

**SCIENTIFIC
STUDIES**
Monographs

**PRACE
NAUKOWE**
Monografie

Jerzy Antoni Żurański, Andrzej Sobolewski

**Obciążenie śniegiem w Polsce
w projektowaniu i diagnostyce konstrukcji**

**Snow loads in Poland in designing
and diagnostics of structures**



Instytut Techniki Budowlanej

Warszawa 2016

KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor naczelny	prof. dr hab. inż. LECH CZARNECKI
Zastępcy redaktora naczelnego	prof. dr inż. LESŁAW BRUNARSKI dr inż. JADWIGA FANGRAT
Sekretarz	dr MICHAŁ GAJOWNIK
Członkowie	dr hab. inż. PAWEŁ LEWIŃSKI dr inż. TERESA MOŻARYN mgr inż. JAN SIECZKOWSKI dr inż. EWA SZEWCZAK dr inż. SEBASTIAN WALL

Recenzenci

prof. dr hab. inż. ANTONI BIEGUS
prof. dr hab. inż. MARIAN GWÓŹDŹ

Redakcja

dr MIACHAŁ GAJOWNIK

Opracowanie komputerowe

SŁAWOMIR KOSIARSKI

© Copyright by Instytut Techniki Budowlanej
Warszawa 2016

*Czterysta sześćdziesiąta czwarta pozycja
„Prac Naukowych ITB”*

ISBN 978-83-249-8470-1

ISBN 978-83-249-8473-2 (PDF)

Wydawca i Autorzy dolożyli wszelkich starań, aby publikowane informacje pochodziły z rzetelnych źródeł. Wydawca nie ponosi odpowiedzialności ani też nie zaciąga zobowiązań w wyniku wykorzystania przez użytkowników treści niniejszej publikacji. W szczególności nie ponosi odpowiedzialności w stosunku do czytelników i/lub strony trzeciej za jakiegokolwiek poniesione straty, wydatki i szkody bezpośrednie i pośrednie, łącznie z utratą zysku i innych korzyści majątkowych, które mogły powstać lub być związane bezpośrednio lub pośrednio z treściami opublikowanymi, w tym ewentualnymi błędami lub pominięciami zawartymi w publikowanych materiałach.



Instytut Techniki Budowlanej

Sekcja Wydawnictw Naukowych

02-656 Warszawa, ul. Ksawerów 21, tel.: 22 843 35 19
fax: 22 56 64 282, e-mail: wydawnictwa@itb.pl, www.itb.pl

Spis treści

<i>Streszczenie</i>	5
<i>Summary</i>	6
1. Wstęp	7
1.1. Cel i zakres pracy	7
1.2. Modele obciążenia śniegiem dachu	8
2. Dotychczasowe prace	11
3. Dane pomiarowe ciężaru pokrywy śnieżnej w Polsce	15
3.1. Stacje i posterunki meteorologiczne mierzące pokrywę śnieżną	15
3.2. Zasoby danych pomiarowych ciężaru pokrywy śnieżnej	18
4. Charakterystyka pokrywy śnieżnej na gruncie	25
4.1. Wprowadzenie	25
4.2. Pomiary śniegu. Dokładność pomiarów	26
4.3. Wyniki pomiarów pokrywy śnieżnej na stacjach meteorologicznych	29
4.4. Zmienność w czasie wartości maksymalnych rocznych ciężaru i grubości pokrywy śnieżnej	35
5. Metoda opracowania danych pomiarowych obciążenia śniegiem gruntu	39
5.1. Wprowadzenie	39
5.2. Wybór rozkładu prawdopodobieństwa	42
5.3. Metody estymacji parametrów rozkładu Gumbela	48
5.4. Oszacowanie błędu prognozy wartości charakterystycznej S_k	50
6. Wyniki opracowania danych pomiarowych obciążenia śniegiem gruntu. Wartości prognozowane	53
6.1. Podstawowe charakterystyki statystyczne obciążenia śniegiem gruntu oraz wartości parametrów rozkładu Gumbela	53
6.2. Rozkład terytorialny wartości prognozowanych	58
6.3. Zależność obciążenia śniegiem gruntu od wysokości nad poziomem morza	68
7. Wyjątkowe obciążenie śniegiem gruntu	71
7.1. Definicja wyjątkowego obciążenia śniegiem	71
7.2. Częstość występowania wyjątkowego obciążenia śniegiem gruntu	73
7.3. Wartości wyjątkowego obciążenia śniegiem gruntu	76
7.4. Rozkład terytorialny wyjątkowego obciążenia śniegiem gruntu	78
8. Długość obciążenia śniegiem	85
8.1. Metoda opracowania	85
8.2. Wykorzystanie wyników	88
9. Awarie i katastrofy dachów pod ciężarem śniegu w Polsce	91
9.1. Awarie i katastrofy w latach siedemdziesiątych XX wieku	91
9.2. Katastrofy podczas zimy 2005/2006	97
9.3. Katastrofa hali MTK w Chorzowie	99

10. Obciążenie śniegiem w dawnych przepisach i normach polskich	107
10.1. Dawne polskie normy i przepisy	107
10.2. Polska Norma z 1980 roku	110
11. Obciążenie śniegiem w aktualnych normach polskich	113
11.1. Metoda strefowania obciążenia śniegiem.....	113
11.2. Przyjęte wartości charakterystyczne i podział kraju na strefy obciążenia śniegiem	115
11.3. Dylematy ustalania wartości charakterystycznych i podziału kraju na strefy obciążenia śniegiem.....	121
11.4. Zmiany na mapie obciążenia śniegiem w Polsce	123
12. Obciążenie śniegiem w diagnostyce konstrukcji	127
12.1. Postawienie zadania	127
12.2. Procedury wyznaczania ekstremalnych wartości obciążenia śniegiem w diagnozowaniu konstrukcji.....	127
12.3. Komentarz do procedur	130
13. Odśnieżanie dachów	133
13.1. Wprowadzenie	133
13.2. Konstrukcje istniejące i projektowane według nowych norm	134
13.3. Ocena konieczności i warunki odśnieżania dachów.....	135
14. Kierunki dalszych prac	139
15. Podsumowanie	143
Bibliografia.....	147
Załącznik 1. Charakterystyka stacji i posterunków meteorologicznych.....	157
Załącznik 2. Dane pomiarowe wartości maksymalnych zimowych obciążenia śniegiem gruntu ze stacji i posterunków meteorologicznych w Polsce z lat 1950/1951 – 2009/2010	171
Załącznik 3. Wartości maksymalne zimowe obciążenia śniegiem gruntu w Polsce w latach 1950/1951 – 2009/2010. Wykresy.....	201
Załącznik 4. Wyniki obliczeń	231
Załącznik 5. Wykresy rozkładów empirycznych wartości maksymalnych zimowych obciążenia śniegiem gruntu na siatce probabilistycznej rozkładu Gumbela.....	237

1. WSTĘP

1.1. Cel i zakres pracy

Obciążenie śniegiem dachów jest jednym z dwóch ważnych oddziaływań klimatycznych, drugim jest obciążenie wiatrem. W wielu przypadkach obciążenie śniegiem to podstawowe obciążenie zmienne budowli. W związku z tym jego dokładne wyznaczenie, ocena przewidywanej wartości, która może wystąpić lub być przekroczona w planowanym czasie użytkowania konstrukcji, ma istotne znaczenie dla jej bezpieczeństwa. Dotyczy to zarówno projektowania, jak i diagnostyki konstrukcji istniejących.

O kształtowaniu się pokrywy śnieżnej na dachu decydują te same czynniki klimatyczne, które tworzą i kształtują pokrywę śnieżną na gruncie (z wyjątkiem temperatury gruntu), a więc opad śniegu i deszczu na śnieg, prędkość i kierunek wiatru, temperatura i wilgotność powietrza, promieniowanie słoneczne, a ponadto kształt i wysokość budynku, jego otoczenie i najbliższe sąsiedztwo, kształt dachu (przede wszystkim kąt nachylenia połaci dachowych), zróżnicowanie wysokości dachu, temperatura powietrza pod dachem i jego przewodność cieplna, wreszcie śliskość powierzchni dachu. Podstawową cechą obciążenia śniegiem jest jego losowy charakter, musi być ono zatem rozpatrywane jako zjawisko losowe.

Celem monografii jest przedstawienie zagadnienia obciążenia śniegiem w Polsce do wykorzystania w projektowaniu nowych konstrukcji oraz w diagnostyce konstrukcji istniejących. Są to przede wszystkim dane statystyczne ciężaru pokrywy śnieżnej na gruncie – wartości maksymalne roczne (zimowe) oraz metody probabilistycznego prognozowania wartości charakterystycznych obciążenia śniegiem gruntu. Przedstawiono wyniki obliczeń i ich zastosowanie w postanowieniach normowych. W monografii zamieszczono również informacje o awariach i katastrofach dachów pod ciężarem śniegu, a także o dawnych i obecnych przepisach i normach polskich. Podano procedury wyznaczania obciążenia śniegiem w diagnostyce konstrukcji istniejących. W załącznikach podano informacje o stacjach i posterunkach meteorologicznych mierzących ciężar pokrywy śnieżnej na gruncie, zestawiono dane pomiarowe ze wszystkich stacji

meteorologicznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB), z których było to możliwe oraz wyniki obliczeń statystycznych i probabilistycznych, a także wykresy wartości ekstremalnych obciążenia śniegiem gruntu przedstawione na siatce probabilistycznej rozkładu Gumbela.

W porównaniu z monografią wydaną w 2009 r. [113] w niniejszej pracy podano i wykorzystano do obliczeń dane pomiarowe z okresu o 10 lat dłuższego, pochodzące z lat 1950/1951 – 2009/2010. Tak obszerne zestawienie historycznych danych pomiarowych, wraz z kopiami nieaktualnych norm obciążenia śniegiem [113], może być pomocne w diagnostyce konstrukcji istniejących, dawno zaprojektowanych według starych norm.

1.2. Modele obciążenia śniegiem dachu

W obecnych modelach obliczeniowych obciążenie śniegiem dachu jest traktowane jako funkcja ciężaru pokrywy śnieżnej na gruncie, nazywanego **obciążeniem śniegiem gruntu**, oraz kilku parametrów, w postaci bezwymiarowych współczynników. Ich liczba zależy od szczególności podejścia autorów modeli obciążenia lub norm oraz od zakresu dostępnych danych pomiarowych. Niekiedy dodaje się do tak określonego obciążenia dodatkowe obciążenie od deszczu.

Najczęściej stosowanym modelem obciążenia śniegiem dachu jest model multiplikatywny, przyjęty w normie europejskiej [60] i w innych normach, np. [2], [20], [67], [68], [76]. Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem dachu s jest w nim przedstawiona w postaci wyrażenia [60]

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

gdzie:

- μ_i – współczynnik kształtu dachu,
- C_e – współczynnik ekspozycji,
- C_t – współczynnik termiczny,
- s_k – wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu, kN/m^2 .

Współczynnik kształtu dachu μ_i jest głównym współczynnikiem przejścia między podstawową wielkością odniesienia, jaką jest obciążenie śniegiem gruntu, a obciążeniem dachu. Wartości współczynnika kształtu dachu określają wpływ kształtu dachu i różnych jego form na rozkład śniegu na nim.

Za pomocą współczynnika ekspozycji C_e uwzględnia się ogólny wpływ wiatru na gromadzenie 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 na terenie wystawionym na działanie stosunkowo silnych wiatrów, zaś $C_e = 1,2$ w przypadku budynków osłoniętych przed działaniem wiatru.

Za pomocą współczynnika termicznego o wartościach $C_t < 1,0$ można uwzględniać wpływ przenikania ciepła przez dach na zmniejszenie obciążenia śniegiem. Zakłada się, że przy stosowanej obecnie izolacji cieplej dachów współczynnik C_t jest równy jedności; jego zmniejszenie dotyczy przede wszystkim szklarni. W normie europejskiej nie podano jak określić wartości C_t , odpowiednie wzory są jednak podane w normie ISO [25] i z niej skorzystano, przygotowując załącznik krajowy do PN-EN [60].

Podstawowe układy obciążenia śniegiem dachów i wartości współczynnika kształtu w normie europejskiej zostały wzięte z pierwszej normy ISO z 1980 r., te same schematy podano w normie polskiej [58]. W normie europejskiej zostały one nieco zmienione i wzbogacone.

Przyjmując zatem $C_e = 1,0$ i $C_t = 1,0$, otrzymuje się model obciążenia śniegiem taki jak w dotychczasowej normie polskiej [58], a także w dawnych normach, w których nie było pojęcia obciążenia śniegiem gruntu [39].

Inny model obciążenia śniegiem dachu, addytywno-multiplikatywny, podano w normie ISO [25], [76]. Jest to model stosowany, i to nie w pełni, tylko w Japonii. W tym modelu obciążenie śniegiem dachu jest przedstawione jako suma trzech składowych:

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

Sumę tę, po wyprowadzeniu przed nawias wspólnych wielkości, można przedstawić w postaci

$$s = s_0 C_e C_t (\mu_b + \mu_d + \mu_s) \quad (2)$$

Współczynniki w nawiasie oznaczają:

μ_b – współczynnik zmniejszający ze względu na pochylenie dachu; jest on funkcją kąta spadku dachu i współczynnika C_m , określającego właściwości poślizgowe powierzchni dachu,

μ_d – współczynnik obciążenia naniesionego przez wiatr,

μ_s – współczynnik obciążenia wynikającego z ześlizgu śniegu.

W znowelizowanej normie ISO, opublikowanej w 2013 r., wzór (2) jest nieco zmieniony, przed nawias wyprowadzone jest tylko obciążenie śniegiem gruntu s_0 , a przez współczynniki C_e i C_t mnożony jest tylko współczynnik μ_b , pomnożony jednocześnie przez 0,8.

W przedstawionych wyżej modelach obciążenia śniegiem dachu podstawową zmienną losową jest ciężar pokrywy śnieżnej na gruncie (obciążenie śniegiem gruntu). Ze względu na istniejącą w każdym kraju sieć stacji i posterunków meteorologicznych oraz regularne pomiary grubości i ciężaru pokrywy śnieżnej na gruncie ta ostatnia zmienna losowa jest poddawana analizie probabilistycznej. Współczynniki kształtu dachu, współczynnik ekspozycji i współczynnik termiczny były określane na podstawie stosunkowo skąpych danych doświadczalnych albo jako wartości średnie, albo jako arbitralnie ustalone wartości lub funkcje kąta spadku dachu, ograniczające od góry wartości wynikające z posiadanych danych pomiarowych. Obciążenie śniegiem gruntu jest więc podstawową wielkością odniesienia w analizie obciążenia śniegiem dachu. Pozostałe wielkości mają jedynie charakter współczynników konwersji.

Wartość charakterystyczną obciążenia śniegiem gruntu określa się obecnie najczęściej [63] na poziomie kwantyla 0,98 rozkładu wartości maksymalnych rocznych, tzn. jako taką, która przekraczana jest przeciętnie co 50 lat. Aby ją wyznaczyć, należy rozkład empiryczny obciążenia aproksymować właściwym rozkładem prawdopodobieństwa.

Przegląd modeli normowych Kanady, USA, Rosji, Ukrainy i Japonii, jak również kilku modeli teoretycznych, przedstawiono w [76].

2. DOTYCHCZASOWE PRACE

Prace polskich meteorologów i klimatologów, publikowane w ciągu dziesięcioleci od końca XIX wieku, dotyczyły ogólnych charakterystyk zim, zawierających takie informacje jak daty pojawiania się i zaniku pokrywy śnieżnej, największej, najmniejszej i średniej grubości pokrywy śnieżnej w poszczególnych miesiącach i latach, albo sumy grubości pokrywy śnieżnej z całej zimy. Dotyczyły one całego terytorium Polski albo tylko wybranych regionów, a wykonywane były bądź w celu opisanie klimatu Polski, bądź na potrzeby rolnictwa albo gospodarki wodnej i prognoz wezbrań roztopowych, a także ze względu na uprawianie narciarstwa. W przypadku gór przedmiotem zainteresowania były oczywiście również lawiny. Dla przykładu można wymienić kilka publikacji, jak prace Chomicza [12], [13], [14], Chrzanowskiego [15], [16] i Kłapowej [33], a także prace Kozyry [34], Kupczyk [36], Milaty [49], Paczosa [54], publikację zbiorową [83]. Było ich wiele, lecz żadna nie dotyczyła ciężaru pokrywy śnieżnej na gruncie jako podstawowej wielkości odniesienia do wyznaczania obciążenia śniegiem dachów, dlatego nie są tutaj cytowane.

Po raz pierwszy w Polsce w pracy z zakresu klimatologii zagadnienia te zostały przedstawione w roku 1980 przez Sadowskiego [64], który poświęcił im oddzielny rozdział w publikacji dotyczącej zapasu wody w pokrywie śnieżnej. Dane pomiarowe aproksymował rozkładem Pearsona III typu [30]. Zaproponował podział kraju na 7 stref obciążenia śniegiem, o granicach częściowo zbieżnych z podanymi w rozdziale 11 niniejszej pracy i wartościach strefowych nieco wyższych.

Opublikowane przez Sadowskiego wyniki pomiarów stanowią znaczącą część materiału pomiarowego wykorzystanego w niniejszej monografii. Zaproponowane przez niego wartości obciążenie śniegiem, w podziale na 7 stref, znalazły się także w pracy zbiorowej poświęconej zjawiskom atmosferycznym szkodliwym dla rolnictwa [35]. Położenie stref niewiele różni się od wcześniejszej propozycji [64].

W budownictwie tematykę obciążeń klimatycznych, w tym obciążenia wywieranego przez śnieg, pierwszy podjął Mendera w pracy opublikowanej w 1969 r. [45]. Analizował on 10-letnie dane pomiarowe grubości pokrywy śnieżnej z 4 stacji meteorologicznych.

Podczas bardzo śnieżnej zimy 1969/70 w niektórych regionach Polski wystąpiły liczne katastrofy dachów, co spowodowało zainteresowanie problemem ze strony ówczesnego Zjednoczenia Biur Projektów Budownictwa. Na zlecenie tego Zjednoczenia w Centralnym Ośrodku Badawczo-Projektowym Budownictwa Przemysłowego „Bistyp”, w zakładzie kierowanym przez prof. dr. hab. inż. Stanisława Kusia, rozpoczęto prace [38], w wyniku których powstał projekt znowelizowanej normy [39], [58], obowiązującej od 1.01.1981 r. i stosowanej aż do wejścia w życie zmiany do niej [92] (norma [58] została wycofana w 2010 r.). W wyniku wykonanych analiz dokonano próby identyfikacji probabilistycznej obowiązujących uprzednio wartości obciążenia. Stwierdzono, że w następstwie ich powojennego zmniejszania mają one okres powrotu średnio ok. 5 lat. Stwierdzenie to było słuszne przy założeniu, że wartości podane w dotychczasowej normie odnosiły się do obciążenia dachu, a otrzymuje się je, mnożąc obciążenie gruntu przez współczynnik 0,8. Dotyczyło to przede wszystkim północno-wschodnich regionów Polski. Ponadto, do analizy danych wzięto maksymalne roczne (zimowe) wartości grubości pokrywy śnieżnej na gruncie, które w celu określenia ciężaru warstwy śniegu, mnożono następnie przez średnie wartości jego gęstości.

W latach 1981-1982, w związku z planowaną budową siłowni jądrowych w Polsce, w Biurze Studiów i Projektów Energetycznych „Energo-projekt” w Warszawie uznano za konieczne ustalenie obciążeń obiektów budowlanych tych siłowni z uwzględnieniem specjalnych wymagań, jakie się do nich odnoszą. W związku z tym w COBPBP „Bistyp” wykonano ponownie analizę obciążenia śniegiem gruntu, w której wykorzystano wyniki pomiarów ciężaru pokrywy śnieżnej (a nie jej grubości [70]) z lat 1950/51 – 1974/75, opublikowane przez Sadowskiego [64], uzupełniając je o pomiary z zim 1975/76 – 1979/80. Dzięki temu długość ciągów pomiarowych wzrosła do 30 lat [70].

Dzięki kontynuacji prac zapoczątkowanych na zlecenie byłego Zjednoczenia Biur Projektów Budownictwa możliwe było wykonanie badań i analiz (np. [69]), których wyniki przedstawiano na konferencjach krajowych [71] i międzynarodowych [72], [73], [74], [86], [93], a także publikowano w prasie technicznej [38], [39], [94].

Na początku lat dziewięćdziesiątych, mając na uwadze przyszłe wprowadzenie w Polsce norm europejskich, w tym normy obciążenia śniegiem, podjęto tę tematykę w Instytucie Techniki Budowlanej [97], [98], [99], [100]. W ramach działalności statutowej Instytutu uzupełniono posiadane wyniki pomiarów ciężaru pokrywy śnieżnej o dane z lat 1980/81 – 1989/90, uzyskując w ten sposób materiały z 40 lat

pomiarów ze 103 stacji i posterunków meteorologicznych, aczkolwiek nie wszystkie stacje i posterunki wykonywały pomiary ciężaru pokrywy śnieżnej podczas każdej zimy w wymienionym okresie. Jeszcze większe braki wykazują materiały archiwalne Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej z lat 1945/46 – 1949/50, dlatego nie podjęto próby rozszerzenia zasobu danych o ten okres.

Po zimie 1999/2000 stało się możliwe uzupełnienie posiadanych danych o wyniki pomiarów z kolejnego dziesięciolecia, tzn. z zim 1990/91 – 1999/2000, oraz ich opracowanie, co zostało wykonane w ramach projektu badawczego (grantu) [61], [101], [102], [103] i [104]. Wyniki tej pracy, rozszerzone o niektóre późniejsze analizy [105], [106], [107], [108], [109] i [112] stanowiły podstawę wydania monografii dotyczącej obciążenia śniegiem w Polsce [113]. W niniejszej monografii wykorzystano dane pomiarowe uzupełnione o wyniki pomiarów wykonanych na stacjach IMGW-PIB w latach 2000/2001 – 2009/2010.