

BADANIA I STUDIA – RESEARCH AND STUDIES

**Andrzej Sobolewski\***

**Jerzy Antoni Żurański\*\***

## MODELE OBCIĄŻENIA ŚNIEGIEM DACHÓW

W artykule przedstawiono modele obciążenia śniegiem dachów, zastosowane w normach, a także niektóre opublikowane modele teoretyczne. Można wyróżnić dwa rodzaje modeli obciążenia śniegiem dachów: multiplikatywny, będący iloczynem wartości charakterystycznej obciążenia śniegiem gruntu i kilku współczynników, oraz addytywny, który stanowi sumę kilku wielkości. Przedstawiono pokrótce modele międzynarodowe, CEN i ISO, a także kilku państw: USA, Kanady, Japonii i Ukrainy. Omówiono także kilka modeli teoretycznych.

### 1. Wprowadzenie

Istnieje kilka modeli obliczeniowych, służących do określania obciążenia śniegiem dachów. Za najważniejsze można uznać modele podane w dwóch normach międzynarodowych: w Eurokodzie [1] i w normie ISO [2] oraz w normach tych krajów, w których występują intensywne opady śniegu, między innymi w normie amerykańskiej [3], kanadyjskiej [4], a także rosyjskiej [5], ukraińskiej [6] i japońskiej [7].

W większości modeli obliczeniowych obciążenie śniegiem dachu jest funkcją ciężaru pokrywy śnieżnej na gruncie, nazywanego także obciążeniem śniegiem gruntu, i kilku parametrów, występujących w postaci bezwymiarowych współczynników uwzględniających wpływ zjawisk kształtujących pokrywę śnieżną na dachu.

Z wyjątkiem temperatury gruntu są to te same czynniki klimatyczne, które formują pokrywę śnieżną na gruncie, a więc:

- 1) opad śniegu i deszczu na śnieg,
- 2) prędkość i kierunek wiatru,
- 3) temperatura i wilgotność otaczającego powietrza,
- 4) promieniowanie słoneczne,

a także czynniki związane z budynkiem:

- 5) wysokość budynku, jego kształt i otoczenie,

\* mgr inż. – Zakład Konstrukcji i Elementów Budowlanych

\*\* doc. dr hab. inż., zakład jw.

- 6) kształt dachu, nachylenia połaci dachowych, zróżnicowanie wysokości dachu,
- 7) temperatura powietrza pod dachem i jego przewodność cieplna,
- 8) śliskość powierzchni dachu.

Nie wszystkie wymienione tu zjawiska są uwzględniane w modelach obliczeniowych. Pomija się na przykład wpływ wilgotności powietrza i promieniowania słonecznego.

Obciążenie śniegiem dachu określa się obecnie za pomocą dwóch modeli obliczeniowych:

- **multiplikatywnego**, najczęściej stosowanego w większości norm i opracowań,
- **mieszanego, addytywno-multiplikatywnego**, podanego w normie ISO, lecz prawie nie stosowanego.

We wszystkich modelach obciążenia śniegiem dachu podstawową wielkością odniesienia jest ciężar pokrywy śnieżnej na gruncie, traktowany jako zmienna losowa. Ze względu na istniejącą w każdym kraju sieć stacji i posterunków meteorologicznych oraz regularne pomiary grubości i ciężaru pokrywy śnieżnej na gruncie, których pierwotnym celem było ich wykorzystanie w rolnictwie i gospodarce wodnej do oceny zasobów wodnych śniegu, to właśnie te zmienne losowe znajdują zastosowanie w ocenie obciążeń śniegiem dachów. Współczynniki kształtu dachu, współczynnik ekspozycji i współczynnik termiczny były określane – na podstawie stosunkowo nielicznych danych doświadczalnych – albo jako wartości średnie, albo jako arbitralnie ustalone wartości lub funkcje kąta spadku dachu, często ograniczone od góry wartościami wynikającymi z dostępnych danych pomiarowych. Obciążenie śniegiem gruntu, a ściślej: wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu, jest zatem podstawową wielkością odniesienia w obliczeniach obciążenia śniegiem dachu. Pozostałe wielkości mają jedynie charakter współczynników konwersji.

Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu  $S_k$  określana jest najczęściej na poziomie kwantyla 0,98 rozkładu wartości maksymalnych rocznych (zimowych), tzn. jako taka, której okres powrotu wynosi 50 lat. Do jej wyznaczenia należy dysponować empirycznym rozkładem obciążenia śniegiem gruntu utworzonym z danych pomiarowych z wielu lat, który następnie trzeba aproksymować odpowiednim rozkładem prawdopodobieństwa.

## 2. Modele obciążenia śniegiem w normach międzynarodowych

### 2.1. Model multiplikatywny

Najstarszym i najczęściej stosowanym modelem obciążenia śniegiem dachu jest model multiplikatywny, przyjęty w normie europejskiej [1], a także w większości innych norm, na przykład w normach [3], [4], [6], [9]. Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem dachu  $s$  w normie europejskiej jest przedstawiona w postaci wyrażenia [1]:

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

- w którym:  $\mu_j$  – współczynnik kształtu dachu,  
 $C_e$  – współczynnik ekspozycji,  
 $C_t$  – współczynnik termiczny,  
 $s_k$  – wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu,  $\text{kN/m}^2$ .

Współczynnik kształtu dachu  $\mu_i$  jest podstawowym współczynnikiem przejścia między wielkością odniesienia, jaką jest obciążenie śniegiem gruntu, a obciążeniem dachu. Wartości współczynnika kształtu dachu ujmują wpływ kształtu i różnych form dachu na rozkład śniegu na nim.

Za pomocą współczynnika ekspozycji  $C_e$  uwzględnia się ogólny wpływ wiatru na ilość gromadzącego się śniegu na dachu. W normie europejskiej podano trzy wartości współczynnika ekspozycji:  $C_e = 1,0$  w przypadku budynków znajdujących się w „normalnych” warunkach wiatrowych,  $C_e = 0,8$  w przypadku budynków znajdujących się w terenie wystawionym na działanie stosunkowo silnych wiatrów,  $C_e = 1,2$  w przypadku budynków osłoniętych przed działaniem wiatru. Szczególny wpływ wiatru przejawia się nierównomiernym rozkładem śniegu na dachu i jest uwzględniony za pomocą współczynnika kształtu dachu  $\mu_f$ .

Za pomocą współczynnika termicznego o wartościach  $C_t < 1,0$  uwzględnia się wpływ przenikania ciepła przez dach na redukcję obciążenia śniegiem. Przy stosowanej obecnie izolacji cieplnej dachów przyjmuje się zwykle współczynnik  $C_t = 1$ , a jego zmniejszenie dotyczy przede wszystkim szklarni.

## 2.2. Model addytywno-multiplikatywny

Drugi model obciążenia śniegiem dachu, addytywno-multiplikatywny, jest podany w normie ISO [2]. Jest to autorski model kierownika grupy roboczej, Norwega Christofera Apelanda, stosowany prawdopodobnie tylko w Korei Południowej, a w pewnym zakresie także w Japonii.

Obciążenie śniegiem dachu jest określone jako funkcja  $F$  wartości charakterystycznej obciążenia śniegiem gruntu  $s_o$  oraz sześciu współczynników

$$s = F(s_o, C_e, C_t, C_m, \mu_b, \mu_d, \mu_s) \quad (2)$$

Postać funkcji  $F$  nie została jeszcze w pełni określona z powodu braku niektórych zależności między wymienionymi współczynnikami. Dlatego zaproponowano jej przybliżone rozwiązanie. Podczas kiedy współczynniki  $C_e$ ,  $C_t$ ,  $C_m$  pozostają wartościami stałymi dla dachu i jego powierzchni, niezależnymi od kąta spadku, to współczynniki  $\mu_b$ ,  $\mu_d$ ,  $\mu_s$  są zmienne. Założenie, że obciążenie śniegiem dachu jest proporcjonalne do wartości charakterystycznej obciążenia śniegiem gruntu,  $s_o$ , pozwala zapisać zależność (2) w postaci

$$s = s_o \mu (C_e, C_t, C_m, \mu_b, \mu_d, \mu_s) = s_o \mu \quad (3)$$

przy czym wartość parametru  $\mu$  w przypadku  $C_t \neq 1$  jest funkcją  $s_o$ .

W normie ISO [2] obciążenie śniegiem dachu jest przedstawione jako suma trzech składowych:

- obciążenia równomiernie rozłożonego, zrównoważonego,  $s_b$  ( $b$  – balanced),
- obciążenia naniesionego przez wiatr,  $s_d$  ( $d$  – drifted),
- obciążenia będącego wynikiem ześlizgu śniegu z górnych części dachu na niższe,  $s_s$  ( $s$  – slide).

$$s = s_b + s_d + s_s \quad (4)$$

Wpływ poszczególnych współczynników na składowe obciążenia  $s$  jest wyrażony poprzez funkcje

$$s_b = s_0 C_e C_t \mu_b \quad (5)$$

$$s_d = s_0 C_e C_t \mu_b \mu_d \quad (6)$$

$$s_s = s_0 C_e C_t \mu_s \quad (7)$$

Obciążenie równomierne  $s_b$  ma jednorodny rozkład we wszystkich przypadkach, z wyjątkiem dachów łukowych, gdzie zależy od kąta nachylenia  $\beta$ . Definiuje obciążenie na dachach płaskich oraz po stronie nawietrznej dachów spadzistych. Ponieważ wiatr może oddziaływać z dowolnego kierunku, obciążenie równomierne jest traktowane jako symetryczne na symetrycznych dachach. Dodatkowe obciążenie  $s_d$  wynika z tworzenia się zasp po stronie zawietrznej. Obciążenie wynikające z ześlizgu śniegu,  $s_s$ , tworzy się w dolnej części dachu lub na częściach dachów położonych niżej.

Wykorzystując podane wyżej zależności, wzór opisujący obciążenie śniegiem dachu można przedstawić w postaci

$$s = s_0 C_e C_t (\mu_b + \mu_b \mu_d + \mu_s) \quad (8)$$

Symbole w nawiasie oznaczają:

- $\mu_b$  – współczynnik zmniejszający ze względu na pochylenie dachu; jest on funkcją kąta spadku dachu i współczynnika  $C_m$ , określającego właściwości poślizgowe powierzchni dachu,
- $\mu_d$  – współczynnik obciążenia naniesionego przez wiatr,
- $\mu_s$  – współczynnik obciążenia wynikającego z ześlizgu śniegu.

Norma ISO charakteryzuje się bardzo wyszukaną formą przedstawienia współczynników  $\mu_b$ ,  $\mu_d$  i  $\mu_s$  w postaci złożonych wzorów, do których wchodzi między innymi współczynniki  $C_e$ ,  $C_t$  i  $C_m$ .

Przykładem może być wzór na współczynnik  $\mu_b$ , zmniejszający obciążenie śniegiem dachu ze względu na pochylenie połaci dachowej

$$\mu_b = \sqrt{\cos(1,5 C_m \beta)} \quad \text{dla } 1,5 C_m \beta < 90^\circ \quad (9)$$

$$\mu_b = 0 \quad \text{dla } 1,5 C_m \beta \geq 90^\circ$$

a także na współczynnik uwzględniający znoszenie śniegu przez wiatr

$$\mu_b \mu_d = \mu_b \left( 2,2 C_e - 2,1 C_e^2 \right) \sin(3 \beta) \quad \text{dla } 0^\circ \leq \beta \leq 60^\circ \quad (10)$$

$$\mu_b \mu_d = 0 \quad \text{dla } \beta > 60^\circ$$

Współczynniki występujące w tych wzorach są opisane powyżej,  $\beta$  oznacza kąt spadku dachu.

### 3. Modele obciążenia śniegiem w normach niektórych krajów

#### 3.1. Model obciążenia śniegiem dachów przyjęty w USA

W normie USA [3] obciążenie śniegiem dachu jest przedstawione za pomocą wzoru

$$p_f = 0,7 C_e C_t C_s I p_g \quad (11)$$

w którym:  $C_e$  i  $C_t$  – jak wyżej,  
 $C_s$  – współczynnik nachylenia dachu,  
 $I$  – współczynnik znaczenia budowli,  
 $p_g$  – obciążenie śniegiem gruntu.

Wartość 0,7 jest ogólnym współczynnikiem zmniejszającym na terenie Stanów Zjednoczonych, z wyjątkiem Alaski, dla której podano 0,6. Uwzględnia on zmniejszenie obciążenia dachów, pod wpływem wiatru, w stosunku do obciążenia śniegiem gruntu. Dalsze zróżnicowanie wpływu wiatru wyrażane jest za pomocą współczynnika ekspozycji  $C_e$ . Jego pięć wartości zawiera się w zakresie od 0,8 dla budynków nieostroniętych, wystawionych ze wszystkich stron na działanie wiatru, do 1,2 dla budynków znajdujących się w gęstym lesie.

Trzy wartości współczynnika termicznego  $C_t$  zawierają się w zakresie od  $C_t = 1,0$  dla budynków ogrzewanych do  $C_t = 1,2$  dla budynków nieogrzewanych.

Wartości współczynnika  $C_s$ , zależne od kąta spadku dachu, zależą także od tego, czy dach jest „ciepły” ( $C_t = 1,0$ ) czy „zimny” ( $C_t > 1,0$ ) oraz czy na powierzchni dachu są przeszkody utrudniające ześlizgiwanie się śniegu.

Współczynnik znaczenia budowli (importance factor) jest podany dla 4 klas budowli, szczegółowo omówionych. Jego wartości zawierają się w zakresie od 0,8 dla budynków, których katastrofa nie stanowiłaby zagrożenia dla życia ludzi i o małym znaczeniu gospodarczym, do 1,1 m.in. w przypadku szkół i budynków, w których na jednej powierzchni może się gromadzić od 50 do 500 osób (zależnie od rodzaju budynku), do 1,2 w przypadku budowli o dużym znaczeniu, jak na przykład szpitale i elektrociepłownie. W pozostałych przypadkach przyjmuje się  $I = 1,0$ .

#### 3.2. Model obciążenia śniegiem dachów przyjęty w normie kanadyjskiej

Model obciążenia śniegiem dachów przyjęty w normie kanadyjskiej [4] został opublikowany w National Building Code of Canada (NBC) w 2005 r. Według tego dokumentu obciążenie śniegiem dachów zależy od położenia geograficznego (klimatu), ekspozycji budynku, kształtu oraz typu dachu i jest zmienne w okresie użytkowania budowli. Obciążenie śniegiem dachu lub innej powierzchni określone jest zależnością

$$S = I_s [S_s (C_b C_w C_s C_a) + S_r] \quad (12)$$

gdzie:  $I_s$  – współczynnik znaczenia konstrukcji,  
 $S_s$  – obciążenie śniegiem gruntu, kPa,  
 $C_b$  – podstawowy współczynnik obciążenia śniegiem dachu,  
 $C_w$  – współczynnik ekspozycji na działanie wiatru,  
 $C_s$  – współczynnik nachylenia dachu,  
 $C_a$  – współczynnik kształtu,  
 $S_r$  – obciążenie deszczem, przy czym  $S_r \leq S_s (C_b C_w C_s C_a)$ .

Współczynniki wprowadzone do wzoru zostały określone na podstawie pomiarów wykonywanych podczas technicznych przeglądów dachów, na których leżał śnieg, analitycznych studiów obciążenia płaskich dachów o dużych powierzchniach oraz opinii rzeczoznawców.

Obciążenie śniegiem gruntu określane jest z pomiarów grubości pokrywy śnieżnej i jej gęstości. W obecnej normie kanadyjskiej przyjmuje się do obliczeń średni ciężar objętościowy śniegu leżącego na dachu  $\gamma = 3 \text{ kN/m}^3$ , zaś śniegu leżącego na gruncie od  $2 \text{ kN/m}^3$  do  $5 \text{ kN/m}^3$ . W NBC podane są wartości obciążenia  $S_s$  i  $S_r$  określone dla terytorium Kanady. Obciążenie śniegiem gruntu ma obecnie okres powrotu 50 lat; w starszych wydaniach normy, przed rokiem 2005, okres powrotu wynosił 30 lat.

Podano cztery wartości współczynnika znaczenia konstrukcji, od 0,8 do 1,25 do obliczeń w stanie granicznym nośności i jedną wartość, 0,9, dla stanu granicznego użyteczności. Kategorie znaczenia budowli są określone bardzo prosto: niska, normalna, wysoka i dotycząca sytuacji powaryjnej (post-disaster). Dla kategorii normalnej  $I_s = 1,0$ , jak w normie [3].

Podstawowy współczynnik obciążenia śniegiem dachu,  $C_b$ , przyjmuje wartość  $C_b = 0,8$ . Obserwacje z obszaru Kanady wykazały, że w przypadku kiedy dach lub jego część są w pełni eksponowane na działanie wiatru, pewna część pokrywy śnieżnej leżącej na dachu jest zdmuchiwana, albo wiatr zapobiega akumulacji śniegu na dachu. Współczynnik ekspozycji na działanie wiatru  $C_w$  jest równy 0,75 lub 0,5 w zależności od otoczenia budynku (wolny teren bez wysokich drzew, rozproszona zabudowa, otwarta woda, brzeg morski, brak w pobliżu budynku innych przeszkód zakłócających przepływ powietrza itp.). W przypadku obszarów, gdzie wiatr nie osiąga dużych prędkości lub rzadko takie występują, na przykład w osłoniętych górach dolinach, przyjmuje się  $C_w = 1,0$ .

Z wielu powodów mniej śniegu gromadzi się na dachu spadzistym niż płaskim. Śnieg zsuwa się lub spęta z powierzchni dachu na skutek działania siły ciężkości. Poza tym następuje łatwe odprowadzenie wody z podtopionego śniegu, co zmniejsza obciążenie tej części połaci dachu, z której woda odpłynęła. Przyjmuje się, że wartość współczynnika nachylenia dachu  $C_s$  zmienia się liniowo: od pełnego obciążenia dla dachów o pochyleniu połaci do  $30^\circ$  – do  $C_s = 0$  w przypadku dachów o kącie nachylenia połaci powyżej  $70^\circ$ . Przy powierzchniach śliskich, takich jak metal lub szkło, przyjmuje się  $C_s = 1$  dla dachów o kącie nachylenia połaci do  $15^\circ$  i  $C_s = 0$  dla dachów o pochyleniu połaci powyżej  $60^\circ$ .

Współczynnik kształtu  $C_a$  jest określony dla dachów o różnych kształtach, co jest przedstawione na ośmiu schematach. Na wartość  $C_a$  wpływa wiele różnych czynników. Zalicza się do nich takie zjawiska jak:

- nanoszenie i gromadzenie się śniegu za przeszkodami na skutek zmian prędkości przepływu powietrza,
- wpływ dachów położonych ponad rozpatrywanym dachem na kształtowanie się na nim obciążenia śniegiem,
- wpływ nierównomiernego obciążenia śniegiem dachów o lekkiej konstrukcji i dużej rozpiętości,
- kształtowanie się obciążenia śniegiem przy małej prędkości wiatru i w warunkach osłonięcia dachu od wpływu wiatru, na przykład w dolinach górskich i w wysokim lesie,
- tworzenie się nawisów z ciężkiego śniegu,

- ześlizgiwanie się dużych mas śniegu, co może powodować ścinanie wystających krawędzi na dachu, kominów, przewodów wentylacyjnych itp.,
  - redystrybucja obciążenia na skutek topnienia śniegu i przemieszczania się powstałej stąd wody w niższej położone części budynku, gdzie często woda ta ponownie zamarza.
- Poza tym omówiono badania modelowe obciążenia kopuły, oparte na eksperymentach wykonywanych w tunelu aerodynamicznym lub kanale wodnym.

### 3.3. Model obciążenia śniegiem dachów przyjęty w Japonii

Oryginalnym podejściem charakteryzują się zalecenia Japońskiego Instytutu Architektury [7]. Podano możliwość dwojakiego ujęcia obciążenia śniegiem, w zależności od tego, czy przewiduje się usuwanie śniegu z dachu. W niektórych rejonach Japonii opady śniegu w ciągu zimy osiągają wysokość 5 m i usuwanie go z dachów oraz ulic jest praktykowane. Jeżeli nie ma takiej możliwości, to obciążenie określa się w sposób analogiczny do wspomnianych wyżej. Jeżeli natomiast przewiduje się usuwanie śniegu z dachu, to jego obciążenie jest określone wzorem

$$S = S_{07} \mu' + S_I - S_C \quad (13)$$

- w którym:  $S_{07}$  – obciążenie śniegiem gruntu, nagromadzonym w ciągu 7 dni, o okresie powrotu 100 lat,
- $S_I$  – początkowe obciążenie dachu, pozostające na nim wówczas, gdy spodziewane są nowe intensywne opady śniegu,
- $S_C$  – obciążenie śniegiem usuwane przez urządzenie o gwarantowanej wydajności, nawet podczas intensywnych opadów,
- $\mu'$  – współczynnik kształtu dachu, w zasadzie różny od współczynnika  $\mu$  stosowanego w obliczeniach dachu bez usuwania śniegu; w praktyce według normy [2] przyjmuje się  $\mu' = \mu$ .

Współczynnik  $\mu$  jest sumą współczynników

$$\mu = \mu_b + \mu_d + \mu_s \quad (14)$$

określonych tak samo jak w normie ISO.

W zaleceniach japońskich podano także parcie boczne nagromadzonego śniegu na ściany budynku.

### 3.4. Model obciążenia śniegiem dachów w normie rosyjskiej

W normie b. ZSRR [5], która przez ostatnie 20 lat była normą stosowaną w Federacji Rosyjskiej, wartość obliczeniową obciążenia śniegiem dachu wyznaczano ze wzoru

$$S = S_g \mu \quad 15$$

- w którym:  $S_g$  – obciążenie śniegiem gruntu,
- $\mu$  – współczynnik przejścia od obciążenia śniegiem gruntu do obciążenia śniegiem dachu, ustalany według załączonych tablic w zależności od kształtu dachu.

Obciążenie śniegiem gruntu we wzorze (15) jest wartością obliczeniową o okresie powrotu 25 lat, oszacowaną na podstawie pomiarów w terenie osłoniętym od wpływu wiatru, wykonywanych co najmniej przez 20 lat.

Wartość charakterystyczną oblicza się, mnożąc wartość obliczeniową przez 0,7. Oznacza to, że częściowy współczynnik bezpieczeństwa wynosi  $1/0,7 \approx 1,4$ . Jest to stosowana od dawna w b. ZSRR wartość współczynnika obciążenia odnosząca się do obciążenia śniegiem.

Interesująca może być ocena, jaki okres powrotu ma wartość charakterystyczna w normie rosyjskiej. Gdyby takie podejście zastosować do danych polskich, to w Warszawie wartość obciążenia gruntu śniegiem o okresie powrotu 25 lat wyniosłaby  $0,758 \text{ kN/m}^2$  [13]. Mnożąc tę wartość przez 0,7, otrzymuje się  $0,531 \text{ kN/m}^2$ ; okres powrotu wynosi więc w tym przypadku 6,7 lat. Można zatem przyjąć, że okres powrotu wartości charakterystycznych obciążenia śniegiem w normie rosyjskiej wynosi niewiele ponad 5 lat.

W przypadku dachów o nachyleniu mniejszym niż 12%, bez świetlików, a w przypadku dachów walcowych o  $f/l \leq 0,05$ , projektowanych na obszarach o prędkości wiatru  $v$ , średniej z trzech najzimniejszych miesięcy, nie mniejszej niż 2 m/s, tak określone obciążenie śniegiem należy zmniejszać, mnożąc przez współczynnik

$$c_e = (1,2 - 0,1v\sqrt{k})(0,8 + 0,002b) \quad (16)$$

We wzorze tym:

$k$  – współczynnik zamieszczony w rozdziale normy dotyczącym obciążenia wiatrem, określający zmianę ciśnienia prędkości w zależności od rodzaju terenu i wysokości nad nim (podano trzy rodzaje terenu),

$b$  – szerokości przekrycia, nie więcej jednak niż 100 m.

Przykładowo, przyjmując prędkość wiatru  $v = 3 \text{ m/s}$  na wysokości 10 m w terenie otwartym ( $k = 1,0$ ) oraz  $b = 60 \text{ m}$ , otrzymuje się  $c_e = 0,83$ . Jeżeli  $v \geq 4 \text{ m/s}$ , a kąt spadku zawiera się między 12% a 20%, to zgodnie z normą [5] należy przyjmować  $c_e = 0,85$ .

W normie podano ograniczenia stosowania współczynnika  $c_e$  w zależności od zróżnicowania wysokości sąsiednich dachów i otoczenia budynku przez drzewa.

Należy jednak zauważyć, że podstawowa wartość współczynnika  $\mu$  w przypadku dachów o małym spadku wynosi 1,0, w przeciwieństwie do wartości 0,8 w wielu normach, na przykład w normie EN 1991-1-3:2003 [1].

### • 3.5. Model obciążenia śniegiem dachów przyjęty na Ukrainie

W normie ukraińskiej [6] rozróżnia się trzy wartości obliczeniowe obciążenia śniegiem:

- graniczne obciążenie obliczeniowe,
- eksploatacyjne obciążenie obliczeniowe,
- quasi stałe obciążenie obliczeniowe.

Graniczne obciążenie obliczeniowe określane jest z zależności

$$S_m = \gamma_{fm} S_0 C \quad (17)$$

gdzie:  $S_0$  – wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu o okresie powrotu  $T = 50 \text{ lat}$ ,

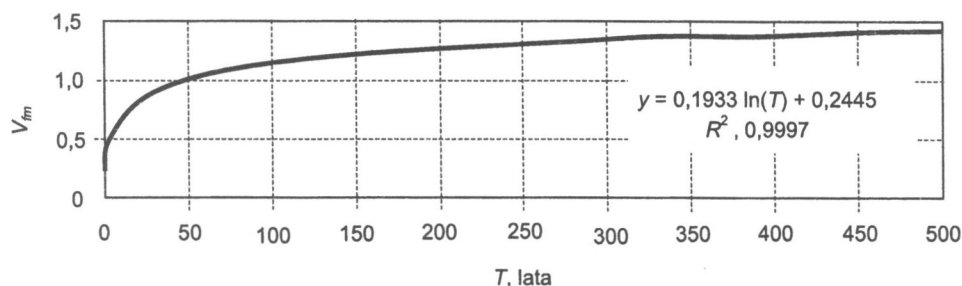


- $\gamma_{fm}$  – współczynnik niezawodności będący funkcją średniego okresu powrotu  $T$  (rys. 1),
- $C$  – współczynnik będący funkcją współczynnika kształtu dachu, uwzględniającego sposób użytkowania dachu i wysokość nad poziomem morza (wzór 19).

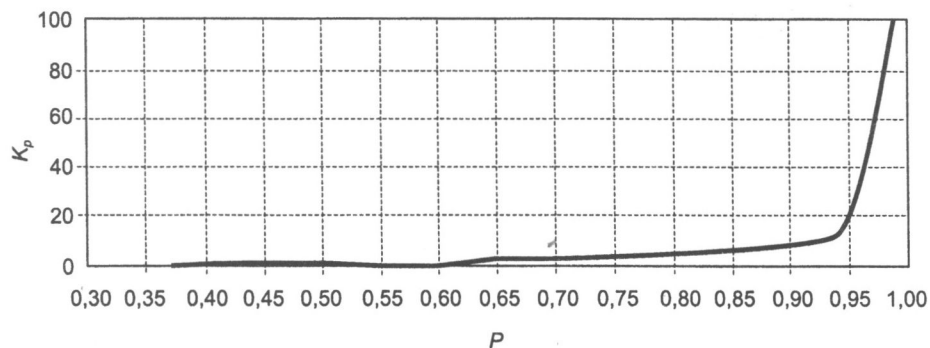
Dla obiektów masowego budownictwa przyjmuje się średni okres powrotu  $T$  równy przeciętnemu okresowi eksploatacji konstrukcji  $T_{ef}$ . W przypadku obiektów o wyższym znaczeniu, dla których określono prawdopodobieństwo  $P$  nieprzekroczenia (nieprzewyższenia) granicznej obliczeniowej wartości obciążenia śniegiem w czasie ich eksploatacji, przyjmuje się

$$T = T_{ef} K_p \quad (18)$$

gdzie:  $K_p$  – współczynnik zależny od prawdopodobieństwa  $P$  nieprzewyższenia granicznej obliczeniowej wartości obciążenia śniegiem (rys. 2).



Rys. 1. Zależność współczynnika  $\gamma_{fm}$  od okresu powrotu  $T$  [6]  
 Fig. 1. Dependence of  $\gamma_{fm}$  on return period  $T$  [6]



Rys. 2. Zależność współczynnika  $K_p$  od prawdopodobieństwa  $P$  nieprzewyższenia granicznej obliczeniowej wartości obciążenia śniegiem w okresie eksploatacji konstrukcji [6]  
 Fig. 2. Dependence of the coefficient  $K_p$  on the probability  $P$  of nonexceedance of the design ultimate value of snow load during the exploitation time of a structure [6]

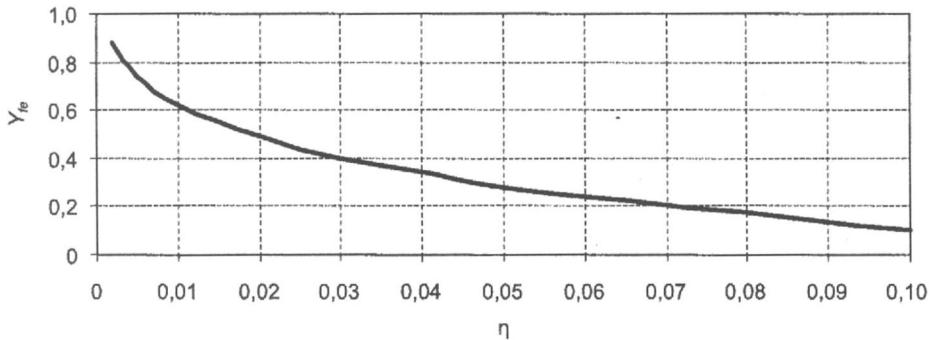
Eksploatacyjne obciążenie obliczeniowe obliczane jest z zależności

$$S_e = \gamma_{fe} S_0 C \quad (19)$$

gdzie:  $S_0, C$  – jak wyżej,

$\gamma_{fe}$  – współczynnik niezawodności uzależniony od eksploatacyjnego znaczenia konstrukcji, przedstawiony poniżej na wykresie (rys. 3).

Parametr  $\eta$  określa część czasu użytkowania konstrukcji, podczas którego mogą być naruszone warunki granicznego stanu nośności. Dla obiektów powszechnego budownictwa przyjmuje się  $\eta = 0,02$ .



Rys. 3. Zależność współczynnika  $\gamma_{fe}$  od  $\eta$   
Fig. 3. Dependence of the coefficient  $\gamma_{fe}$  on  $\eta$

Quasi stałe obciążenie obliczeniowe określane jest z zależności

$$S_p = (0,4 S_0 - \bar{S}) C \quad (20)$$

gdzie:  $S_0$  i  $C$  – jak wyżej,  
 $\bar{S} = 160 \text{ Pa}$ .

Współczynnik  $C$  określany jest z zależności

$$C = \mu C_e C_{alt} \quad (21)$$

gdzie:  $\mu$  – współczynnik przejścia od obciążenia śniegiem gruntu na obciążenie śniegiem dachu; określa się go w zależności od kształtu dachu i przyjętego rozkładu obciążenia,

$C_e$  – współczynnik uwzględniający sposób użytkowania dachu, tj. oczyszczanie dachu ze śniegu, stapanie śniegu itp.; jest ustalany w fazie projektowania,

$C_{alt}$  – współczynnik uwzględniający wysokość położenia konstrukcji nad poziomem morza

$$C_{alt} = 1 \text{ dla } H < 0,5 \text{ km} \quad (22)$$

$$C_{alt} = 1,4 H + 0,3 \text{ dla } H \geq 0,5 \text{ km} \quad (23)$$

## 4. Konceptualne modele obciążenia śniegiem dachów

### 4.1. Model Isyumova

Prawdopodobnie pierwszy, ogólny model obciążenia śniegiem dachu przedstawił Isyumov w swej pracy doktorskiej [8]. W modelu tym proces kształtowania się obciążenia śniegiem dachu jest sumowaniem się opadów śniegu w ciągu zimy oraz jego ubytków w wyniku działania wiatru, topnienia i parowania. Obciążenie śniegiem dachu  $R(t)$  w czasie  $t$  może być przedstawione w postaci

$$R(t) = \sum_{i=1}^{n(t)} \Delta R_i - \int_0^t \Delta r(\tau) d\tau \quad (24)$$

gdzie:  $\Delta R_i$  – przyrost obciążenia śniegiem dachu w wyniku opadu  $i$ ,  
 $n(t)$  – liczba opadów śniegu, do czasu  $t$  łącznie,  
 $\Delta r(\tau)$  – ubytek obciążenia śniegiem dachu w wyniku oddziaływania wiatru i procesów termodynamicznych.

Do prognozowania obciążenia konieczne jest ustalenie zależności funkcyjnych między przyrostem  $\Delta R_i$  na dachu a różnymi zmiennymi meteorologicznymi. Typowe zależności mają postać

$$\Delta R = \Delta R(S, q_s, T, \gamma_s, V, \theta) \quad (25)$$

gdzie:  $S$  – opad śniegu,  
 $q_s$  – przyrost grubości pokrywy śnieżnej na dachu,  
 $T$  – temperatura powietrza,  
 $\gamma_s$  – gęstość świeżego śniegu,  
 $V$  – prędkość wiatru,  
 $\theta$  – kierunek wiatru.

We wzorze tym opad śniegu jest wyrażony w postaci grubości warstwy, a przyrost śniegu – w postaci grubości warstwy na godzinę.  $\Delta R$  może dotyczyć całego dachu lub jego części.

Ubytek śniegu może być zapisany w postaci

$$\int_0^t \Delta r(\tau) d\tau = \int_0^t (\Delta r_v(\tau) + \Delta r_T(\tau)) d\tau \quad (26)$$

gdzie:  $\Delta r_v$  – ubytek obciążenia śniegiem dachu w wyniku działania wiatru,  
 $\Delta r_T$  – ubytek obciążenia śniegiem dachu w wyniku topnienia i parowania.

Typowy ubytek obciążenia śniegiem dachu można przedstawić w postaci

$$\Delta r = \Delta r(R, V, \theta, T, q_N, \chi) \quad (27)$$

gdzie:  $R$  – obciążenie śniegiem dachu,  
 $q_N$  – strumień ciepła netto otrzymywany przez warstwę śniegu,  
 $\chi$  – wilgotność względna.

Pozostałe oznaczenia jak we wzorze (25)

Zastosowanie tego modelu wymaga określenia zależności funkcyjnych odkładania się śniegu i jego ubytków w kategoriach głównych zmiennych meteorologicznych i rachunku prawdopodobieństwa. Takie zależności są podane w pracy [8]. Histogram dziennych sum opadów jest aproksymowany rozkładem Weibulla, ten sam rozkład zastosowano do aproksymacji średnich prędkości wiatru z różnych sektorów kierunkowych oraz różnych miesięcy zimowych. Rozkład normalny zastosowano do opisu temperatury powietrza. Chociaż możliwa jest symulacja obciążenia śniegiem z zastosowaniem danych uzyskanych z licznych pomiarów w warunkach naturalnych, to według autorów w pewnych przypadkach badania modelowe dają więcej możliwości oceny obciążenia śniegiem. Podane zostały przykłady badań w kanale wodnym.

Jako procedurę końcową proponuje się zastosowanie numerycznej metody Monte Carlo do symulacji obciążenia śniegiem dachu w ciągu zimy, dzień po dniu. Powtarzając obliczenia dla wielu zim, można uzyskać maksymalne roczne wartości obciążenia śniegiem dachu. Następnie, posługując się metodami statystyki matematycznej i rachunku prawdopodobieństwa, należy wyznaczyć wartości obciążenia o wymaganym okresie powrotu.

## 4.2. Model opracowany przez CIB

W pracy powstałej pod auspicjami CIB [10] zacytowano model Isyumova jako przykład modelu obciążenia śniegiem dachu w nieco innym zapisie niż wzór (24)

$$s_r(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^{N(t)} [\Delta s_i - \Delta r_i(x, y, z, \Delta s_i)] - \int_0^t r(x, y, z, \tau; s_\tau) d\tau \quad (28)$$

- gdzie:  $x, y, z$  – współrzędne określające położenie i wzniesienie jednostkowej powierzchni dachu,  
 $s_r(x, y, z, t)$  – obciążenie śniegiem dachu, na jednostkę powierzchni, jako funkcja jej położenia i czasu  $t$  (zakłada się, że  $t = 0$  w dniu pierwszego opadu śniegu),  
 $\Delta s_i$  – przyrost obciążenia śniegiem w wyniku  $i$ -tego opadu na fikcyjny, poziomy zimny dach przy braku wiatru,  
 $N(t)$  – punkt czasu, do którego opisuje się opady śniegu,  
 $\Delta r_i(x, y, z; \Delta s_i)$  – ubytek obciążenia śniegiem dachu w wyniku działania czynników zakłócających  $i$ -ty opad śniegu (np. wiatru podczas opadu),  
 $r(x, y, z; s_r)$  – funkcja opisująca ubytek śniegu z powodu:

- topnienia i parowania pod wpływem zewnętrznych warunków klimatycznych i przenikania ciepła przez dach,
- ześlizgu, często podczas topnienia; obciążenie śniegiem może wzrosnąć w wyniku zsunięcia się śniegu z wyższego dachu, co może dać ujemną wartość  $r$ ,
- wpływu wiatru wiejącego między kolejnymi opadami śniegu, przenoszącego śnieg na dachu lub unoszącego go z dachu; zasy py śniegu mogą dawać ujemne wartości  $r$  na częściach dachu.

Autorzy stwierdzają, że brak jest bezpośrednich, ciągłych pomiarów obciążenia śniegiem dachów, z wyjątkiem pomiarów punktowych w czasie, zatem trudno wykorzystać model przedstawiony za pomocą wzoru (28) do prognozowania obciążenia śniegiem. Może on być postrzegany przede wszystkim jako model konceptualny.

Ponieważ dostępne dane meteorologiczne odnoszą się do pokrywy śnieżnej na gruncie, to model obciążenia śniegiem musi się na nich opierać. Obciążenie śniegiem dachu może być zatem przedstawione w postaci

$$s_r(x, y, z, t) = \rho(x, y, z, t) s_g(t) \quad (29)$$

gdzie:  $\rho(x, y, z, t)$  – współczynnik konwersji między obciążeniem gruntu a obciążeniem dachu,

$s_g(t)$  – obciążenie śniegiem gruntu.

Współczynnik konwersji zależy od wiatru, temperatury, kształtu dachu i jego ekspozycji.

Według autorów raportu podstawowe dane rejestrowane przez stacje meteorologiczne to zapas wody w śniegu lub grubość pokrywy śnieżnej. Zapas wody może być bezpośrednio przekształcony w obciążenie śniegiem gruntu, bez rozpatrywania jego gęstości. Z tego powodu jest on najchętniej wykorzystywany do statystycznych analiz obciążenia śniegiem.

Większość stacji meteorologicznych mierzy jednak tylko grubość pokrywy śnieżnej. Dotyczy to przede wszystkim krajów Europy Zachodniej. W związku z tym grubość pokrywy śnieżnej należy przeliczyć na obciążenie śniegiem za pomocą związku

$$s_g(t) = \int_0^{d(t)} \gamma(z, t) dz = \bar{\gamma}[d(t), t] d(t) \quad (30)$$

gdzie:  $\gamma(z, t)$  – ciężar objętościowy śniegu,

$d(t)$  – grubość pokrywy śnieżnej,

$z$  – głębokość mierzona od powierzchni śniegu,

$\bar{\gamma}[d(t), t]$  – średni ciężar objętościowy w warstwie grubości  $d$ , w chwili  $t$ .

Wykorzystując równanie (28), przedstawiono model obciążenia śniegiem gruntu w postaci

$$s_g(t) = \sum_{i=1}^{N(t)} \Delta s_i - \int_0^t r_g[\tau; s_g(\tau)] d\tau \quad (31)$$

gdzie  $r_g[\tau; s_g(\tau)]$  – ubytek śniegu na gruncie spowodowany przez jego topnienie i odparowanie, tylko pod wpływem warunków klimatycznych.

Pozostałe oznaczenia jak we wzorze (26).

Zakłada się, że zmienne (w funkcji czasu) w równaniu (31) są stałe na obszarze gruntu, na którym występują jednorodne warunki, na przykład na otwartym polu.

W wielu przypadkach zmienność obciążenia śniegiem w czasie nie jest wymagana do celów projektowania konstrukcji. Wówczas dane obciążenia śniegiem odnoszą się do wartości maksymalnych rocznych ciężarów pokrywy śnieżnej albo jej grubości, które należy aproksymować odpowiednim rozkładem prawdopodobieństwa. Do tego celu wybrano rozkład gamma. W sytuacji gdy kilka skrajnych wartości rozkładu empirycznego znacznie przewyższa wartości prognozowane wynikające z przyjętego do aproksymacji rozkładu, zaleca się użycie mieszanych rozkładów prawdopodobieństwa. Jako przykład

podano między innymi dane z Chojnic [11], do których aproksymacji zalecono rozkład gamma w dwóch wersjach, o różnych parametrach.

Dystrybuanta rozkładu prawdopodobieństwa  $F(s)$ , który ma uwzględniać efekt mieszane-  
go rozkładu oraz brak opadów śniegu w niektórych latach, może być zapisana w postaci

$$F(s) = 1 - p + p [p_1 F_1(s) + p_2 F_2(s)] \quad (32)$$

gdzie:  $p$  – prawdopodobieństwo, że obciążenie śniegiem wystąpi,  
 $F_1(s)$  – dystrybuanta rozkładu populacji zdarzeń umiarkowanych,  
 $F_2(s)$  – dystrybuanta rozkładu populacji zdarzeń wyjątkowych,  
 $p_1$  – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń umiarkowanych,  
 $p_2$  – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń wyjątkowych,  $p_2 = 1 - p_1$ .

W dwóch przykładach przyjęto  $p = 1$  oraz po dwie funkcje rozkładu gamma,  $F_1(s)$  i  $F_2(s)$ .

W raporcie podano zależności ciężaru objętościowego śniegu od grubości pokrywy śnieżnej, zalecane do wykorzystania, jeżeli zasoby danych pomiarowych obejmują tylko maksima roczne grubości pokrywy śnieżnej, a także zależność grubości pokrywy śnieżnej, średniej z maksimów rocznych, od wysokości nad poziomem morza. Według raportu [10] współczynnik konwersji rocznych maksimów obciążenia śniegiem dachów można podzielić na dwa współczynniki, zgodnie ze wzorem

$$\rho(x, y, z) = \rho_t \rho_a(x, y, z) \quad (33)$$

gdzie:  $\rho_t$  – współczynnik stochastyczny ujmujący obciążenie śniegiem na całym dachu; opisuje równomiernie rozłożone obciążenie śniegiem,  
 $\rho_a$  – stochastyczny współczynnik rozkładu obciążenia, ujmujący przestrzenną zmienność intensywności obciążenia na dachu; średnia wartość  $\rho_a = 1$ .

Współczynnik  $\rho_t$  jest przedstawiony wzorem

$$\rho_t = \int \rho \frac{dA}{A} \quad (34)$$

gdzie  $A$  – pole powierzchni rzutu dachu na płaszczyznę poziomą.

Zastosowane łącznie, współczynniki  $\rho_t$  i  $\rho_a$  opisują nierównomierny rozkład obciążenia śniegiem.

Współczynnik  $\rho_t$  można zapisać w postaci

$$\rho_t = \rho_0 E G T \varepsilon \quad (35)$$

gdzie:  $\rho_0$  – średnia wartość stochastycznej zmiennej  $\rho_t$  dla poziomego dachu płaskiego nad ogrzewanym i normalnie izolowanym budynkiem, częściowo osłoniętym od wiatru; wartość  $\rho_0 = 0,47$  według CIB,

$E$  – deterministyczny współczynnik ekspozycji,

$G$  – współczynnik deterministyczny zależny od geometrii dachu i materiału poszycia,

$T$  – współczynnik termiczny,

$\varepsilon$  – zmienna stochastyczna opisująca niepewność współczynnika  $\rho_t$  o średniej wartości równej 1.

Współczynniki  $E$ ,  $G$  i  $T$  mogłyby być w zasadzie zmiennymi losowymi (w oryginale: stochastycznymi), jednakże efekty, które opisują, nie są wzajemnie niezależne. Efekt

ekspozycji może na przykład zależeć od kształtu dachu. Dlatego rozdzielanie niepewności jest trudne, a obecny zasób danych pomiarowych niewystarczający, aby takie rozdzielanie było możliwe. Z tego powodu wybrano jeden współczynnik  $\varepsilon$ , aby opisać łączną niepewność.

W raporcie [10] zacytowano trzy wartości współczynnika  $E$  oraz podano przebieg zależności współczynnika  $G$  od kąta spadku dachu dwuspadowego w postaci prostej łamanej. Jeżeli kąt spadku  $\beta \leq 25^\circ$ , to  $G = 1$ , jeżeli  $\beta = 60^\circ$ , to  $G = 0$ . Podano dwie wartości współczynnika termicznego.

Więcej uwagi poświęcono niepewności współczynnika konwersji  $\rho_f$  wyrażonej za pomocą zmiennej losowej  $\varepsilon$ . Zaleca się, aby jako rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej  $\varepsilon$  użyć rozkładu beta. Parametry rozkładu powinny być tak dobrane, aby współczynnik konwersji zawierał się między 0 a 1, a wartość średnia  $\varepsilon$  była równa 1.

Współczynnik nierównomiernego rozkładu obciążenia śniegiem jest wyrażony w postaci

$$\rho_a = [1 + C(x,y,z) Z] v(x,y,z) \quad (36)$$

gdzie:  $C(x,y,z)$  – współczynnik deterministyczny, który opisuje zmienność obciążenia śniegiem na dachu; dla całego dachu jest,  $\int C dA = 0$

$Z$  – zmienna losowa opisująca niepewność statystyczną  $C$ ; wartość średnia jest równa 1, inne cechy, jak typ rozkładu i odchylenie standardowe, mogą się zmieniać w obrębie dachu,

$v(x,y,z)$  – pole losowe opisujące niesystematyczną zmienność obciążenia śniegiem w obrębie dachu.

Pole losowe opisuje korelację przestrzenną obciążenia śniegiem dachu. Jeżeli odległość między dwoma punktami dachu rośnie, to korelacja między wartościami  $\rho$  w tych punktach maleje.

### 4.3. Model Joint Committee for Structural Safety

Według JCSS Probabilistic Model Code [9] obciążenie śniegiem dachów  $S_r$  jest wyrażone wzorem

$$S_r = S_g r k^{h/h_r} \quad (37)$$

gdzie:  $S_g$  – obciążenie śniegiem gruntu (wartość charakterystyczna),

$r$  – współczynnik konwersji z obciążenia śniegiem gruntu na obciążenie dachu,

$h$  – wysokość położenia (budynku) nad poziomem morza, m,

$h_r$  – wysokość odniesienia nad poziomem morza ( $h_r = 300$  m),

$k$  – współczynnik:  $k = 1,25$  dla miejscowości leżących na wybrzeżu,  $k = 1,5$  dla obszarów górskich.

Obciążenie śniegiem gruntu  $S_g$  zależy od czasu. W zasięgu wydzielonego obszaru o podobnych warunkach klimatycznych i takim samym położeniu nad poziomem morza obciążenie śniegiem gruntu przyjmuje wartość stałą.  $S_g$  określa się z pomiarów równoważnika wodnego śniegu. Jeśli takich danych brakuje, to  $S_g$  jest wyznaczane ze wzoru

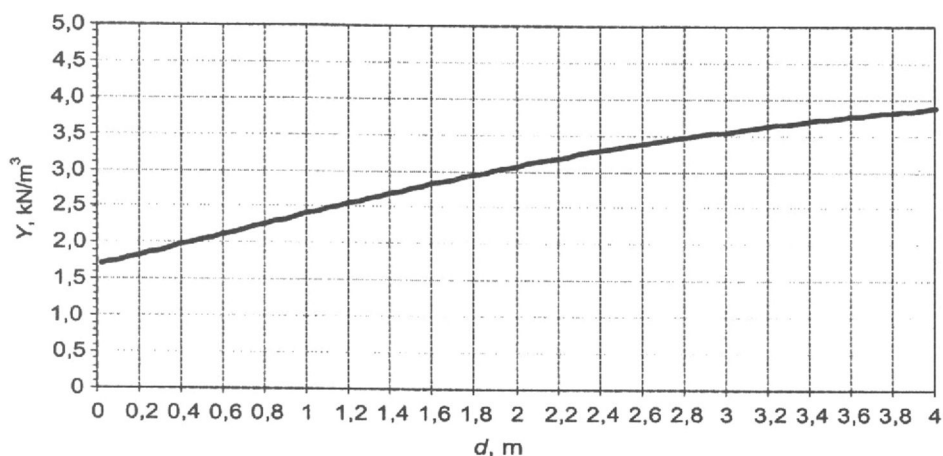
$$S_g = d \gamma (d) \quad (38)$$

gdzie:  $d$  – wysokość pokrywy śnieżnej,  
 $\gamma(d)$  – średnia wartość gęstości śniegu określona za pomocą wyrażenia

$$\gamma(d) = \frac{\gamma \lambda(\infty)}{d} \ln \left\{ 1 + \frac{\gamma(0)}{\gamma(\infty)} \left[ \exp\left(\frac{d}{\lambda}\right) - 1 \right] \right\} \quad (39)$$

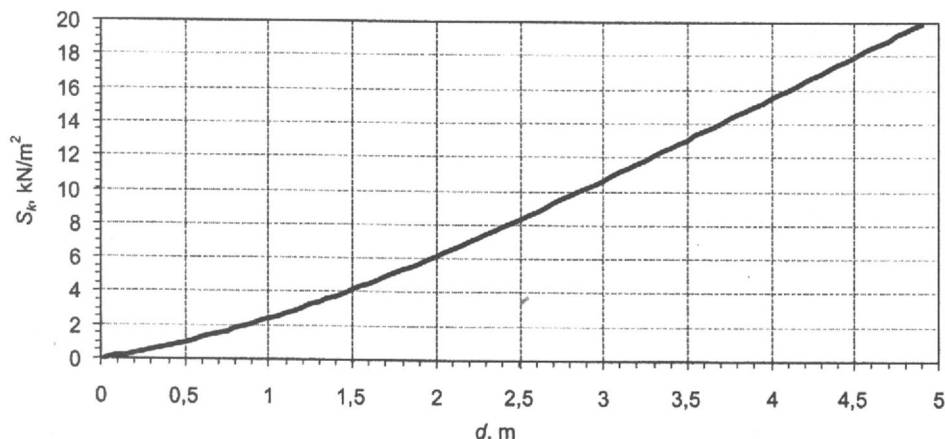
gdzie:  $\gamma(\infty) = 5 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma(0) = 1,7 \text{ kN/m}^3$ ,  $\lambda = 0,85 \text{ m}$ .

Postać funkcji  $\gamma(d)$  przedstawiono niżej na rysunku 4.



Rys.4. Zależność gęstości (ciężaru objętościowego) śniegu  $\gamma$  od grubości pokrywy śnieżnej  $d$  według JCSS [9]

Fig. 4. Dependence of the density of snow  $\gamma$  on the depth of snow cover according to JCSS [9]



Rys. 5. Zależność wartości charakterystycznej obciążenia śniegiem gruntu  $S_k$  od grubości pokrywy śnieżnej  $d$  [9]

Fig. 5. Dependence of the characteristic value of snow load on the ground  $S_k$  on the depth  $d$  of snow cover [9]



Ze wzorów (38) i (39) można bezpośrednio określić  $S_g$ . Zależność  $S_g$  od grubości pokrywy śnieżnej  $d$  według JCSS została przedstawiona na rysunku 5.

Probabilistyczny model obciążenia śniegiem gruntu jest przedstawiony jako:

- funkcja rozkładu prawdopodobieństwa obciążenia dla całkowitego czasu jego oddziaływania  $T$ ,
- funkcja rozkładu prawdopodobieństwa maksymalnych rocznych wartości obciążenia  $S_{g\max}$ .

Funkcje rozkładu  $F_{S_{g\max}}$  o parametrach:  $\mu$  – wartość średnia i  $V$  – współczynnik zmienności, są określone dla klimatów:

- morskiego:  $F_{s1}, \mu_1, V_1$ ,
- kontynentalnego:  $F_{s2}, \mu_2, V_2$ .

Do opisu  $F_{s1}$  i  $F_{s2}$  wybrano rozkład gamma. W przypadku kiedy klimat jest mieszany, tzn. częściowo w danym miejscu zaznacza się oddziaływanie klimatu morskiego (udział czasu obserwacji  $p$ ), a na oddziaływanie klimatu kontynentalnego przypada  $(1-p)$  czasu obserwacji, to wypadkowy rozkład prawdopodobieństwa mieszanego klimatu  $F_s$  daje się zapisać za pomocą wzoru

$$F_s = (1-p) F_{s1} + p F_{s2} \quad (40)$$

Współczynnik konwersji  $r$  jest określany z zależności

$$r = \eta_a C_e C_t + C_r \quad (41)$$

gdzie:  $\eta_a$  – współczynnik kształtu określony jako zmienna losowa,  
 $C_e$  – współczynnik ekspozycji określony jako wielkość deterministyczna,  
 $C_t$  – współczynnik termiczny,  
 $C_r$  – współczynnik redystrybucji (na skutek działania wiatru), określony jako zmienna losowa; w przypadku braku oddziaływania wiatru  $C_r = 0$ .

Iloczyn współczynników  $\eta_a C_e$  zależy od kąta nachylenia dachu  $\alpha$ . Odpowiednie zależności podano w tabelicy 1, gdzie:  $u(H)$  – średnia tygodniowa prędkość wiatru na poziomie dachu  $H$ .

Tablica 1. Zależności iloczynu  $\eta_a C_e$  od kąta spadku dachu  
 Table 1. Dependence of the product  $\eta_a C_e$  on the slope of a roof

Kąt spadku dachu	$\eta_a C_e$
$\alpha = 0^\circ$	$\eta_a C_e = 0,4 + 0,6 \exp[-0,1 u(H)]$
$\alpha = 25^\circ$	$\eta_a C_e = 0,7 + 0,3 \exp[-0,1 u(H)]$
$\alpha = 60^\circ$	$\eta_a C_e = 0$

Współczynnik termiczny  $C_t$  z założenia redukuje obciążenie śniegiem dachów o dużej przepuszczalności ciepła. Dotyczy to w szczególności dachów o szklanym przekryciu.  $C_t = 1$  dla budynków, które nie są ogrzewane lub mają doskonałą izolację cieplną dachu. Dla większości dachów przyjmuje się  $C_t = 0,8$ .

Współczynnik redystrybucji  $C_r$  uwzględnia zjawisko przenoszenia śniegu na skutek działania wiatru i innych przyczyn. W przypadku dachów jednospadowych zjawisko to pomija się, w przypadku zaś symetrycznych dachów dwuspadowych  $C_r$  z założenia jest stały i równy  $\pm C_{r0}$  dla każdej połaci. Przyjmuje się, że  $C_{r0}$  ma rozkład  $\beta$  (beta) o średniej  $\mu(C_{r0})$  i współczynniku zmienności równym 1. Wartości dotyczące innych typów dachów zostały podane EN 1991-1-3 [1] i ISO 4355 [2].

#### 4.4. Model Otstavnova i Rozenberga

Otstavnov i Rozenberg przedstawili model obciążenia śniegiem, który w czytelny sposób ujmuje proces kształtowania się obciążenia śniegiem dachów [12]. Z tego powodu wart jest zacytowania, chociaż dotyczy tylko dachów płaskich o dużej rozpiętości.

Obciążenie śniegiem płaskiego dachu może być wyznaczone ze wzoru

$$P_f = P_1 - P_2 - a P_3 + P_4 \quad (42)$$

w którym:  $P_f$  – rzeczywiste obciążenie dachu śniegiem w czasie zimy,

$P_1$  – ciężar śniegu spadłego w czasie zimy,

$P_2$  – ciężar śniegu przeniesionego przez wiatr,

$P_3$  – ciężar śniegu stopionego na dachu,

$a$  – współczynnik ujmujący ubytek stopionego śniegu z dachu (odpływ wody powstałej ze stopienia śniegu),

$P_4$  – ciężar lodu powstałego na dachu jesienią przed opadami śniegu.

Model ten, chociaż zapewne nie znalazł praktycznego zastosowania, odpowiada sytuacji, jaka była na dachu hali MTK w Chorzowie przed jej katastrofą [13].

Przy korzystaniu z tego modelu konieczna jest znajomość intensywności opadów śniegu w czasie całej zimy, prędkości wiatru w czasie opadów i po nich, a także liczby takich zdarzeń w ciągu zimy. Autorzy przedstawiają wyniki analizy danych z 24 sztormów śnieżnych i analizy obciążenia śniegiem płaskiego dachu o powierzchni około 1000 000 m<sup>2</sup> w rejonie Moskwy.

Model ten jest wart dalszego rozwinięcia, między innymi z tego względu, że w przypadku dachów innych niż płaskie uwzględnić także wzrost obciążenia w wyniku naniesienia śniegu przez wiatr.

#### 5. Podsumowanie

Przedstawione wyżej modele obciążenia śniegiem dachów cechuje różny stopień złożoności. Dotyczy on przede wszystkim przyjętych współczynników konwersji. Ich różnorodność oraz sposoby określania odzwierciedlają wielość pomysłów lansowanych przez zespoły opracowujące normy obciążenia śniegiem. Szczególnie rozbudowany jest model JCSS, w którym rozróznilo wpływy klimatów: morskiego, kontynentalnego i mieszanego na obciążenie śniegiem oraz przewidziano do obliczeń złożony wzór określający gęstość śniegu w funkcji grubości pokrywy śnieżnej. Uzależniono także wartości współczynników konwersji od średniej z tygodnia prędkości wiatru na poziomie dachu. Dostęp do tak specyficznych danych pomiarowych może sprawiać trudności.

Można zauważyć, że autorzy przedstawionych modeli chcieli, aby miały one charakter naukowy, były oparte na rachunku prawdopodobieństwa, wprowadzając jednocześnie pewne stałe o nieznanym pochodzeniu – a podstawy doświadczalne pozostają najczęściej bardzo skromne lub wręcz niezbrane.

W świetle przedstawionych wyżej sposobów określania obciążenia śniegiem dachów model przyjęty w normie europejskiej [1] jest obecnie najbardziej czytelny i łatwy do praktycznego wykorzystania. Jednakże inne modele powinny być rozwijane, aby można było uzyskać model najwłaściwiej ujmujący rzeczywiste obciążenie śniegiem dachów.

## Bibliografia

- [1] EN 1991-1-3:2003 Eurocode 1 Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads (polska wersja: PN-EN 1991-1-3:2005)
- [2] ISO 4355:1998 Basis for design of structures – Determination of snow loads on roofs
- [3] ASCE 7-02 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE 2002
- [4] National Building Code of Canada. NBC 2005; Users Guide – NBC 2005 Structural Commentaries (Part 4 of Division B)
- [5] SNiP 2.01.07-85\* Stroitelnyje normy i prawa. Nagruzki i wozdziejstwa. Moskwa 1987
- [6] DBN W.1.2-2:2006 Nagruzki i wozdziejstwa, Sniegowyje nagruzki (norma ukraińska)
- [7] AIJ Recommendations for loads on buildings, Chapter 5: Snow loads.- Architectural Institute of Japan
- [8] Isyumov N., Davenport A.G.: A Probabilistic Approach to the Prediction of Snow Loads, *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 1, No 1, 1974, ss. 28–49
- [9] JCSS Probabilistic Model Code – Part 2: Load Models 2.12 Snow Load, 99-CON-DYN/M0097 Feb 2001
- [10] CIB Report: Actions on Structures. Snow Loads, Publication 141 (b. r. wyd.)
- [11] Żurański J. A., Sobolewski A.: Some problems of snow loads on roofs. CIB Symposium on Building Climatology, Moscow 1982, Proceedings, Part III
- [12] Otstavnov, V.A., Rozenberg L.S.: Consideration of Wind Effect in Standardization of Snow Load. First International Conference on Snow Engineering, Santa Barbara 1988, CRREL Special report 89-6, 1989
- [13] Żurański J. A., Sobolewski A.: Obciążenie śniegiem w Polsce. Prace naukowe Instytutu Techniki Budowlanej, Monografie. Warszawa 2009

### MODELS OF THE SNOW LOAD ON ROOFS

#### Summary

The paper deals with the different models of snow loads on roofs being in use in several codes of practice as well as some conceptual models published by their authors. In general, two main models can be distinguished: multiplicative and additive. The first is more popular, especially in codes and standards, including Eurocode. The second model, presented in the ISO Standard, has been adopted in South Korea and partially in Japan. Models used in American Standard (ASCE), Canadian and Ukrainian are presented in some details. Conceptual models are sometimes rather sophisticated and difficult to practical use. In this context Eurocode for snow loads seems to be clearer.

*Praca wpłynęła do Redakcji 10 III 2010*