



MONIKA ZAJĄC, *monika.zajac@neostrain.pl*

ŁUKASZ KOPIJ, *lukasz.kopij@neostrain.pl*

NeoStrain Sp. z o.o., Kraków

MONITOROWANIE DACHÓW ZWIĄZANE Z OBCIĄŻENIAMI ŚNIEGIEM

MONITORING OF ROOFS UNDER SNOW LOADS

Streszczenie Awarie i katastrofy budowlane, choć rzadkie i mało prawdopodobne to jednak zdarzają się wywołując poważne konsekwencje. Najlepszą gwarancją uniknięcia takiego wydarzenia są odpowiednio sporządzony projekt i prawidłowo wykonana konstrukcja. Zastosowanie systemu monitorowania konstrukcji zwiększa jej bezpieczeństwo poprzez informowanie użytkownika o możliwym zagrożeniu. Monitorowanie związane z obciążeniami śniegiem, jako wyspecjalizowany system, pełni rolę wspomagającą użytkownika w decyzjach związanych z odśnieżaniem dachu, a właściwie najczęściej w decyzji o braku konieczności odśnieżania dając pewność, że decyzja taka jest uzasadniona.

Abstract Breakdowns and collapses of structures are incidental and unlikely, but their consequences are serious. A proper design and construction is the best method to avoid these events. Increase of structural safety can be increased by application of structural health monitoring system informing the user on possible disability. Monitoring for snow load, as a specialised system, supports the user in making decisions on snow removal from a roof and more precisely and generally in making decisions on not removal of snow giving confidence that the decision is reasonable.

1. Wstęp

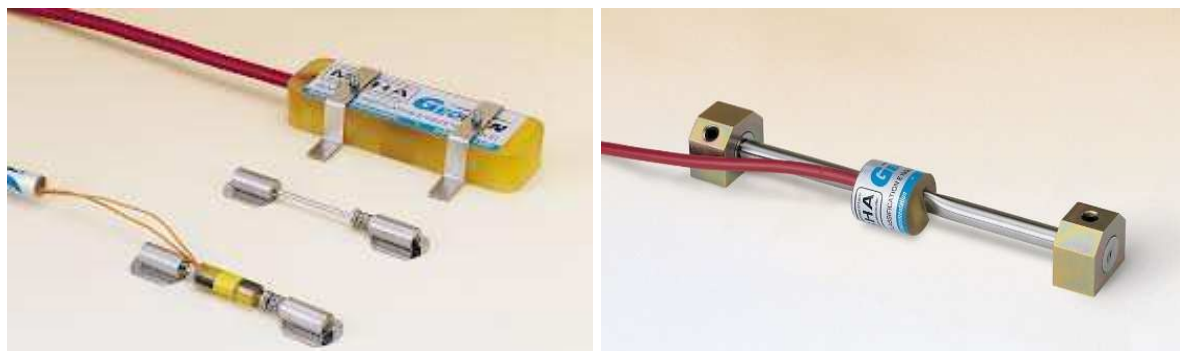
Systemy monitoringu konstrukcji kubaturowych i inżynierskich stosowane są w celu podniesienia bezpieczeństwa ich użytkowania. W przypadku systemów dedykowanych do oceny bezpieczeństwa w warunkach obciążenia śniegiem ograniczają one koszty związane z odśnieżaniem (usuwanie śniegu i naprawy pokrycia dachowego po akcji odśnieżania). W 2009 r. 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). Pomiar 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 odniesieniu 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.



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

Dzięki pomiarom odkształceń uzyskiwane są dużo większe dokładności. Pomiary 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.

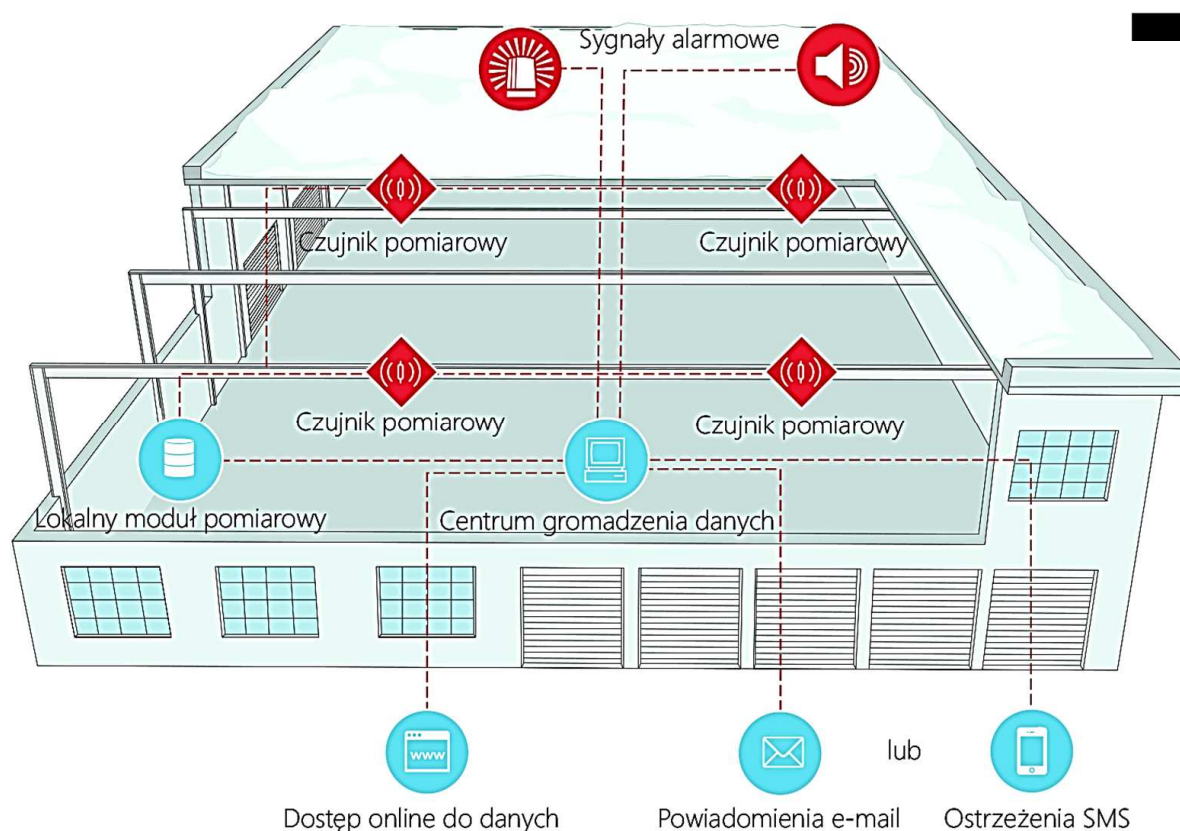
Odpowiednie rozplanowanie miejsc instalacji czujników umożliwia wykrycie obciążeń grawitacyjnych (np. śniegu, wody) i wyeliminowanie wpływów związanych z temperaturą lub wiatrem, co jest utrudnione np. przy zastosowaniu pomiarów przemieszczeń.

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.

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 ciągłości działania. W sytuacji całkowitego braku zasilania zebrane informacje nie są tracone.

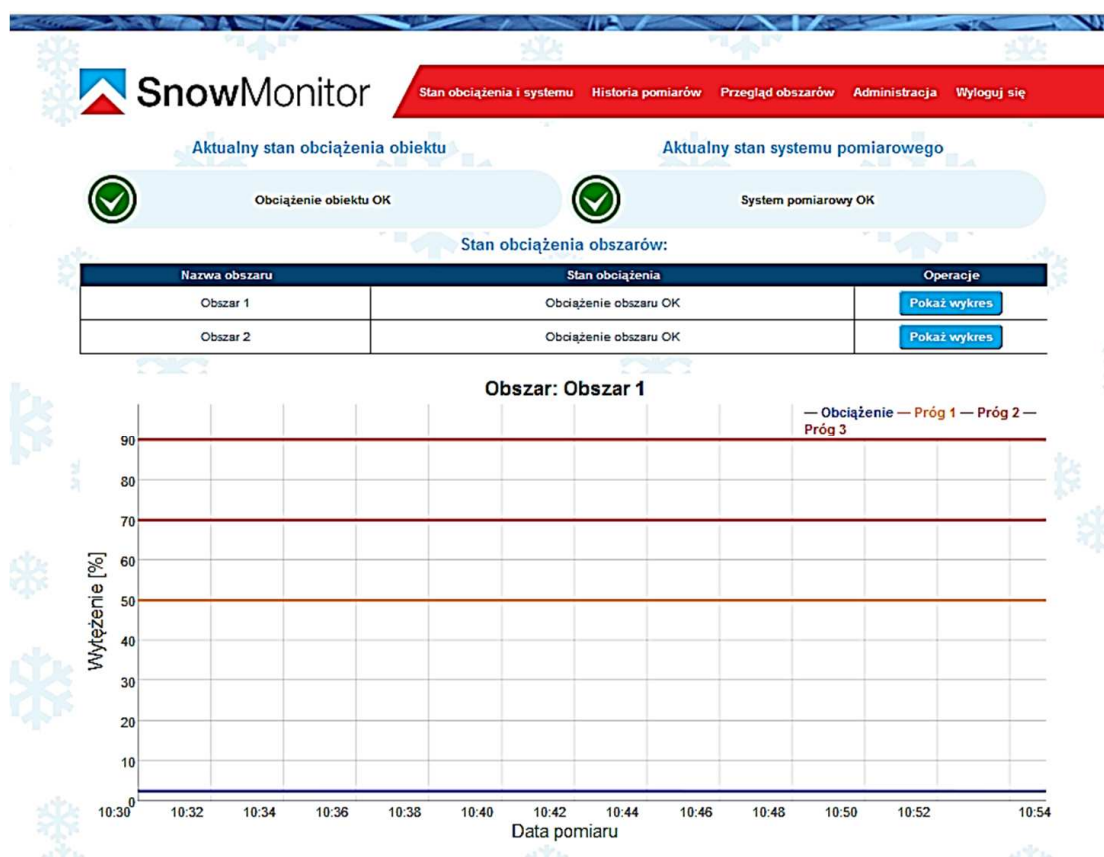


Rys. 2. Schemat systemu monitorowania

Czujnik odkształceń montowane są na reprezentatywnych elementach konstrukcji. Takimi elementami są najczęściej typowe dla danego dachu płatwie 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.



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

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. 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 systemu 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 dla upoważnionych osób poprzez Internet.

4. Zastosowania sytemu i wykonanie

System jest stosowany obecnie w wielu obiektach o zróżnicowanej powierzchni dachu (od ok. 2÷16 tys. m²) i zróżnicowanej 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.



Rys. 4. Przykładowa konstrukcja dachu



Rys. 5. Przykładowa konstrukcja dachu

Czujnik 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 rys. 6.



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

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 marca 2009 r. zmieniające Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. Nr 56, Poz. 461 z 2009r., § 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., (Editors): Güemes A. 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.