

OCENA ODDZIAŁYWAŃ ŚRODOWISKOWYCH NA BUDOWLE

Obciążenie śniegiem

Część 1

dr hab. inż. Jerzy Antoni Żurański, dr inż. Grzegorz Kimbar
Instytut Techniki Budowlanej

Oddziaływania środowiskowe należą do tych, które najczęściej wywołują awarie albo katastrofy budowli wliczane do zdarzeń losowych. W ciągu ostatnich kilku dekad zostały one dość dobrze rozpoznane i opisane w kategoriach rachunku prawdopodobieństwa. Najłatwiej rozpoznane jest atmosferyczne oblodzenie konstrukcji. Ocenę oddziaływań rozpoczniemy w nowym cyklu artykułów od obciążenia śniegiem.

Inżynier budowlany w swojej praktyce zawodowej spotyka się z problematyką obciążeń środowiskowych, klimatycznych zwykle w dwóch sytuacjach [1]:

- jako projektant, zestawiając obciążenia projektowanej konstrukcji;
- jako rzeczoznawca budowlany, analizując przyczyny awarii lub katastrofy albo oceniając bezpieczeństwo konstrukcji istniejącej.

Są to dwie różne sytuacje. Mając założenia do projektu, projektant wyznacza obciążenia projektowanej konstrukcji poprzez zastosowanie norm, w których został podany algorytm postępowania. Sprowadza się to do wyboru wartości charakterystycznych obciążenia śniegiem gruntu, ciśnienia, prędkości wiatru lub też temperatury powietrza. Wartości zależą od lokalizacji projektowanego obiektu, a zatem od normowych stref rozpatrywanych oddziaływań oraz od wyboru odpowiedniego układu oddziaływań, kombinacji i współczynników, także podanych w normach.

W przypadku awarii lub katastrofy rzeczoznawca musi nie tylko sprawdzić nośność konstrukcji pod obciążeniem normowym, co najczęściej wykonuje, ale również ocenić rzeczywistą wartość obciążeń, które spowodowały awarię albo katastrofę. Jest to zadanie trudniejsze niż ustalenie obciążeń w fazie projektowania.

Ocena bezpieczeństwa konstrukcji istniejącej dotyczy zwłaszcza sytuacji wynikającej z wprowadzenia nowych norm, w których zwiększono wartości oddziaływań, szczególnie obciążenia śniegiem. Tu rzeczoznawca może stanąć przed dylematem, czy wzmocnić konstrukcję, czy też pozostawić ją taką, jaką była przed zmianami norm.

Dokładna ocena oddziaływań klimatycznych w sytuacjach awaryjnych jest możliwa przy współpracy meteorologa. Konieczne jest jednak wzajemne zrozumienie rzeczoznawcy i meteorologa. W przypadku rzeczoznawcy oznacza to poznanie terminologii i metodyki pomiarowej stosowanej przez meteorologów. Rzeczoznawca natomiast będzie oczekiwał od

meteorologa przedstawienia danych pomiarowych w sposób umożliwiający wyciąganie wniosków co do stanu konstrukcji. Na tym etapie szczególnie istotne staje się dokładne zrozumienie przez rzeczoznawcę zagadnień statystycznych, które leżą u podstaw ustalania wartości obciążeń. Zagadnienia te pojawiają się niejako w tle procesu projektowania, ale wychodzą na pierwszy plan w sytuacji oceny istniejącej konstrukcji. Szczegółowych wskazówek dotyczących znaczenia i interpretacji wszystkich współczynników używanych w szacowaniu obciążeń klimatycznych dostarcza Eurokod [2], popularnie nazywany „zerowym”.

Oceniając szacunkowo obciążenie dachu, należy brać pod uwagę przenoszenie śniegu przez wiatr.

Tematem artykułu są przede wszystkim zagadnienia oddziaływań środowiskowych, z którymi może mieć do czynienia rzeczoznawca. Zagadnienia związane z projektowaniem konstrukcji poddanych oddziaływaniom klimatycznym były tematem wielu publikacji, np. [3], [4]. Pewne odstępstwo dotyczy obciążenia atmosferycznym oblodzeniem konstrukcji, nie istnieje bowiem jeszcze ogólna norma europejska obciążenia oblodzeniem, a dotychczasowa Polska Norma [5] została wycofana.

Awarie i katastrofy pod ciężarem śniegu

W przypadku wystąpienia awarii albo katastrofy wywołanej przez śnieg jedną z pierwszych czynności jest ustalenie obciążenia śniegiem gruntu w sąsiedztwie rozpatrywanej konstrukcji. Jego znajomość posłuży do wstępnego porównania tego obciążenia z wartością charakterystyczną podaną w normie. Pomiar grubości pokrywy śnieżnej w miejscu osłoniętym przed działaniem wiatru, a także wpływu sąsiednich budynków, jest prosty. Znając przybliżony czas zalegania pokrywy śnieżnej, można



Fot. dr inż. Andrzej Sobolewski

oszacować jej gęstość na podstawie danych normy [6]. Informacja z najbliższej stacji meteorologicznej umożliwi uściślenie tej oceny. „Najbliższa stacja meteorologiczna” w Polsce może być często oddalona o kilkadziesiąt kilometrów od rozpatrywanego miejsca. W takich przypadkach konieczne może się okazać interpolowanie danych z kilku najbliższych stacji meteorologicznych z jednoczesnym uwzględnieniem ukształtowania terenu. Niepewność tego typu oszacowania może być duża, szczególnie jeżeli ma dotyczyć wartości obciążenia w konkretnym dniu. Niestety, mimo skomplikowania tego rodzaju analizy często okazuje się ona konieczna.

Oprócz grubości pokrywy śnieżnej stacje meteorologiczne wykonują pomiary zawartości wody w śniegu, która charakteryzuje się przez trzy podstawowe wielkości [1]:

- 1) gęstość śniegu, d [g/cm^3];
- 2) równoważnik wodny śniegu, R [mm/cm] – grubość, wyrażona w milimetrach, warstwy wody powstałej ze stopienia warstwy śniegu o grubości 1 cm. Wartość równoważnika wodnego śniegu jest liczbowo równa ciężarowi objętościowemu śniegu wyrażonemu w kN/m^3 ;
- 3) zapas wody w śniegu, z [mm] – warstwa wody, jaka powstałaby po całkowitym stopieniu pokrywy śnieżnej. Podzielony przez 100 jest równy obciążeniu śniegiem gruntu w kN/m^2 . Zapas wody w śniegu jest nazywany także wodnością śniegu.

Oceniając szacunkowo obciążenie śniegiem dachu, należy brać pod uwagę ewentualne przenoszenie śniegu przez wiatr. Jednakże, zakładając taką możliwość, należy ją udokumentować poprzez podanie prędkości i kierunku wiatru. Jeżeli można wejść na dach, to pomiary zalegającego tam śniegu dostarczą najważniejszej informacji niezbędnej do wyjaśnienia przyczyn awarii. Szczególnie interesujące są wszelkie względne odstępstwa w rozkładzie śniegu. Zdarza się, że na pewnych obszarach dachu zalega dziesięciokrotnie większa warstwa śniegu niż przeciętna w innych obszarach. Normy obciążenia śniegiem zwykle nie przewidują tak wielkiego zróżnicowania obciążenia, co może być natychmiastowym wskazaniem odstępstwa wynikającego z błędu projektowego. Jednak dopiero ilościowe oszacowanie takiego zwiększonego obciążenia daje podstawy do oceny. Rzeczywiste rozkłady obciążenia śniegiem spowodowane przenoszeniem śniegu przez wiatr mogą różnić się od podstawowych schematów występujących w Eurokodzie. W szczególności na dachach mogą powstawać zasypy po stronie nawietrznej przeszkód, a także po stronach bocznych. Zwykle nie mają one większego znaczenia przy projektowaniu konstrukcji, ale mogą wystąpić na istniejących dachach i mieć istotne znaczenie dla przebiegu awarii. Pewne wskazów-

ki dotyczące oceny ilościowej tych zjawisk zawierają bardziej szczegółowe normy zagraniczne [7], [8].

Dokładną wartość rzeczywistego obciążenia śniegiem dachu można uzyskać jedynie w wyniku pomiarów śniegomierzem wagowym, wykonanych samodzielnie lub przez pracownika państwowej służby hydrologiczno-meteorologicznej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego. Pomiary powinny zostać wykonane nie tylko na dachu, w reprezentatywnych miejscach, lecz także na gruncie, w miejscu osłoniętym przed działaniem wiatru i oddziaływaniem budynku na pokrywę śnieżną. Przykładem wzorowego wykonania pomiarów obciążenia śniegiem dachu są pomiary przeprowadzone przez meteorologów w dniu 29 stycznia 2006 r. na dachu Hali Międzynarodowych Targów Katowickich w Chorzowie, dzień po katastrofie [9].

Dokładną wartość rzeczywistego obciążenia śniegiem dachu można uzyskać jedynie w wyniku pomiarów śniegomierzem wagowym.

Należy dodać, że w gromadzeniu się śniegu na dachach płaskich istotne znaczenie może mieć również drożność instalacji odwodnienia. Na obszarach, do których woda dopływa bez możliwości odpływu, podczas cyklicznych (typowych dla polskiego klimatu) faz rozmrażania i zamrażania pokrywy śnieżnej na dachu mogą tworzyć się soczewki lodowe. Tego typu punktowe obciążenie dachu może prowadzić do dalszych odkształceń i nasilenia zjawiska. W takich przypadkach szczególnie istotna będzie nie tylko ocena łącznego obciążenia, ale także gęstości śniegu/lodu na różnych głębokościach pokrywy śnieżnej.

Konstrukcje zaprojektowane według starych norm

Wprowadzenie norm europejskich do polskiej praktyki projektowej, a także do praktyki rzeczoznawców, spowodowało zwiększenie niektórych oddziaływań. Dotyczy to zwłaszcza obciążenia śniegiem; w niektórych regionach zostało ono zwiększone nawet o 70%. W związku z tym powstaje dylemat: czy konstrukcje zaprojektowane zgodnie ze starymi normami są bezpieczne, czy może należy je wzmocnić. Pomocą w rozwiązaniu problemu może być norma ISO „Ocena istniejących konstrukcji” [10], [11]. Podane w niej podejście można uznać za rozsądne. Wymagania stawiane przez normę ISO zostały omówione w referacie [12]. W skrócie można napisać, że konstrukcja zaprojektowana według starych norm,

Odśnieżanie dachu – zalecenia ściśle przestrzegane

Odśnieżanie powinno zostać poprzedzone szczegółową ekspertyzą, obejmującą stan konstrukcji, sposób i drogi usuwania śniegu, skutki zmiany obciążenia dachu na skutek przemieszczenia mas śniegu i obciążenia od ekipy odśnieżającej.

Zgodnie z normą europejską PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1 *Oddziaływanie na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne – Obciążenie śniegiem*, „jeżeli przewiduje się sztuczne usuwanie lub przemieszczanie śniegu na dachu, to dach należy zaprojektować z uwzględnieniem odpowiednich układów obciążeń”. Jest to możliwe w przypadku nowych konstrukcji, ale może być trudne lub niemożliwe w przypadku konstrukcji już istniejących.

O mniejszych wartościach obliczeniowych oddziaływań klimatycznych, może być uważana za bezpiecznie przenoszącą zwiększone oddziaływania inne niż wyjątkowe pod warunkiem, że zostanie wykazane, iż w przeszłości przeniosła ona obciążenia o wartościach przewyższających te przyjęte do obliczeń projektowych i aktualnie nie wykazuje żadnych oznak znaczących uszkodzeń, pogorszenia stanu lub degradacji. Wartości obciążenia śniegiem z lat 1950 – 2010 są podane w monografii [3].

Cennym i wiarygodnym źródłem informacji o rzeczywistym obciążeniu śniegiem dachu może być monitoring odkształceń konstrukcji w miejscach najbardziej wrażliwych na przeciążenie śniegiem.

Własne pomiary na gruncie albo informacje z najbliższej stacji meteorologicznej pozwolą ocenić, czy sytuacja może się rozwijać niekorzystnie dla bezpieczeństwa konstrukcji. Najprostszą wartość alarmową stanowi wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu podana w [6]. Cennym, wiarygodnym źródłem informacji o rzeczywistym obciążeniu śniegiem dachu może być też monitoring odkształceń konstrukcji w miejscach najbardziej wrażliwych na przeciążenie śniegiem. Pomiary obciążenia śniegiem dachu są trudniejsze do wykonania.

Odśnieżanie dachów

Jeżeli już we wczesnym okresie zimy obciążenie śniegiem będzie bliższe nowej wartości charakterystycznej (na większości terytorium Polski będzie to nieco mniej niż dotychczasowa wartość obliczeniowa), a konstrukcja dachu była zaprojektowana z zastosowaniem starej normy, to powstanie pytanie o konieczność usunięcia śniegu z dachu [13]. Ewentualne odśnieżanie dachu powinna poprzedzić prognoza przyrostu obciążenia, którą może wykonać Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy. Nie zawsze osiągnięcie wartości charakterystycznej może oznaczać, że tej samej zimy wartość obliczeniowa zostanie przekroczona.

Jest oczywiste, że usuwanie śniegu z dachu może stanowić zagrożenie zarówno dla osób wykonujących tę czynność, jak i dla samej konstrukcji, a zwłaszcza dla pokrycia dachu. W najgorszym przypadku odśnieżanie dachu może prowadzić do wzrostu naprężeń w konstrukcji pod wpływem niesymetrycznego obciążenia, a także pod ciężarem ekipy odśnieżającej. Należy także wziąć pod uwagę, że trudno usunąć śnieg ze środkowych partii rozległych dachów. Odśnieżanie dachu powinno zostać poprzedzone szczegółową ekspertyzą, obejmującą stan konstrukcji, sposób i drogi usuwania śniegu, skutki zmiany obciążenia dachu na skutek przemieszczenia mas śniegu i obciążenia od ekipy odśnieżającej. Podane zalecenia muszą być ściśle przestrzegane.

Zgodnie z normą europejską, „jeżeli przewiduje się sztuczne usuwanie lub przemieszczanie śniegu na dachu, to dach należy zaprojektować z uwzględnieniem odpowiednich układów obciążeń” [6]. Jest to możliwe w przypadku nowych konstrukcji, jednak może być trudne lub niemożliwe w przypadku konstrukcji już istniejących.

Nowa lub wzmocniona konstrukcja dachu powinna być tak zaprojektowana, aby odśnieżanie nie było konieczne. Należy zwrócić uwagę, że wartości charakterystycznego obciążenia śniegiem (jak i wielu innych obciążeń klimatycznych) ustalane są jako maksima 50-letnie. Oznacza to, że odpowiedzią na często pojawiające się pytanie: „czy danego dnia obciążenie śniegiem gruntu było ponadnormatywne?”, odpowiedź najczęściej brzmi: „nie”. Okres 50 lat stanowi swego rodzaju barierę psychologiczną, to znaczy dopiero „zima pięćdziesięciolecia” staje się przesłanką do niepokoju i podjęcia działań. Jeżeli w bardziej typowych warunkach konstrukcja miała być zagrożona, musiałoby to oznaczać, że konstrukcja jest osłabiona w stosunku do wymagań, a to z kolei poddawałoby w wątpliwość bezpieczeństwo samego procesu odśnieżania, który wiąże się z tymczasowym zwiększeniem obciążenia.

Osobne zagadnienie stanowią przypadki dachów odśnieżanych aktywnie poprzez nagrzewanie wnętrza konstrukcji. Sytuacja ta dotyczy zwłaszcza lekkich hal namiotowych, nieprojektowanych na pełne obciążenie obliczeniowe. Analizy [14] wskazują, że istotnym czynnikiem w takich sytuacjach staje się nie tylko wartość obciążenia, ale również intensywność opadu śniegu. Delikatna równowaga pomiędzy tempem przyrostu pokrywy śnieżnej a wydatkiem ciepła płynącego z zainstalowanych nagrzewnic może być zjawiskiem trudnym do prawidłowego rozpoznania, szczególnie przy braku danych o intensywności opadu w miejscu zdarzenia. ■

Streszczenie: W artykule przedstawiono obecny stan normalizacyjny oddziaływań środowiskowych (klimatycznych), a także zawarto informacje, które mogą być pomocne w pracy rzeczoznawcy budowlanego oceniającego bezpieczeństwo konstrukcji. Może to dotyczyć oszacowania obciążenia śniegiem konstrukcji w stanie awaryjnym albo zaprojektowanych według starych norm o mniejszych wartościach obliczeniowych tego obciążenia. Podobnie w przypadku oceny oddziaływania wiatru, jak i oszacowania bezpieczeństwa konstrukcji istniejących, poddanych w przeszłości. Przedstawiono pokrótce normy oddziaływania temperatury i wskazano na brak Eurokodu dotyczącego obciążenia konstrukcji oblodzeniem atmosferycznym.

Słowa kluczowe: oddziaływania klimatyczne, obciążenie śniegiem, oddziaływanie wiatru, temperatura powietrza, oblodzenie konstrukcji.

Literatura

- [1] Żurański J.A., *Obciążenie śniegiem konstrukcji w ocenie rzeczoznawcy budowlanego* [w:] IX Konferencja Naukowo-Techniczna Problemy Rzeczoznawstwa Budowlanego, Cedzyna, 24-26 kwietnia 2006 r. Materiały konferencyjne, Wyd. ITB, Warszawa 2006.
- [2] PN-EN 1990 Eurokod Podstawy projektowania konstrukcji.
- [3] Żurański J.A., Sobolewski A.: *Obciążenie śniegiem w Polsce w projektowaniu i diagnostyce konstrukcji*. Instytut Techniki Budowlanej, Prace Naukowe – Monografie. Warszawa 2016
- [4] Żurański J.A., Gaczek M., *Oddziaływania klimatyczne na konstrukcje budowlane według Eurokodu 1. Komentarze z przykładami obliczeń* [w:] Projektowanie według Eurokodów, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2011.
- [5] PN-87/B-02013 *Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne środowiskowe. Obciążenie oblodzeniem*.
- [6] PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1 *Oddziaływanie na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne – Obciążenie śniegiem*.
- [7] ASCE 7-95 *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.
- [8] SNiP II-6-74 *Nagruzki i vozdejstvia. Normy projektirovaniia*, Moskwa 1976.
- [9] Żurański J.A., *Obciążenie dachów śniegiem – wnioski z katastrofy hali MTK w Chorzowie*, „Inżynieria i Budownictwo” 2009, nr 6.
- [10] ISO 13822:2001 *Bases for design of structures – Assessment of existing structures*.
- [11] Chmielewski T., *Ocena istniejących konstrukcji w ujęciu projektu normy ISO/CD/13822*, „Inżynieria i Budownictwo” 2001, nr 9.
- [12] Żurański J.A., *Nowe normy obciążenia śniegiem a bezpieczeństwo konstrukcji istniejących*, „Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały” 2008, nr 19 (90).
- [13] Żurański J.A., Gaczek M., *Czy i kiedy odśnieżać dach*, „Inżynier Budownictwa” 2012, nr 10.
- [14] Kimbar G.: *Dynamics of snow melting on tents during possibly threatening precipitation*, „Czasopismo Techniczne – Budownictwo” Zeszyt 2-B (12) 2015, s. 433-440