



Monitorowanie ugięcia konstrukcji dachów laserowym pomiarem odległości

W celu zapewnienia bezpiecznej pracy konstrukcji dachów obiektów wielkopowierzchniowych ważne jest monitorowanie jej wyteżenia. W takim monitoringu wykorzystuje się pomiar ugięcia konstrukcji dachu pod wpływem obciążeń zmiennych i zmiany obciążeń stałych. Ugięcie, w zgodnej opinii ekspertów, jest wiarygodnym i jedynym mierzalnym stanem konstrukcji określającym wyteżenie. Najlepiej je mierzyć w miejscu, w którym ma największą wartość – najczęściej jest to środek rozpiętości elementu. Dopuszczalna wartość ugięcia jest łatwo wyznaczalna standardowymi narzędziami projektowania i powinna być integralną częścią projektu. Ugięcie najprościej jest mierzyć bezpośrednio, za pomocą laserowego pomiaru przemieszczenia pionowego. Istnieją co najmniej dwa sposoby realizacji takiego pomiaru, pionowy i poziomy, różniące się położeniem promienia lasera w przestrzeni.

Dokładność typowego laserowego pomiaru odległości wynosi 1 mm. Wydawać by się zatem mogło, że dokładność pomiaru ugięcia będzie także podobna. Niestety, dokładność pomiaru ugięcia za pomocą laserowego pomiaru odległości zależy od wybranej metody pomiaru i może być nawet kilkanaście czy kilkadziesiąt razy gorsza.



Laserowe Urządzenie Pomiarowe WISENE Roof Monitoring

W firmie WISENE Roof Monitoring stosowany jest pionowy pomiar laserowy ugięcia (patenty PL217589B1, PL217575B1, PL225173B1, PL217887B1, US2012/0166136A1, EP17001732). W tym przypadku Laserowe Urządzenie Pomiarowe mocowane jest wahlwie w miejscu największego ugięcia (fotografia) i mierzy pionowo zmianę odległości do stabilnego punktu odniesienia równą ugięciu. Pomiar jest całkowicie odporny na błędy, takie jak np. odchylenie promienia lasera od pionu. Jeżeli nawet wystąpiłoby takie odchylenie, np. o $0,12^\circ$, to w budynku o wysokości 15 m dałoby ono błąd pomiaru równy: $15 \text{ m} / \cos(0,12^\circ) - 15 \text{ m} = 15,000032 \text{ m} - 15 \text{ m} = 0,032 \text{ mm}$, czyli pomijalnie mały (ułamek dokładności pomiaru odległości!).

Pomiar pionowy WISENE jest więc metrologicznie idealny (maksymalnie wiarygodny). Idealności tej towarzyszy małe ograniczenie – punkt odniesienia w miejscu pomiaru nie powinien

być zastawiany. Jest to jednak niewielkie ograniczenie, szczególnie że WISENE Roof Monitoring skutecznie wykrywa i eliminuje wpływ większości zakłóceń przez stosowanie inteligentnych algorytmów przetwarzania danych pomiarowych.

W przypadku **pomiaru poziomego** (metoda opatentowana w 2014 r. – Japan Patent No 2004-223236), który próbuje się stosować w tego typu monitoringu, sensor mocowany jest sztywno do słupa w najwyższym dostępnym miejscu (naroże) i mierzy poziomo zmianę odległości od tarczy pomiarowej zamocowanej sztywno w miejscu największego ugięcia i nachylonej pod kątem 45° . W takim wypadku zmiana mierzonej odległości jest równa ugięciu ramy.

W pomiarze poziomym należy spełnić bardzo ważne wymagania – położenie promienia lasera musi być stabilne, a przede wszystkim nie może zależeć od obciążenia ramy. Ugięcie ramy nie powinno mieć żadnego wpływu na nachylenie promienia lasera oraz odległość sensora od tarczy. Niestety konstrukcja, której ugięcie ma być mierzone, nie spełnia najczęściej tego wymagania, jeżeli sensor zostanie bezpośrednio do niej zamocowany, np. w jednonawowym układzie ramowym o rozpiętości 30 m, przy wartości dopuszczalnej obciążenia zmiennego, rama w kalenicy ugina się o 60 mm, a kąt obrotu słupa w narożu wynosi $0,12^\circ$. Jeżeli więc sensor, mierzący poziomo ugięcie ramy w kalenicy, zostanie zamocowany na sztywno w narożniku, to błąd pomiaru będzie równy: $15 \text{ m} \cdot \sin(0,12^\circ) = 15 \text{ m} \cdot 0,002 = 31,4 \text{ mm}$.

W tym przypadku błąd (31,4 mm) wynosi przeszło 50% wartości dopuszczalnej ugięcia (60 mm), a ponadto zaniża wynik pomiaru, co może stanowić poważne zagrożenie bezpieczeństwa obiektu. Należy zwrócić szczególną uwagę na fakt, że taki błąd pomiaru ugięcia jest przeszło 31 razy większy od dokładności laserowego pomiaru odległości!!! Błąd ten można teoretycznie wyeliminować, stosując rozwiązanie stabilizujące położenie promienia lasera lub korekcję wyników pomiaru. Mimo tego pomiar poziomy, ze względu na swoją nadzwyczajną wrażliwość na zmiany położenia osi optycznej, nie rozwinął się w omawianym obszarze zastosowania ani za oceanem, ani w Europie. Z przedstawionego przykładu wynika, że pomiar poziomy jest ok. 1000 razy bardziej wrażliwy od pionowego (31,4/0,032).

Z zaprezentowanego porównania wynika oczywisty wniosek – **zastosowanie dokładnych narzędzi pomiarowych nie gwarantuje uzyskania dokładnych wyników pomiarów. Ze względu na tę ogromną różnicę wrażliwości na niestabilność położenia promienia lasera, firma WISENE, opracowując swój system monitoringu, wybrała pomiar PIONOWY.**

Dzięki wiarygodności, precyzji i stabilności pomiaru pionowego WISENE Roof Monitoring został już zastosowany na przeszło **170 obiektach** o łącznej powierzchni dachów **~ 2 300 000 m²**.

dr inż. Zbigniew Pióro, mgr inż. Marcin Osiniak

Adres do korespondencji: zbigniew.pioro@wisene.pl