

# Analiza porównawcza rozkładu obciążenia śniegiem dachów walcowych według wybranych norm światowych

## The comparative analysis of the snow load distribution on cylindrical roofs according to selected international design standards

Studiując zalecenia międzynarodowych norm projektowych oraz norm krajów, w których występują obfite opady śniegu, można wyróżnić dwa modele obliczeniowe określające obciążenie dachu śniegiem: stosowany w większości norm i opracowań model multiplikatywny, w którym wynikiem jest iloczyn obciążenia śniegiem gruntu i współczynników korygujących, oraz będący podstawą normy [1] mieszany model addytywno-multiplikatywny, który jest sumą kilku składowych obciążenia śniegiem. Formułując niniejsze opracowanie, porównano trzy normy projektowe: polską normę projektową [2], europejską normę projektową [3] wraz z załącznikiem polskim oraz amerykańską normę projektową [4].

Studying the recommendations of international design standards and design standards of countries with heavy snowfall, there are two computational models defining the snow load on roofs: the multiplicative model applied in most design standards, in which the result is a product of the snow load on ground and correction factors, and the cumulative multiplicative mixed model based on the design standard [1], which is the sum of several components of the snow load. In the paper three design standards concerning snow load are compared: Polish Design Standard [2], Eurocode [3] and US Design Standard [4].

**A** analizę przeprowadzono dla dwóch wariantów wyniosłości przekrycia łukowego: 7 m (stanowiącą 35% podstawy łuku,  $f = 0,35L$ ) i 3 m (stanowiącą 15% podstawy łuku,  $f = 0,15L$ ). Rozpiętość podpór w obu przypadkach wynosiła 20 m. Prześlędzono kolejno ustalanie wartości charakterystycznych obciążenia

i tworzenie kombinacji obliczeniowych oraz sprawdzono warunek nośności z uwzględnieniem normowych procedur wymiarowania. Całość uzupełniono odniesieniami do wytycznych z innych krajów, wskazując podobieństwa i alternatywny sposób podejścia na poszczególnych etapach obliczeń.

**Zalecenia norm projektowych służące ustaleniu ciężaru pokrywy śnieżnej zalegającej na dachach**  
**Procedura wg PN-80/B-02010 – norma polska**

Wartość obciążenia śniegiem  $S_k$  ustala się według wzoru:

$$S_k = Q_k * C,$$



gdzie:  $Q_s$  – wartość obciążenia śniegiem gruntu ustalana w zależności od położenia geograficznego (strefa śniegowa) i wysokości nad poziomem morza,  $C$  – współczynnik zależny od kształtu dachu, określający rozkład zalegającego śniegu. Istotą modelu multiplikatywnego, na którym bazuje norma, jest porównanie dwóch przypadków obciążeniowych. Dla równomiernego rozkładu obciążenia współczynnik przyjmuje stałą wartość  $C = 0,8$  na całej szerokości dachu. Do wyznaczenia skutków asymetrycznego obciążenia dachu, spowodowanego wg założeń normy wpływem wiatru, wykorzystano rozkład trójkątny, a współczynnik maleje wraz ze spadkiem nachylenia  $C = 0,3 + 10 * (f/L) < 2,3$ . Graniczny kąt nachylenia połączy, powyżej którego śnieg ulega całkowitemu zeslizgnięciu, dla obu przypadków wynosi  $60^\circ$ . Spośród dwóch przypadków obliczeniowych należy wybrać bardziej niekorzystny.

**Procedura wg PN-EN 1991-1-3:2005 – norma europejska**

Obciążenie śniegiem  $S$  określa wzór:

$$S = \mu_i * C_e * C_t * S_k$$

gdzie:

- $\mu_i$  – współczynnik zależny od kształtu dachu i rozkładu obciążenia,
- $C_e$  – współczynnik ekspozycji zależny od wystawienia na działanie wiatru,
- $C_t$  – współczynnik termiczny zmniejszający wartość obciążenia wskutek uciekającego przez dach ciepła,
- $S_k$  – wartość obciążenia śniegiem gruntu, ustala się ją w zależności od położenia

geograficznego (strefa śniegowa) i wysokości nad poziomem morza.

Współczynnik kształtu  $\mu_i$  odzwierciedla swobodny rozkład śniegu na dachu wraz z możliwością jego przemieszczenia przez wiatr, z pominięciem wyjątkowych zasp śnieżnych od wystających elementów lub budynków sąsiadujących. Konieczna jest analiza dwóch przypadków rozmieszczenia śniegu: symetrycznego i niesymetrycznego. Dla obciążenia symetrycznego, podobnie jak w normie [2], współczynnik przyjmuje wartość  $\mu_i = 0,8$ . Obciążenie niesymetryczne przedstawiono w postaci trójkątów równoramiennych, a wartość maksymalną ustalono, odmiennie niż w [2], w  $1/4$  rozpiętości dachu, co ilustruje rys. 2. Graniczny kąt zalegania śniegu wynosi  $60^\circ$ , a przypadkiem decydującym jest bardziej niekorzystny.

Współczynnik  $C_e$  pomaga ustalić wielkość pokrywy śnieżnej dachów w zależności od warunków terenowych otaczających obiekt. Wartości zamieszczone w normie wahają się od 0,8 dla płaskich obszarów bez przeszkód do 1,2 dla budowli otoczonych wysokimi drzewami lub znacznie niższych niż otaczający teren.

Topnienie zalegającego śniegu wskutek uciekającego przez dach ciepła odzwierciedla współczynnik  $C_t$ , przy czym redukcja obciążenia powinna być uwzględniana wyłącznie dla budynków źle izolowanych, których powierzchnia umożliwia odprowadzenie wody z topniejącego śniegu i jego swobodny zeslizg, jak np. szklarnie.

**Procedura wg ANSI/ASCE 7-93**

**– normy amerykańskie**

W normie amerykańskiej [4], wyznaczając obciążenie na dachy walcowe, należy poprzedzić obliczenia, ustalając wartość obciążenia przypadającego na dachy płaskie ze wzoru:

$$p_f = 0,7 * C_e * C_t * I * p_g$$

gdzie:

$C_e$  – współczynnik uwzględniający wystawienie na działanie wiatru, umożliwiający redukcję lub zwiększenie obciążenia śniegiem w zakresie sześciu wartości od 0,7 do 1,2,

$C_t$  – współczynnik zwiększający obciążenia w przypadku braku ogrzewania budynku lub jego najwyższej kondygnacji, przyjmowany odwrotnie niż w normie europejskiej [3].

Wartością wyjściową również jest  $C_t = 1,0$ , jednak ulega ona zwiększeniu dla budynków trwale nieogrzewanych i zadaszeń wolno stojących w zakresie od 1,0 do 1,3. Dla budynków słabo izolowanych ( $U > 2,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ), jak szklarnie i ogrody zimowe, współczynnik przyjmuje wartość 0,85.

$I$  – współczynnik konsekwencji zniszczenia,

$p_g$  – obciążenie śniegiem gruntu w funtach/stopę<sup>2</sup>, gdzie: 10 funtów/stopę<sup>2</sup> = 48,8 kg/m<sup>2</sup>.

Rozkład śniegu na dachach walcowych  $p_s$  uzyskuje się, mnożąc wartość  $p_f$  przez składową  $C_s$ . Współczynnik  $C_s$  ustalany jest na podstawie diagramów rozkładu w zależności od składowej  $C_t$  oraz kąta nachylenia stycznej powierzchni walcowej w punktach charakterystycznych: w miejscu rozpoczęcia zsuwu śniegu,  $30^\circ$  i  $70^\circ$ , i waha się od 1,0 do 0 (powyżej  $70^\circ$ ). Usytuowanie punktu inicjującego częściowy zsuw śniegu jest konsekwencją przeznaczenia budynku i izolacyjności przegrody (współczynnik  $C_t$ ), ale także obecności płatków śnieżnych i możliwości odprowadzenia śniegu poza powierzchnię dachu. Różnice pomiędzy poszczególnymi sytuacjami są dosyć znaczne. Wartości kątów przyjmuje się między  $5-15^\circ$  dla dachów umożliwiających swobodny zsuw do  $30-45^\circ$  dla przekryć go ograniczających. Postanowienie to w porównaniu do norm europejskich jest podejściem bardziej liberalnym. Zasadność założeń normy amerykańskiej mogą potwierdzać obser-

Kombinacja	Nazwa	Definicja
1 SGN	PN-B	1,1 * Obc. stałe + 1,50 * Śnieg
2 SGN	PN-EN	0,85 * 1,35 * Obc. stałe + 1,50 * Śnieg
3 SGN	ASCE	1,20 * Obc. stałe + 1,60 * Śnieg

Tab. 1. Kombinacje obciążeń

Norma	Współczynnik materiałowy	Moment zginający	Współczynnik wytyżenia [M x v <sub>f</sub> ]	Stosunek
PN-B	v <sub>f</sub> = 1,1	M = 8,221 kNm	Mw = 9,043 kNm	1,00
PN-EN	v <sub>f</sub> = 1,0	M = 8,850 kNm	Mw = 8,850 kNm	0,97
ASCE	v <sub>f</sub> = 1/0,9	M = 10,38 kNm	Mw = 11,533 kNm	1,11

Tab. 2. Porównanie wyników – poziom wytyżenia dla łuku ł1

wacje dachów w okresie zimowym. Widok wolnego od pokrywy śnieżnej dachu łukowego, podobnie jak tworzenie się zasp śnieżnych i nawisów lodowych przy okapach wiat (co zostało uwzględnione, poprzez zwiększenie współczynnika  $C_e$ ), nie jest zjawiskiem rzadkim.

Asymetryczny rozkład pokrywy śnieżnej tworzy się w oparciu o założenie, że śnieg z połaci nawietrznej został w całości zdmuchnięty przez wiatr. Natomiast obciążenie połaci zawietrznej zmienia się liniowo i osiąga wartość maksymalną  $2p_s/C_e$  przy kącie  $30^\circ$ , jak na rys. 2. Wartość obciążenia śniegiem w kalenicy wynosi  $0,5p_r$ . Powyżej kąta  $70^\circ$  obciążenie śniegiem nie występuje.

### **Zalecenia wg SNiP 2.01.07-85 wraz z poprawką z 2003 roku – norma rosyjska**

Norma [7], stworzona na potrzeby projektowania na terenie byłego ZSRR, stosowana jeszcze do niedawna przez projektantów rosyjskich, w wielu aspektach pokrywała się z polską normą [2]. Multiplikatywny model wyznaczania obciążenia śniegiem został ograniczony do jednego wzoru:  $S = S_g * \mu$ , gdzie ciężar śniegu na gruncie zostaje skorygowany współczynnikiem zależnym od kształtu dachu. Swobodnie zalegający śnieg na dachach walcowych został przedstawiony zastępczym modelem w kształcie paraboli o wartości maksymalnej 1,0. Asymetryczny rozkład obciążenia pokrywa się z propozycją normy [2]. Graniczny kąt zalegania śniegu, inaczej niż w pozostałych przytoczonych normach, wynosił  $50^\circ$ .

### **Zalecenia wg ISO 4355:1998 – norma międzynarodowa**

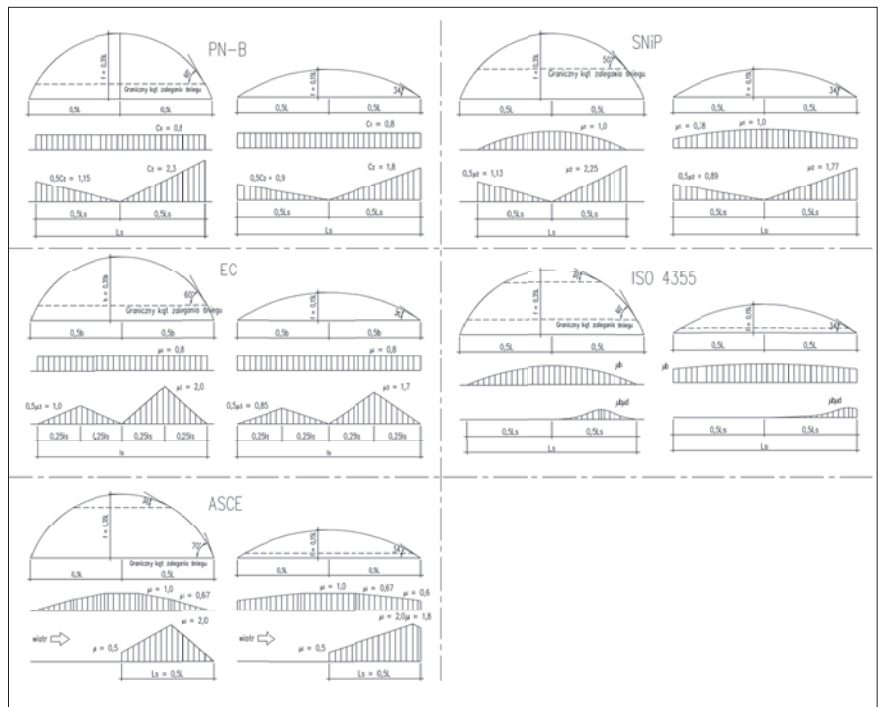
Odmiennej sposób sformułowania działającego obciążenia podjęto w normie [1]. Addytywno-multiplikatywny model polegający na sumowaniu składowych obciążenia śniegiem ma zastosowanie najprawdopodobniej wyłącznie w nowej normie rosyjskiej, w Korei Południowej, a częściowo także w Japonii. Głównym założeniem metody jest jeden przypadek obciążeniowy składający się z części obciążenia równomiernego i nierównomiernego (podobnie jak w normach [4] i [5], zastępczy rozkład pokrywy śnieżnej definiowany jest wyłącznie na części zawietrznej dachu). Dobór współczynników korygujących, uwzględniających kształt dachu, wymaga skorzystania ze skomplikowanych wzorów zawierających wiele zmiennych, jak chociażby  $C_e$ ,  $C_t$  i  $C_m$  (określającą właściwości poślizgowe pokrycia dachowego). Kształt zasp śnieżnych spowodowanych wiejącym wiatrem przedstawiono na rys. 2.

### **Zalecenia wg *AIJ Recommendations for loads on buildings, Chapter 5: Snow loads* – norma japońska**

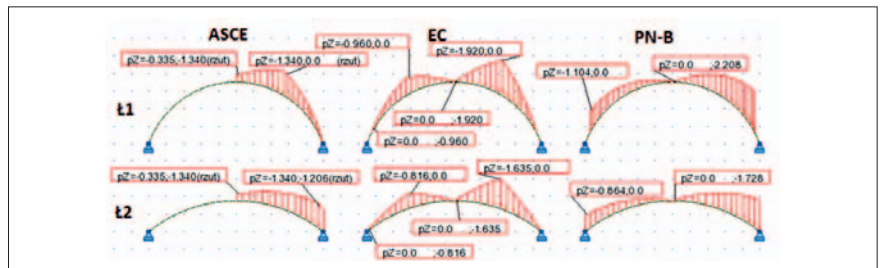
Formułując wartość obciążenia, zastosowano, odmiennie niż w normach europejskich, podejście umożliwiające redukcję granicznych wartości spowodowaną możliwością częściowego odśnieżania dachu. Rozwiązanie to w metodyce europejskiej stosowane jest wyłącznie jako zalecenie naprawcze przy eksploatacji istniejących obiektów wykazujących przekroczenie stanów granicznych. Uzasadnieniem takiego rozwiązania jest fakt, że w niektórych miejscach Japonii opady śniegu w ciągu zimy sięgają kilku metrów i odśnieżanie dachów jest praktykowane. ▽



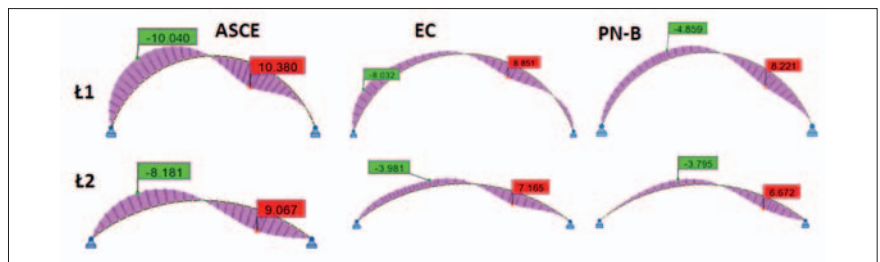
Rys. 1. Śnieg i nawisy śnieżne zalegające na dachach łukowych



Rys. 2. Porównanie współczynników kształtu rozkładu obciążenia śniegiem na dachach łukowych wg różnych norm



Rys. 3. Porównanie wartości obciążenia śniegiem na dachach łukowych wg różnych norm – wariant II – obciążenie asymetryczne



Rys. 4. Porównanie wartości momentów zginających dla kombinacji obliczeniowych wg różnych norm – wariant II – obciążenie asymetryczne

### ► Przykład obliczeniowy

Przykład obliczeniowy ma na celu porównanie poziomu bezpieczeństwa konstrukcji w zależności od zastosowanej normy. Na rys. 3 przedstawiono rozkład asymetrycznego obciążenia śniegiem dla dwóch wariantów wyniosłości łuków. Sumaryczna ilość śniegu zalegającego na dachu jest największa w przypadku normy PN-B, a najmniejsza w przypadku normy ASCE. Można zauważyć, że dla takich samych warunków terytorialnych rozkłady obciążenia

są zupełnie inne. Po określeniu rozkładu obciążenia sporządzono kombinacje obciążeń uwzględniając obciążenie ciężarem własnym konstrukcji wraz z pokryciem oraz obciążenie śniegiem z odpowiednimi dla każdej normy współczynnikami obciążenia. Na rys. 4 przedstawiono rozkład momentów zginających od kombinacji obciążeń obliczeniowych. Można zauważyć duże różnice w wartościach momentów zginających. Największe momenty występują w przypadku podejścia ASCE.

W celu miarodajnego przedstawienia poziomu wyężenia momenty zginające zostały pomnożone przez odpowiednie współczynniki materiałowe obowiązujące w poszczególnych pakietach norm. Ostatecznie uzyskano poziom wyężenia konstrukcji. W obliczeniach pominięto parametry stateczności (wpływ wybożenia), aby pokazać różnice wynikające wyłącznie z podejścia do obciążenia śniegiem. Na podstawie wykonanej analizy można stwierdzić występowanie różnic w osta-

tecznym wyężeniu konstrukcji. Poziom wyężenia w przypadku normy amerykańskiej jest o 11% większy od podejścia wg PN-B. Wyężenia wg PN-B i EC są do siebie zbliżone. Pomimo całkowicie odmiennych rozkładów obciążenia śniegiem różnica wyężenia nie jest znacząca. W przypadku łuku o mniejszej wyniosłości Ł2 stosunek PN-B do ASCE jest podobny i wynosi 10%.

### Podsumowanie

Przytoczone przez autorów sposoby formowania obciążenia zastępczego zalegającego śniegu na etapie projektowania różnią się nie tylko uzyskiwanymi wartościami maksymalnymi, co można tłumaczyć położeniem geograficznym, ale także kształtem zasp śnieżnych, co wskazuje na odmiennosc ujęcia tematu i poziom zaawansowania badań. Zauważono, że wraz z rozwojem zaawansowanych metod obliczeniowych i ze zwiększeniem czasochłonności badań, w tym przy użyciu tuneli aerodynamicznych, następuje korekta sposobu odwzorowywania rzeczywistego układu śniegu na dachach walcowych. Szcze-

gólnie dla przypadków asymetrycznych proste modele stosowane dawniej w normach [2] i [7] zostają zastąpione schematami bardziej wymagającymi, jak np. w [1].

Sposób ustalania całkowitego obciążenie śniegiem zaproponowany w normie amerykańskiej, a oparty na mocno zróżnicowanych współczynnikach częściowych (nawet do 40% wartości), pozwala na uszczegółowienie oddziaływań do konkretnego przypadku, ale niesie ze sobą ryzyko braku zgodności obliczeń przy zmianach w użytkowaniu obiektu czy ekspozycji na wiatr.

Wydaje się, że rozkład śniegu na dachach zakrzywionych przedstawiony w [4] jest bardziej zbliżony do rozkładu rzeczywistego. Uwzględnienie częściowego ześlizgu śniegu (poniżej kąta granicznego) odtwarza sytuację często widoczną na dachach łukowych i przyczynia się do redukcji obciążenia.

W kontekście dalszych rozważań warta podkreślenia jest różnica w sposobie formowania zasp śnieżnych utworzonych przez wiatr. Dla konstrukcji wrażliwych na niesymetryczny rozkład

obciążeń, jakimi są m.in. łuki, usytuowanie obciążenia śniegiem wyłącznie w części zawietrznej dachów, jak zalecono w [4], wywołuje większe siły wewnętrzne niż według innych norm. Jest to korzystne z uwagi na bezpieczeństwo konstrukcji. □

### Piśmiennictwo

1. *ISO 4355:1998 Bases for design of structures – Determination of snow loads on roofs.*
2. *PN-B-02010:1980 Obciążenia w obliczeniach statycznych – Obciążenie śniegiem.*
3. *PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1 – Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-3: Oddziaływania ogólne – Obciążenie śniegiem.*
4. *ASCE/SEI 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.*
5. *National Building Code of Canada. NBC 2005; Users Guide – NBC 2005 Structural Commentaries (Part 4 of Division B).*
6. *AU Recommendations for loads on buildings, Chapter 5: Snow loads.* Architectural Institute of Japan.
7. *SNiP 2.01.07-85 Stroitelnyje normy i pravila. Nagruzki i wozdejstwa.* Moskwa 1987.
8. Żurański J.A., Sobolewski A.: *Modele obciążenia śniegiem dachów.* Prace naukowe Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 2010.