

# System monitorowania elementów konstrukcji

Przedmiotem opracowania jest sposób monitorowania elementów konstrukcji, głównie dachów hal (przemysłowych, magazynowych, usługowych itp.), oraz wczesnego ostrzegania przed przekroczeniem stanów granicznych użytkowania i nośności.

obliczenia konstrukcji opisane są normowym algorytmem opartym na wynikach wieloletnich badań obciążeń występujących w naturze. Wśród tych obciążeń w szczególności występują:

- obciążenia własne konstrukcji – ciężar własny konstrukcji,
- inne obciążenia stałe,
- obciążenia zmienne, wynikające na przykład z wpływu czynników, takich jak śnieg, wiatr, temperatura.

Kombinacje sum obciążeń określają najbardziej niekorzystny wariant obciążenia konstrukcji. Na podstawie tych wyników dokonuje się doboru technologii wykonania konstrukcji, doboru materiałów z punktu widzenia ich jakości i właściwości wytrzymałościowych. Zaprojektowana konstrukcja posiada właściwości pozwalające na bezpieczne jej użytkowanie w granicach określonych przez normy i projektanta (do momentu osiągnięcia stanu granicznego nośności i/lub użytkowania). Proces projektowania optymalizowany jest – najczęściej poprzez specjalistyczne programy komputerowe – w celu uzyskania wyniku jak najbardziej zbliżonego do określonej przez normy granicy bezpieczeństwa konstrukcji. Celem i konsekwencją tego procesu jest przede wszystkim optymalizacja kosztów inwestycji przy minimalnym, normowym bezpieczeństwie użytkowania konstrukcji.

Normowe wartości występujących w naturze obciążeń określone zostały jako średnie wartości obliczone w określonym przedziale czasowym, co oznacza występowanie wartości zarówno niższych od średniej, jak i wyższych. W ekstremalnych przypadkach wartości te mogą być przekroczone,

co z kolei powoduje przekroczenie stanów granicznych – normowych, bezpiecznych warunków użytkowania konstrukcji. **Pomimo że konstrukcja była projektowana zgodnie z przepisami i metodyką projektową, te ekstrema obciążeń konstrukcji mogą spowodować katastrofę budowlaną.**

Anormalne zjawiska atmosferyczne powodujące przekroczenie stanów granicznych, które nie były przewidziane na etapie projektowania elementów konstrukcyjnych, stają się zagrożeniem dla bezpiecznego użytkowania obiektów budowlanych. Nasilenie się tych zjawisk powoduje, że użytkownicy obiektów budowlanych zaczynają zdawać sobie sprawę z zagrożeń, jakie nieść mogą potencjalne przekroczenia stanów granicznych.

Nadmierne obciążenia zmienne działające na konstrukcję mogą potencjalnie doprowadzić do katastrofy budowlanej oraz stanowić bezpośrednie zagrożenie dla życia ludzkiego.

Celem nadrzędnym było opracowanie sposobu monitorowania elementów konstrukcji, pozwalającego na wczesne ostrzeganie i reagowanie na przekroczenia dopuszczalnych stanów granicznych, w głównej mierze od obciążeń zmiennych, np. wynikających ze znacznych opadów śniegu. Sposobem tym monitoruje się stany konstrukcji

(ich charakterystyczne parametry), porównuje się te stany ze stanami granicznymi i ostrzega w razie zbliżania do ich przekroczenia. Sposób monitorowania pozwala na wczesne wykrycie niekorzystnych zjawisk lub ich trendów powodujących przekroczenie stanów granicznych i dzięki temu umożliwia podjęcie działań zmniejszających lub eliminujących skutki przekroczenia tych stanów.

Istota opracowania polega na tym, że na elementach konstrukcyjnych montuje się czujniki rejestrujące stany elementów konstrukcyjnych, czujniki te łączy się z systemem przetwarzania danych z czujników zaopatrzonego w urządzenie wczesnego ostrzegania o zagrożeniu w przypadku przekroczenia w którymkolwiek z monitorowanych elementów konstrukcyjnych (za pośrednictwem danych przekazanych z czujników) stanów granicznych, przy czym czujniki dobierane są dla konkretnej konstrukcji, a urządzenie wczesnego ostrzegania skaluje się dla konkretnej konstrukcji tak, aby przed przekroczeniem stanów granicznych wyliczonych dla konkretnej konstrukcji uruchamiał się alarm.

Korzystnie jest, jeżeli **czujniki montuje się w miejscach występowania najbardziej niekorzystnych stanów elementów konstrukcyjnych.**

Pomiar	Masa [kg]	Ciężar Q [N]	[MPa]	[MPa]	Różnica [%]
0	0,00	0,00 (0% Q)	0,00	0,00	0%
1	0,40	3,92 (25% Q)	10,16	10,69	5,21%
2	0,80	7,85 (50% Q)	21,11	21,37	1,27%
3	1,20	11,77 (75% Q)	30,47	32,07	5,25%
4	1,60	15,70 (100% Q)	40,24	42,76	6,26%

Jako urządzenia alarmowego możliwe jest **zastosowanie alarmu** wizualnego, akustycznego, graficznego lub tekstowego przekazu elektronicznego za pomocą sieci komputerowych lub komórkowych.

Pojedyncze systemy monitorowania można łączyć w jeden system dostępny dla poszczególnych użytkowników za pomocą aplikacji komputerowych dostępnych przez internetową sieć komputerową.

Najwrażliwszym elementem sposobu jest poprawne skalibrowanie czujników. Czujniki te muszą zostać dobrane tak, aby ich zakres pomiarowy, w jakich pracują i przekazują wyniki, odpowiadał zmianom stanów elementów konstrukcyjnych od zakresu pracy normalnej, ustabilizowanej, to jest bez występujących obciążeń zmiennych, do zakresu stanów granicznych (maksymalnych dopuszczalnych obciążeń zmiennych). Tylko takie dobranie czujników pozwala na poprawną interpretację wyników oraz poprawne przetworzenie i przekazanie wyników oraz na wczesne ostrzeżenie o zbliżających się stanach granicznych.

Każda konstrukcja wykonana jest z innych elementów konstrukcyjnych, więc i stany tych elementów są różne. Istnieją dwie metody określenia stanów granicznych, a tym samym doboru odpowiednich czujników:

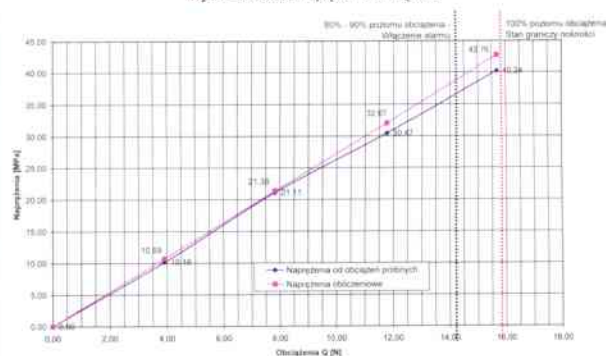
- **metoda obliczeniowa** – metodę tą można stosować, gdy możliwe jest obliczeniowe zdefiniowanie dopuszczalnych naprężeń w elemencie konstrukcyjnym przy określonym maksymalnym obciążeniu elementu konstrukcyjnego (czyli gdy dysponujemy dokumentacją projektową i obliczeniami dla danej konstrukcji);
- **metoda obciążeń próbnych** – możliwa do stosowania, gdy nie jest możliwe obliczeniowe zdefiniowanie dopuszczalnych naprężeń w elemencie konstrukcyjnym przy określonym maksymalnym obciążeniu elementu konstrukcyjnego; w takim wypadku należy elementy konstrukcyjne próbnie obciążyć, czyli świadomie zasymulować maksymalne dopuszczalne obciążenia, i w ten sposób określić stan graniczny nośności poprzez odpowiednie pomiary.

Jako elementy pomiarowe (czujniki) wykorzystywane do monitorowania elementów konstrukcyjnych stosuje się **czujniki tensometryczne** – zmieniające swoją rezystancję wraz ze zmianą swoich wymiarów, służące do pomiarów stanów nośności (pomiar naprężeń konstrukcji) oraz stanów użytkowania (pomiar szerokości rozwarcia rys), oraz **czujniki zegarowe wychyleń** – do pomiarów stanów użytkowania (pomiar ugięcia konstrukcji).

Dla zbadania poprawności otrzymanych z systemu monitorowania wyników poziomu obciążenia elementów konstrukcji przeprowadzono odpowiednie obliczenia oraz doświadczalnie sprawdzono poprawność działania systemu. Ze względu na to, iż opracowano dwie metody określenia stanów granicznych (obliczeniową i obciążenia próbnymi), porównano te metody w pierwszej kolejności dokonując teoretycznych obliczeń dla założonego **elementu konstrukcyjnego oraz dokonania obciążeń** próbnymi identycznego elementu konstrukcyjnego. Taki tok postępowania pozwala porównać metody oraz określić skuteczność systemu monitorowania konstrukcji, jak również określić poziom obciążenia konstrukcji  $Q$ , przy jakim użytkownik powinien zostać poinformowany o zbliżającym się stanie granicznym nośności (z uwzględnieniem czasu, jaki należy zarezerwować dla podjęcia działań ograniczających niekorzystny trend).

Jako dane wyjściowe do obliczeń oraz doświadczeń założono:

- belka stalowa (pręt) o parametrach: wysokość  $h = 0,00545$  m, szerokość  $b = 0,0482$  m, długość  $l = 0,65$  m, moduł Younga dla stali  $E = 210 \cdot 10^9$  Pa;
- belkę obciąża się w schemacie statycznym wspornikowym;
- jako stan graniczny nośności przyjęto wartość obciążenia  $Q = 15,70$  N;
- belkę obciążano kolejno: 0%, 25%, 50%, 75%, 100% wartości  $Q$ ; obliczano oraz odczytywano naprężenia;

 Wykres zależności naprężeń od obciążeń  $Q$ 


- element pomiarowy – czujnik tensometryczny na początku zginanej belki o stałej  $k = 2,15$ .

Wyniki obliczeń występujących w elemencie konstrukcyjnym naprężeń oraz wyniki pomiarów naprężeń od przyłożonych obciążeń próbnymi przedstawiają tabela i wykres.

Porównanie otrzymanych wartości naprężeń od obciążeń próbnymi i obliczeniowych wykazuje, że są one bardzo zbliżone. Różnica otrzymanych wartości jest rzędu 5% i może wynikać z niedokładności przyłożonej siły, niedokładności pomiarów wymiarów belki, niedokładności związanej z odczytem względnego przyrostu napięcia tensometru, niejednorodności struktury materiału. Dlatego poziom, przy jakim opisywany system powinien informować użytkownika o zbliżającym się stanie granicznym, powinien zawierać taką tolerancję, która pozwoli wyeliminować ewentualne błędy metod obliczeniowych i rzeczywistego próbnego obciążenia, jak również przewidzieć czas na reakcję użytkownika na zbliżający się stan graniczny (na przykład poprzez ograniczenie działania obciążeń na element konstrukcyjny). W tym celu alarm informujący ustawia się tak, aby informacja o zbliżającym się stanie granicznym nośności przekazywana była przy poziomie obciążenia rzędu 80–90% wartości  $Q$ .

mgr inż. KRZYSZTOF MAKUCH

„Sposób monitorowania elementów konstrukcji” został zgłoszony jako wynalazek pod numerem zgłoszenia P-381670 i podlega ochronie prawnej w Urzędzie Patentowym RP.

W dniach 30-31 marca odbyła się VII Konferencja „Monitorowanie zagrożeń obiektów inżynierskich”, relacja z konferencji: [www.inzynierbudownictwa.pl](http://www.inzynierbudownictwa.pl)