących $T_3 = 18^\circ\text{C}$, dla powierzchni świecących kolorowych $T_4 = 30^\circ\text{C}$ i dla

powierzchni ciemnych $T_5 = 42\text{ }^\circ\text{C}$. Jest to niewątpliwie podejście prostsze niż w dotychczasowej normie polskiej [21], wymagające odpowiednich obliczeń, które wykonali autorzy normy europejskiej, zapewne dla jakiejś średniej szerokości geograficznej krajów członkowskich CEN. Dopuszcza się inne wartości w załączniku krajowym.

W normie są cztery załączniki:

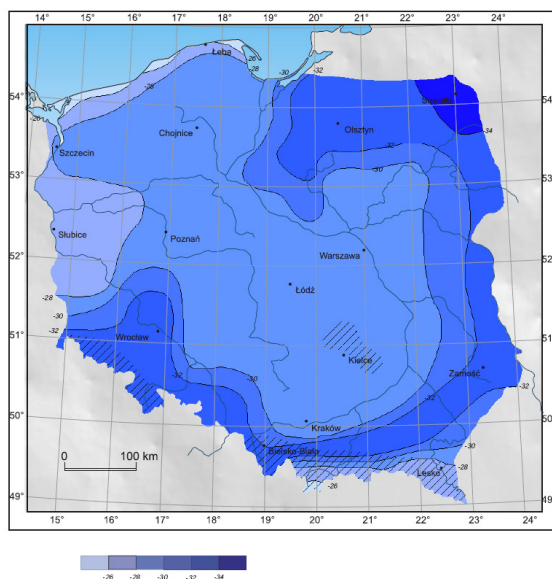
- A - (normatywny), podający zasady ustalania i przeliczania wartości charakterystycznych temperatury powietrza w cieniu,
- B - (normatywny), podający zalecane wartości temperatury pomostów (mostów) w zależności od grubości płyty i grubości nawierzchni,
- C - (informacyjny), podający wartości współczynnika rozszerzalności cieplnej różnych materiałów,
- D - (informacyjny), podający rozkłady temperatury w przegrodach w postaci prostych elementów warstwowych.

W załączniku krajowym podano mapy izoterm temperatury maksymalnej i minimalnej o okresie powrotu 50 lat oraz wartości współczynników rozkładu Gumbela pozwalające na przeliczanie wartości charakterystycznych na okresy powrotu inne niż 50 lat, zgodnie z załącznikiem A. Mapy zostały sporządzone w wyniku aproksymacji rozkładem Gumbela wartości maksymalnych i minimalnych rocznych temperatury powietrza, zmierzonych przez 54 polskie stacje meteorologiczne w latach 1971 – 2000 [22]. Izoterma $40\text{ }^\circ\text{C}$ otacza większość terenu Wielkopolski po Słubice, a izoterma $36\text{ }^\circ\text{C}$ przebiega w okolicy Przemyśla. Tylko tam temperatura powietrza jest praktycznie taka jak w dotychczasowej normie polskiej [21], w której dla całego kraju podano jedną wartość maksymalną $35\text{ }^\circ\text{C}$. Różnice między wartościami charakterystycznymi obu norm wynikają prawdopodobnie z innej metodyki ich wyznaczania oraz z zastosowania innych rozkładów prawdopodobieństwa (rozkład Gumbela jest nieograniczony).



Rys. 7. Podział Polski na strefy dodatniej temperatury powietrza według załącznika krajowego [3]

Wartości temperatury ujemnej są wyższe niż $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ w normie [21]. Na przeważającym obszarze kraju zawierają się one w granicach między $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatury niższe, w zakresie od $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ podano dla Warmii i Mazur oraz wzdłuż wschodniej granicy Polski i w górach, z wyjątkiem Karpat, co wynika ze sprowadzenia wartości temperatury do poziomu morza. Podane wzory umożliwiają przeliczenie tych wartości na lokalizacje górskie, w zależności od wysokości nad poziomem morza.



Rys. 8. Podział Polski na strefy ujemnej temperatury powietrza według załącznika krajowego [3]

Zgodnie z Eurokodem [4] współczynnik częściowy wynosi 1,5. Jeżeli dotyczyłoby on tylko zmienności temperatury to zarówno w przypadku maksymalnej jak i minimalnej temperatury powietrza oznaczałoby to wartości obliczeniowe znacznie przekraczające możliwe temperatury na terenie Polski, ujemne do $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, a dodatnie do $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jednakże współczynnik częściowy pokrywa także niedokładności modelu obliczeniowego, a w przypadku temperatury dodatniej także efekty promieniowania słonecznego, oszacowane w sposób przybliżony.

6. Uwagi końcowe

Podstawowym zadaniem norm oddziaływań jest podanie takich wartości obciążenia, co do których można oczekiwać, że w przewidywanym czasie użytkowania konstrukcji nie zostaną przewyższone z przyjętym z góry prawdopodobieństwem. Jednakże, zwłaszcza w przypadku oddziaływań klimatycznych, są to często wartości odziedziczone z dawnych zaleceń, tradycyjne, które były przyjmowane intuicyjnie lub wynikały z prostych obserwacji. Są to najczęściej wartości bezpieczne, pozytywnie sprawdzone przez wiele lat stosowania. Wraz z rozwojem teoretycznych metod oceny bezpieczeństwa konstrukcji wartości te są identyfikowane statystycznie i probabilistycznie, weryfikowane i ewentualnie korygowane, zgodnie z aktualnymi poglądami na bezpieczeństwo i niezawodność

konstrukcji. Jednakże z biegiem lat zmieniają się także rozwiązania konstrukcyjne i stosowane materiały, powstają konstrukcje bardziej niż poprzednio podatne na różne rodzaje oddziaływania wiatru lub na przeciążenie śniegiem.

Ocenie bezpieczeństwa konstrukcji służą analizy statystyczne i probabilistyczne, często bardzo skomplikowane. W przypadku oddziaływań klimatycznych takim analizom są poddawane przede wszystkim wielkości odniesienia, które można analizować statystycznie: obciążenie śniegiem gruntu, prędkość wiatru, temperatura powietrza. O wartości obciążenia działającego na konstrukcję decydują jednak także inne czynniki. W przypadku obciążenia śniegiem jest to kształt dachu, charakterystyka termiczna dachu i budynku, wpływ wiatru. O obciążeniu wiatrem oprócz jego prędkości decyduje także kształt konstrukcji, jej właściwości aerodynamiczne i dynamiczne. O oddziaływaniu temperatury, oprócz temperatury powietrza i promieniowania słonecznego decydują właściwości termiczne i absorpcyjne materiałów konstrukcyjnych oraz ich rozmiary. Na obciążenie oblodzeniem mają wpływ przede wszystkim warunki atmosferyczne.

Mimo wieloletniego rozwoju norm oddziaływań klimatycznych jeszcze nie został osiągnięty taki poziom wiedzy, aby wszystkie wielkości kształtujące oddziaływania klimatyczne, które z natury rzeczy są zmiennymi losowym, mogły być analizowane i ustalone w kategoriach statystyki matematycznej i rachunku prawdopodobieństwa. Można jednak oczekiwać, że normy będą ciągle udoskonalane i wzbogacane o nowe wyniki badań i doświadczeń.

Od pierwszych projektów Eurokodów mija 20 lat, a 5 lub w niektórych przypadkach nieco więcej lub mniej, od zatwierdzenia ich aktualnych wersji. Zbierane są doświadczenia z praktyki projektowej. Europejski Komitet Normalizacyjny zdecydował w 2010 roku o powołaniu nowej grupy roboczej CEN/TC250/SC1/WG Oddziaływania klimatyczne. Jej zadaniem, przewidzianym na pięć lat pracy, będzie doskonalenie Eurokodów oddziaływań klimatycznych, w tym także opracowanie europejskich map obciążenia śniegiem (rozszerzenie map dotychczasowych na terytoria nowych państw członkowskich CEN) i wiatrem.

Ważnym zagadnieniem jest ujednoczenie tych postanowień, które dopuszczono do stosowania według załączników krajowych. Jeżeli Eurokody mają spełniać postawione im zadania, to znaczy być normami projektowania, do stosowania przez projektantów wielu krajów, to powinien postępować proces ich ujednoczania. Tymczasem ostatnio wystąpiła tendencja odwrotna, dopuszczono rozszerzenie zakresu załączników krajowych Eurokodu dotyczącego oddziaływań wiatru o wartości współczynników ciśnienia zewnętrznego do stosowania w projektowaniu dachów. Umożliwi to nam takie ich ustalenie aby obciążenie wiatrem według Eurokodu, nie było mniejsze od wartości dotychczasowych. Być może w przyszłości dojdzie do pełniejszego ujednoczenia postanowień.

Piśmiennictwo

- [1] PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1 *Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3 Oddziaływania ogólne – Obciążenie śniegiem.*
- [2] PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1 *Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4 Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru.*
- [3] PN-EN 1991-1-5:2005 Eurokod 1 *Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-5 Oddziaływania ogólne – Oddziaływania termiczne.*
- [4] PN-EN 1990:2004 Eurokod – *Podstawy projektowania konstrukcji.*
- [5] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. z 2002 r. nr 75, poz. 690, z późn. zm. (zwłaszcza Dz.U. z 2009 r. nr 56, poz. 461).*
- [6] Notatka ze spotkania w sprawie stosowania Eurokodów w polskiej praktyce projektowej oraz wycofania dotychczasowych norm projektowania konstrukcji budowlanych (11 lutego 2010 r.).- www.pkn.pl; także: *Inżynieria i Budownictwo*, nr 4/2010.
- [7] ISO 12464:2001 *Atmospheric icing on structures.*
- [8] Żurański J.A.: *Normy oddziaływań środowiskowych: śniegiem, wiatrem, temperaturą i oblodzeniem.- XXII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 7-10 marca 2007.*
- [9] Żurański J.A.: *Obciążenie śniegiem w ujęciu nowej normy PN-EN 1991-1-3:2003.* *Inżynieria i Budownictwo*, nr 2/2006.
- [10] Murzewski J.: *O zapewnieniu bezpieczeństwa budynków przy dużych obciążeniach śniegiem.* *Inżynieria i Budownictwo*, Nr 9/2006.
- [11] Żurański J.A.: *O obciążeniu śniegiem w aktualnych normach polskich.* *Inżynieria i Budownictwo*. nr 9, 2006.
- [12] Lewicki B., Żurański J.A.: *Obciążenie śniegiem w nowych normach polskich.* *Wiadomości Izby Projektowania Budowlanego*, nr 1/2007.
- [13] PN-80/B-02010 *Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie śniegiem*
- [14] Żurański J.A., Sobolewski A.: *Obciążenie śniegiem w Polsce.- Prace Naukowe Instytutu Techniki Budowlanej, Monografie, ITB, Warszawa 2009.*
- [15] ISO 4355:1997 *Basis for design of structures - Determination of snow loads.*
- [16] Żurański J.A.: *Obciążenie dachów śniegiem – wnioski z katastrofy hali MTK w Chorzowie.-* *Inżynieria i Budownictwo*, nr 6/2009.
- [17] Zmiana do Polskiej Normy PN-80/B-02010/Az1 *Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie śniegiem.*
- [18] Kawecki J., Żurański J.A.: *Wirowe wzbudzenie drgań komina stalowego – nowe doświadczenia.-* L Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 2004.
- [19] Żurański J.A.: *Oddziaływanie wiatru na konstrukcje budowlane w ujęciu nowej normy PN-EN 1991-1-4:2008.* *Inżynieria i Budownictwo*, nr 7/2010.
- [20] Żurański J.A., Gaczek M.: *Obciążenie wiatrem budynków w ujęciu nowej normy PN-EN 1991-1-4:2008.* *Inżynieria i Budownictwo*, nr 9/ 2010.
- [21] PN-86/B-02015 *Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne środowiskowe. Obciążenie temperaturą.*
- [22] Zobel H., Sobala D.: *Naturalne oddziaływania termiczne na obiekty mostowe w polskich warunkach klimatycznych.* *Inżynieria i Budownictwo*, nr 9/2004.

