

Monitorowanie dachów związane z obciążeniami śniegiem

Dr inż. Roman Wróblewski, Politechnika Wroclawska, mgr inż. Monika Zajac, mgr inż. Łukasz Kopij, NeoStrain Sp. z o.o.

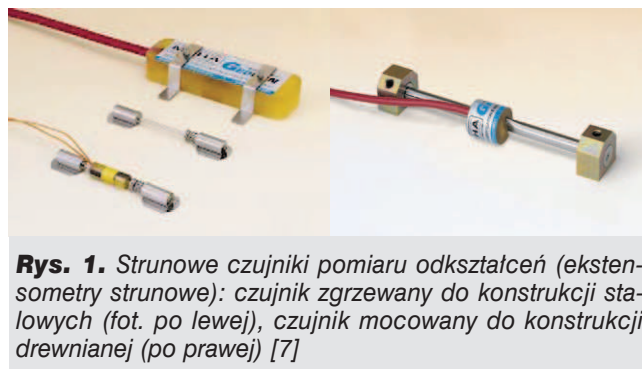
1. Wprowadzenie

Systemy monitoringu konstrukcji kubaturowych i inżynierskich stosowane są w celu podniesienia bezpieczeństwa ich użytkowania. W przypadku systemów dedykowanych do oceny bezpieczeństwa w warunkach obciążenia śniegiem ograniczają one koszty związane z odśnieżaniem (usuwanie śniegu i naprawy pokrycia dachowego po akcji odśnieżania). W 2009 roku wprowadzono w Polsce prawne zalecenie stosowania monitoringu w budynkach użyteczności publicznej [1], a w krajach skandynawskich systemy monitorujące obciążenie śniegiem są stosowane, jako rozwiązanie typowe.

Dzięki zautomatyzowaniu pomiarów możliwe jest jednoczesne zbieranie wielu informacji na temat obciążeń i odpowiedzi konstrukcji na te obciążenia. Na tej podstawie dokonywana jest ocena parametrów bezpieczeństwa charakteryzujących wyężenie konstrukcji [2]. Podstawowymi mierzonymi wielkościami są: obciążenia (np. śniegiem), odkształcenia, kąty obrotu lub przemieszczenia (ugięcia). Pomiaru prowadzone są w reprezentatywnych punktach i obszarach konstrukcji. Szeroki opis zagadnień związanych z monitoringiem konstrukcji można znaleźć w pracach [3, 4, 5].

Bezpośredni pomiar obciążenia śniegiem jest najprostszą formą monitoringu i jest wiarygodny tylko wówczas, jeżeli ocenie podlega ciężar śniegu, a nie grubość pokrywy śnieżnej. Parametry zalegającego śniegu zmieniają się w zależności od warunków klimatycznych i warunków panujących w obszarze zalegania śniegu (na co ma wpływ kształt dachu, wysokość nad terenem, temperatura na powierzchni dachu, sąsiedztwo innych budynków itp.). Istnieją różne metody pomiaru ciężaru śniegu [6], ale najczęściej są one wykonywane ręcznie, co wymaga przeprowadzenia serii pomiarów i może być nieefektywne. Problem ten rozwiązują systemy automatyczne, które poprzez pomiar wielkości fizycznych mogą dać praktycznie ciągłą informację o odpowiedzi konstrukcji na obciążenie. Dla użytkownika istotna jest bowiem informacja o poziomie bezpieczeństwa obiektu, a elementem (nie jedynym) tego bezpieczeństwa jest obciążenie.

Śnieg jest jednym z wielu obciążeń działających na konstrukcję i stanowi niewielki ułamek obciążeń całkowitych. Przyrosty ugięć od tego obciążenia wynoszą najczęściej kilka lub kilkanaście milimetrów, co wymaga stosownej precyzji pomiarów. Pomiar przemieszczeń daje informację o ugięciu np. dźwigara dachowego, ale uzyskanie tej informacji wymaga dodatkowo pomiaru przemieszczeń wszystkich podpór. Założenie, że przemieszczenia wszystkich podpór są jednakowe w warunkach działania także innych obciążeń (poza śniegiem) i ograniczenie w ten sposób liczby punktów pomiarowych, może prowadzić do błędów. Przemieszczenia mierzone są najczęściej za pomocą metod geodezyjnych (tachimetrów, dalmierzy) lub za pomocą hydroniwelatorów, które nie są precyzyjne w odniesie-



Rys. 1. Strunowe czujniki pomiaru odkształceń (ekstensometry strunowe): czujnik zgrzewany do konstrukcji stalowych (fot. po lewej), czujnik mocowany do konstrukcji drewnianej (po prawej) [7]

niu do spodziewanych przemieszczeń. Dalmierze i tachimetry wymagają punktów odniesienia o stałej pozycji. Dla dalmierzy w obiektach kubaturowych takim punktem jest najczęściej posadzka. Utrudnia to zmiany w aranżacji pomieszczeń, a elementy optyki muszą być okresowo czyszczone. Dostęp do czujników nie może być ograniczony, również z uwagi na zastosowanie zasilania czujników za pomocą baterii. Precyzyjny pomiar przemieszczeń możliwy jest za pomocą czujników indukcyjnych, ale rozwiązanie to jest kłopotliwe w instalacji w dużym obiekcie i wymaga stałego zasilania w celu zapewnienia ciągłości pomiarów.

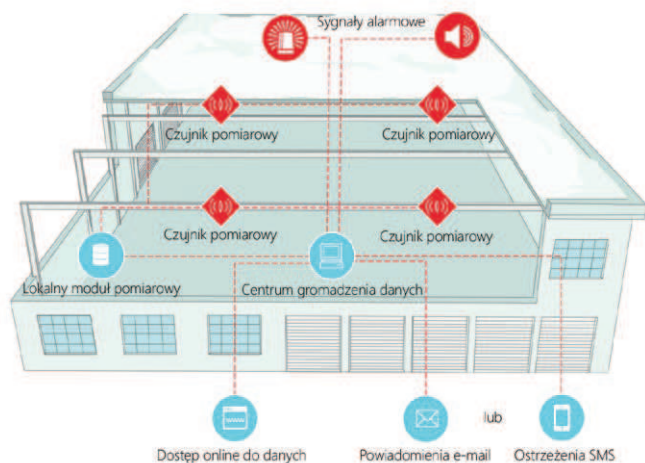
Dzięki pomiarom odkształceń uzyskiwane są dużo większe dokładności. Pomiaru te mogą być wykonywane za pomocą tensometrów elektrooporowych, które jednak są nietrwałe i wymagają stałego zasilania – tak jak

czujniki indukcyjne. Wad tych nie mają ekstensometry strunowe (rys. 1), w których odkształcenia określone są na podstawie częstotliwości drgań wewnętrznej struny oraz czujniki światłowodowe. Obecnie udokumentowane są stabilne pomiary czujnikami strunowymi trwające około 40 lat. Ta technologia pomiarowa jest stosowana w systemie „SnowMonitor” przeznaczonym do oceny bezpieczeństwa związanego z obciążeniem śniegiem w obiektach kubaturowych.

Odpowiednie rozplanowanie miejsc instalacji czujników umożliwia wykrycie obciążeń grawitacyjnych (np. śniegu, wody) i wyeliminowanie wpływów związanych z temperaturą lub wiatrem, co jest utrudnione np. przy zastosowaniu pomiarów przemieszczeń. Istotnym elementem uzupełniającym monitorowanie konstrukcji jest projekt odśnieżania dachu, gdyż niewłaściwa kolejność odśnieżania może doprowadzić do awarii.

2. Budowa systemu monitorowania konstrukcji

System „SnowMonitor” jest rozwijany przez firmę Neostrain i został zaprojektowany do określania poziomu bezpieczeństwa związanego z obciążeniem śniegiem w obiektach kubaturowych. System działa niezależnie od rodzaju materiału użytego do wykonania konstrukcji dachu, ale z uwagi na ciężar konstrukcji działa przede wszystkim w obiektach o konstrukcji stalowej i drewnianej. Nie ma ograniczeń związanych z powierzchnią dachu.



Rys. 2. Schemat systemu monitorowania

System fizycznie składa się ze strunowych czujników odkształceń (wyposażonych w czujniki temperatury), przekaźnika – lokalnych modułów pomiarowych (zmieniających sygnał z czujników na sygnał czytelny dla komputera) oraz z komputera (rys. 2). Całość połączona jest okablowaniem, które służy do zasilania systemu i przesyłania sygnałów z czujników do przekaźników i do komputera. Dzięki tej technologii sygnały nie

są zakłócone, a pomiary mogą odbywać się z dowolną częstotliwością nieograniczoną żywotnością źródła zasilania. Możliwe są zatem również pomiary w lecie. System wyposażony jest również we własne awaryjne zasilanie, aby zapewnić ciągłość działania. W sytuacji całkowitego braku zasilania zebrane informacje nie są tracone.

Czujniki odkształceń montowane są na reprezentatywnych elementach konstrukcji. Takimi elementami są najczęściej typowe dla danego dachu płatywie i dźwigary dachowe. W razie potrzeby czujniki montowane są również w obszarach zalegania śniegu. Czujniki grupowane są w punkty pomiarowe i obszary monitorowania, co służy uproszczeniu okablowania systemu oraz analizie pomiarów.

3. Działanie systemu

Pomimo prostego schematu budowy systemu, jego działanie opiera się na jednoczesnym wykorzystaniu zaawansowanych technologii pomiarowych, elektronicznych i informatycznych. Jego podstawową częścią jest dedykowane oprogramowanie, wzbogacone o moduł ekspercki analizujący dane pomiarowe i wspomagający decyzje użytkownika, który jest informowany o poziomie obciążenia śniegiem (rys. 3). Obserwacje wartości obciążenia i ich zmian w czasie oraz komunikaty generowane przez system wspomagają decyzje dotyczące odśnieżania. Wspomniane komunikaty mogą być wysyłane w postaci wiadomości e-mail lub sms. Dostęp do aplikacji odbywa się za pomocą strony internetowej zarezerwowanej dla uprawnionych użytkowników.

Bieżący poziom obciążenia jest ustalany na podstawie pomiarów odkształceń i porównywany z poziomem maksymalnym. Ten poziom decyduje zaś o bezpieczeństwie konstrukcji. Instalacja „SnowMonitor” obejmuje również wyznaczenie wartości maksymalnych (skalowanie systemu), co decyduje o jego wiarygodności.



Rys. 3. Przykładowa prezentacja wyników pomiarów (interfejs użytkownika)



Rys. 4. Przykładowa konstrukcja dachu



Rys. 5. Przykładowa konstrukcja dachu

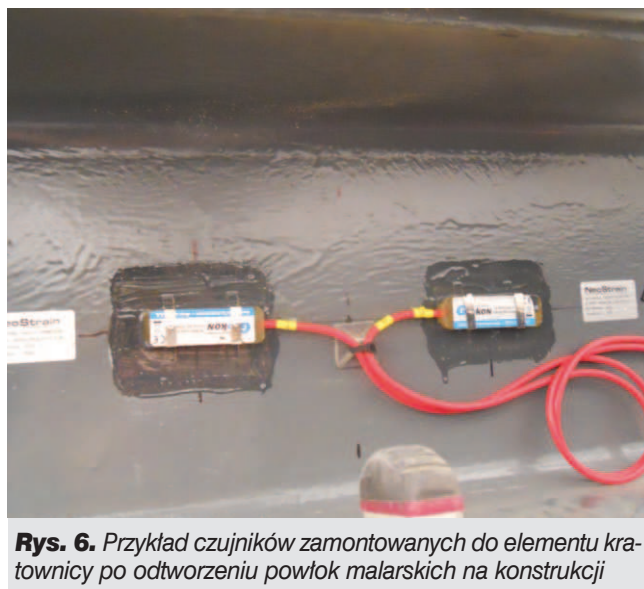
Skalowanie odbywa się w dwóch etapach: pierwotnie na podstawie obliczeń projektowych, a w drugim etapie – zimą, na podstawie obciążenia śniegiem. Daje to dużą pewność co do prawidłowości działania sytemu i umożliwia określenie progów alarmowych, które informują użytkownika o bezpieczeństwie związanym z obciążeniem śniegiem.

Standardowo stosowane są trzy progi: pierwszy informuje o konieczności przygotowania się do odśnieżania, drugi próg wskazuje na konieczność podjęcia odśnieżania, a trzeci sugeruje konieczność opuszczenia budynku przez ludzi. Wszystkie informacje gromadzone są na dysku komputera i dostępne poprzez Internet dla upoważnionych osób.

4. Zastosowanie sytemu i wykonanie

System jest stosowany obecnie w wielu obiektach o różnicowanej powierzchni dachu (od ok. 2 tys. m² do ok. 16 tys. m²) i różnicowanej konstrukcji (rys. 4 i 5). Z uwagi na dążenie do zmniejszenia ciężaru, są to najczęściej lekkie konstrukcje, w których dźwigary dachowe są projektowane jako płaskie kratownice ze stężeniami (rys. 4). Elementem nośnym pokrycia dachu jest blacha trapezowa oparta na płatwiach lub bezpośrednio na dźwigarach.

Czujniki są montowane do konstrukcji zamontowanej na podporach z wykonanym pokryciem dachu, a rzadko – jeszcze przed montażem dźwigarów dachowych na konstrukcji wsporczej. Montaż czujników jest pracochłonną i odpowiedzialną operacją wymagającą doprowadzenia okablowania, punktowego połączenia z konstrukcją poprzez zgrzewanie, odtworzenia powłok zabezpieczających konstrukcję oraz przeprowadzenia kalibracji każdego czujnika. Przykład zamontowanego czujnika na elemencie kratownicy przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Przykład czujników zamontowanych do elementu kratownicy po odtworzeniu powłok malarskich na konstrukcji

Artykuł prezentowany był na Konferencji Awarie Budowlane 2013

BIBLIOGRAFIA

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 marca 2009 r. zmieniające Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. Nr 56, Poz. 461 z 2009 r., § 204, ust. 7
- [2] Sieńko R., Monitorowanie konstrukcji budowlanych a wzrost ich bezpieczeństwa, Przegląd Budowlany, 4/2007
- [3] Huston D., Structural Sensing, Health Monitoring, and Performance Evaluation, CRC Press, 2011
- [4] Mukhopadhyay S. C., Ihara I., Sensors and Technologies for Structural Health Monitoring: A Review. New Developments in Sensing Technology for SHM, LNEE 96, Mukhopadhyay S.C. (Ed.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011
- [5] Balageas D., Fritzen C. P., Güemes A. (Editors), Structural Health Monitoring, ISTE, 2006
- [6] Bednarski Ł., Sieńko Ł., Obciążenie śniegiem obiektów budowlanych, Inżynier Budownictwa, 12/2011
- [7] www.geokon.com. Geotechnical Instrumentation. Geokon, Inc.