

prof. dr hab. inż. Leonard Runkiewicz^{1*)}
mgr inż. Jan Sieczkowski²⁾

Monitorowanie stanu bezpieczeństwa obiektów budowlanych w czasie eksploatacji

Safety condition monitoring structures during their use

DOI: 10.15199/33.2015.11.42

(Artykuł przeglądowy)

Streszczenie. W artykule zdefiniowano pojęcie „monitorowanie bezpieczeństwa obiektów budowlanych” oraz wskazano rodzaje obiektów budowlanych, które powinny podlegać monitorowaniu podczas ich eksploatacji. Omówiono zasady działania monitoringu i przykłady zastosowania tego typu systemów na trzech obiektach sportowych.

Słowa kluczowe: monitoring, bezpieczeństwo.

Abstract. The paper specifies what is meant by monitoring the safety of buildings and indicates the type of such buildings that should be subject of monitoring during their use. The principles of monitoring systems have been described and the examples of Structural Health Monitoring systems installed on three sporting objects have been presented.

Keywords: monitoring, safety.

Zgodnie z rozporządzeniem [1] (§ 204 ust. 7). *Budynki użyteczności publicznej z pomieszczeniami przeznaczonymi do przebywania znacznej liczby osób, takie jak hale widowiskowe, sportowe, wystawowe, targowe, handlowe, dworcowe powinny być wyposażone, w zależności od potrzeb, w urządzenia do stałej kontroli parametrów istotnych dla bezpieczeństwa konstrukcji, takich jak: przemieszczenia, odkształcenia i naprężenia w konstrukcji.* Instalowanie urządzeń do stałej kontroli parametrów konstrukcji nie zwalnia z obowiązku wykonywania okresowych kontroli obiektów, wynikających z ustawy Prawo budowlane.

Przez *monitorowanie* rozumie się działania mające na celu wykrywanie zagrożeń w zakresie wymagań podstawowych, po uprzednim ustaleniu rodzajów zagrożeń, jakie mogą wystąpić, tzn. określeniu warunków monitoringu, a także sposobu informowania o zagrożeniu [2]. Monitoring składa się z dwóch podsystemów – obserwacyjnego i ostrzegawczego. Jest cennym źródłem informacji o stanie konstrukcji, które uzyskuje się na podstawie wyników pomiarów osiadań, przemieszczeń, ugięć, odkształceń, temperatury, wilgotności, drgań i innych parametrów, dostarczanych w sposób ciągły lub w ustalonych – zależnie od potrzeb – przedziałach czasu [3].

Systemami monitorowania obejmowane są także obiekty budowlane o szczególnym znaczeniu, jak zapory wodne, stadiony, ha-

le o dużej powierzchni, obiekty na terenach szkód górnictwa, osuwiska, a także obiekty, w których zastosowano unikatowe rozwiązania konstrukcyjne (tj. gdy nie jest możliwa analiza numeryczna lub występuje zwiększona niepewność ustalenia rzeczywistych obciążeń i innych oddziaływań środowiskowych). Mniej rozbudowany monitoring stosowany jest podczas realizacji budownictwa plombowego w gęstej zabudowie, a także w obiektach po przebudowie i wzmocnieniu [4]. Wczesne wykrycie uszkodzeń konstrukcji w trakcie jej użytkowania zapobiega awarii lub katastrofie i pozwala na nieprzerwaną eksploatację obiektu. Największymi zagrożeniami, jakie mogą pojawić się podczas realizacji obiektów, są utrata monolityczności oraz stateczności, a podczas użytkowania – zagrożenie pożarowe, utrata nośności i stateczności.

Charakterystyka systemów monitoringu

Najczęściej stosowane są systemy umożliwiające stałą kontrolę parametrów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo konstrukcji. Mogą one realizować ciągle pomiary różnych wielkości fizycznych, np. odkształceń elementów konstrukcji obiektu. Czujniki instalowane są w miejscach wcześniej wytypowanych na podstawie analiz statyczno-wytrzymałościowych. Wyniki pomiarów odkształceń pozwalają na oszacowanie przyrostu naprężeń w przekroju elementu lub poziomu wyężenia danych fragmentów konstrukcji.

Systemy monitoringu, w zależności od potrzeb, mogą być wyposażane również w inne elementy pomiarowe, takie jak: czujniki temperatury konstrukcji oraz powietrza; czujniki siły i kierunku wiatru; czujniki stopnia

nasłonecznienia oraz wielkości opadów atmosferycznych, w tym śniegu; czujniki parametrów drgań (pomiar szybkościennych odkształceń, amplitudy drgań); urządzenia do obserwacji konstrukcji – kamery przemysłowe. Ważnym zagadnieniem podczas projektowania systemu monitorowania konstrukcji (SKM) jest dobór technologii pomiarowych oraz sposobu interpretacji wyników.

Pewną odmianą systemów zdalnego monitorowania są systemy do monitorowania obiektów budowlanych poddanych wpływom szkód górnictwa. Mogą one realizować pomiary oddziaływań na konstrukcję obiektu lub odpowiedzi konstrukcji obiektu na te oddziaływania. Pomiary oddziaływań na konstrukcję możliwe są przez pomiar odkształceń gruntu, krzywizny deformacji oraz kontrolę zmian stosunków wodnych za pomocą ekstensometrów o długich bazach pomiarowych (nawet kilkadziesiąt metrów), a także klasycznych automatycznych inklinometrów (poziome i pionowe) przeznaczonych do pomiarów ciągłych. Zmiany parcia gruntu oraz oddziaływań spowodowanych zmianami poziomu wód gruntowych określa się, stosując czujniki ciśnienia gruntu, ciśnienia porowego wody i ciśnienia wody.

W przypadku budownictwa plombowego w gęstej zabudowie, wybudowanie części podziemnej nowego budynku wymaga wykonania wykopu, zazwyczaj o głębokości kilkunastu metrów. Przemieszczenia obudowy wykopu, a zatem i podłoża gruntowego, powodują przemieszczenia zabudowy w sąsiedztwie wykopu, które powinny być monitorowane do momentu stabilizacji odkształceń podłoża gruntowego, zwykle kilka lat po zakończeniu budowy. W strefach najbliższej wznoszonych obiektów

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Konstrukcji i Elementów Budowlanych; Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

²⁾ Instytut Techniki Budowlanej

^{*)} Autor do korespondencji:
e-mail: l.runkiewicz@itb.pl

PROBLEMY REMONTOWE W BUDOWNICTWIE OGÓLNYM I OBIEKTACH ZABYTKOWYCH

tów monitoringiem powinny być objęte przemieszczenia:

- pionowe i poziome elementów konstrukcji nośnych (słupy, ściany); w przypadku budynków składających się z kilku oddylatowanych segmentów – każdej oddylatowanej części;
- poziome korony obudowy wykopu oraz na głębokości podpór pośrednich;
- pionowe płyty dennej wznoszonych budynków.

Częstotliwość odczytów powinna być dostosowana do tempa postępu robót budowlanych i może być zmniejszana po wykonaniu części podziemnej budynku [5].

W ostatnich latach coraz częściej stosowana jest w monitoringu obiektów budowlanych metoda emisji akustycznej (EA). Należy ona do grupy metod pasywnych, tzn. aparatura EA nie emituje sygnałów i nie wpływa na stan fizyczny badanego obiektu, a jedynie rejestruje efekty fizyczne samoistnie powstające w monitorowanym obiekcie. Źródłami sygnału emisji akustycznej są: powstające i propagujące mikrorysy, procesy korozyjne, pękanie strun w konstrukcjach sprężonych itp. Aparatura EA rejestruje sygnał generowany w badanym obiekcie w trakcie jego eksploatacji lub podczas testów próbnych [6]. Metoda znajduje coraz szersze zastosowanie w mostownictwie.

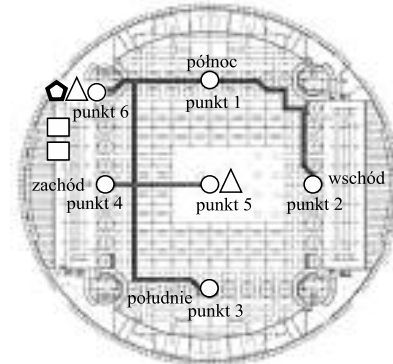
Zastosowania systemów monitoringu

Systemy SMK stosowane są zarówno na potrzeby zapewnienia bezpieczeństwa, jak i utrzymania obiektu. W tym pierwszym przypadku są bardziej rozbudowane i powinny:

- informować o stanie technicznym obiektów budowlanych w czasie rzeczywistym;
- wykrywać uszkodzenia w możliwie najkrótszym czasie;
- informować o możliwości wystąpienia awarii, sygnalizować stan przedawaryjny;
- wysyłać ostrzeżenie w przypadku wystąpienia obciążeń ekstremalnych;
- informować wyznaczone służby o wystąpieniu awarii;
- zbierać i wykrywać nietypowe zdarzenia w zachowaniu się konstrukcji obiektów i informować o tym użytkowników/właścicieli;
- dostarczać dane do weryfikacji procedur projektowych i procedur utrzymania obiektów.

Przykłady zastosowania systemów SMK w obiektach, których awarie mogą spowodować znaczne straty, przedstawiono w [7]. Charakterystyka systemów zainstalowanych na trzech obiektach sportowych:

● **Hala Ergo Arena w Gdańsku** – dach hali jest stalową kratownicą przestrzenną podpartą na czterech betonowych pylonach. System bazuje na pomiarze przemieszczeń pionowych wykonywanych w 5 punktach konstrukcji (rysunek 1). Pomiar w środku dachu jest dodatkowo wykonywany za pomocą systemu laserowego.

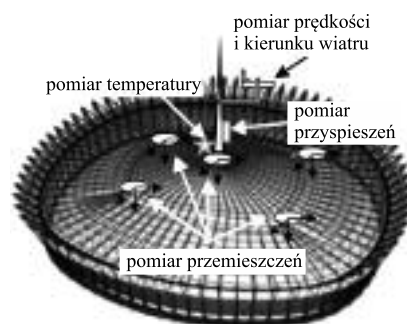


- kamera
- △ laserowy czujnik przemieszczeń
- ◻ czujnik temperatury
- pomiar przemieszczeń

Rys. 1. Położenie punktów pomiarowych w systemie SKM hali Ergo Arena [7]

Fig. 1. – Location of measuring points of SHM system in hall of Ergo Arena

● **Stadion Narodowy w Warszawie** – konstrukcja nośna zadaszenia ramowo-ciężnawą pracująca na zasadzie koła rowerowego – liny ułożone radialnie rozpięte są pomiędzy zewnętrznym pierścieniem ściskającym, wykonanym z rury stalowej („ring zewnętrzny”) a wewnętrznym pierścieniem rozciągającym (podwójnym – górnym i dolnym), wykonanym z lin stalowych („ring wewnętrzny”). W środku konstrukcji nośnej znajduje się iglica. Pierścień zewnętrzny podtrzymywany jest przez słupy stalowe, współpracujące z odciągami i zastrzałami, przenoszącymi obciążenia z górnych lin podtrzymujących dach. System SMK obejmuje 5 punktów pomiarowych przemieszczeń pionowych (1 na iglicy i 4 na pierścieniu wewnętrznym – rysunek 2) za pomocą tachimetru automatycznego, po-



Rys. 2. System SMK Stadionu Narodowego w Warszawie [7]

Fig. 2 – SHM system National Stadium in Warsaw

miar przyspieszenia, temperatury konstrukcji oraz stację meteorologiczną.

● **Stadion PGE Arena w Gdańsku** – konstrukcja zadaszenia trybun składa się z 82 przestrzennych kratownicowych wiązarów stalowych w formie łuków sierpowych, wspartych na fundamentach lub na poziomej części konstrukcji żelbetowej. Wiązary główne połączone są ze sobą elementami obwodowymi tworzącymi zamknięte pierścienie, a dodatkowo usztywnione stężeniami prętowymi w kształcie X. System SMK składa się z 16 czujników pomiaru przemieszczeń pionowych, 16 pomiaru przyspieszeń, 256 pomiaru odkształceń i temperatury, 16 pomiaru prędkości i kierunku wiatru, 4 urządzeń do pomiaru grubości powłoki śniegu i 4 kamer.

Podsumowanie

Monitorowanie obiektów budowlanych jest niezbędnym elementem ich bezpiecznej eksploatacji. W przypadku obiektów o bardzo dużych konsekwencjach zniszczenia od niedawna stosowane są systemy automatycznego monitorowania (SMK), w przypadku których nie wypracowano zasad ich projektowania i użytkowania. O zakresie SMK powinni decydować autorzy projektów, rzeczoznawcy i właściciele (użytkownicy). Stosowanie rozbudowanych systemów SMK nie może zastąpić wymaganych przez przepisy prawne przeglądów technicznych obiektów budowlanych.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 r., nr 75, poz. 690, z późn. zm.).
- [2] Witakowski P.: Zdalne monitorowanie obiektów budowlanych podczas budowy i eksploatacji. Czasopismo Techniczne nr 1-Ś/2007. Biblioteka cyfrowa Politechniki Krakowskiej.
- [3] Witakowski P. i inni: System kompleksowego zarządzania jakością w budownictwie. Bezdotykowe metody obserwacji i pomiarów obiektów budowlanych. z. 443/2009 w serii „Instrukcje, Wytyczne, Poradniki” ITB, Warszawa 2009 r.
- [4] Krentowski J., Mackiewicz M., Matulewicz S.: Monitorowanie stanu obiektów budowlanych eksploatowanych po prośbie wzmocnienia. Przegląd Budowlany nr 4/2015.
- [5] Runkiewicz L.: Diagnostyka oraz monitoring budynków znajdujących się w sąsiedztwie realizowanych obiektów plombowych w miastach. Przegląd Budowlany nr 1/2008.
- [6] Ranachowski Z.: Emisja akustyczna w diagnostyce obiektów technicznych. Drogi i Mosty nr 2/2012.
- [7] Wilde K.: Systemy monitoringu konstrukcji obiektów budowlanych. XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane” Międzydroje, 2013 r.

Przyjęto do druku: 30.09.2015 r.