

MONITORING KONSTRUKCJI STALOWYCH



Część 6

Przykładowe systemy



dr inż. Stanisław Wierzbicki
Instytut Inżynierii Budowlanej
Wydział Inżynierii Lądowej
Politechnika Warszawska

Zobrazowaniem możliwości praktycznych aplikacji systemów monitoringu technicznego konstrukcji mogą być zrealizowane systemy różnych typów konstrukcji.

W artykule przedstawiono przykładowe, zasadniczo różne rozwiązania monitoringu: system monitoringu konstrukcji budynku handlowego, system monitoringu konstrukcji budynku użyteczności publicznej (widowiskowo-sportowego), a także system monitoringu zadaszenia stadionu.

System monitoringu technicznego konstrukcji budynku handlowego

System monitoringu technicznego zrealizowano jako instalację pilotażową w wielkopowierzchniowym obiekcie handlowym zlokalizowanym w północno-wschodnim rejonie Polski, a więc w strefie dużych opadów śniegu [3, 4]. Obiekt ma wymiary w rzucie około 120x195 metrów. Konstrukcją budynku stanowi układ wieloprzęsłowych ram z dwuteowników blachownicowych, o rozpiętościach przęsł 15,5-22 m, i opartych na nich płatwi kratowych o rozpiętościach 12-18 metrów. Fragment konstrukcji przedstawiono na rys. 1. System został opracowany w ramach projektu MONIT [M1], w formule partnerstwa uczelniano-prywatnego Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej (lider i jednostka wdrażająca) z WiSeNe Sp. z o.o. [3, 4].

System zaprojektowano jako hybrydowy, składający się z podsystemu „on-line”, zainstalowanego w obiekcie i wspomagającego podsystem „off-line” znajdujący się poza obiektem. Podsystem zainstalowany w obiekcie składa się z jednostki centralnej z transceiverem, 18 urządzeń pomiarowych oraz urządzeń retransmisyjnych. Zarówno komunikacja pomiędzy wszystkimi zainstalowanymi w obiekcie urządzeniami, jak i ich zasilanie są realizowane bezprzewodowo, a jedynym elementem systemu wymagającym zewnętrznego źródła zasilania jest zarządzająca systemem jednostka centralna. Poszczególne urządzenia systemu komunikują się pomiędzy sobą z wykorzystaniem radiowej transmisji danych z wieloskokiem, a komunikacja z systemem jest możliwa przez stronę WWW z wykorzystaniem routera GSM. System systematycznie zbiera, przetwarza i analizuje informacje z urządzeń pomiarowych – zmiany przemieszczeń/ugięć reprezentatywnych elementów pod wpływem oddziaływań klimatycznych, np. obciążenia śniegiem lub wodą opadową. System jest dostępny dla użytkowników z różnymi uprawnieniami, definiowanymi w trakcie instalacji systemu i ew. redefiniowanymi poprzez stronę WWW.

System bazuje na pomiarach przemieszczeń, które realizowane są przez urządzenia pomiarowe (rys. 2) wyposażone w dalmierze laserowe wykonujące pomiary odległości elementów konstrukcji, do których są przymocowywane, od bazy pomiarowej – w tym przypadku posadzki hali. Dodatkowo urządzenia realizują pomiary temperatury czujnikami wewnętrznymi i satelitarnymi zewnętrznymi, a także zapewniają komunikację z pozostałymi elementami systemu.

Schemat instalacji przedstawiono na rys. 3 [3]. Liczba i rozmieszczenie urządzeń pomiarowych były kompromisem pomiędzy potrzebą uzyskania wyników reprezentatywnych dla całej konstrukcji a funkcjonalnością systemu, ograniczoną sposobem użytkowania obiektu i kosztami.

Pracą zainstalowanego w obiekcie podsystemu „on-line” zarządza jednostka centralna, zbierająca i przetwarzająca dane pomiarowe oraz generująca na tej podstawie, komunikaty o stopniu zagrożenia przeciążeniem konstrukcji obiektu i stanie systemu, a także umożliwiającą komunikację pomiędzy systemem a użytkownikami. Jednostka centralna, jako jedyne urządzenie podsystemu „on-line”, zasilana jest z sie-

ci energetycznej, a w przypadku awarii sieci przelacza się automatycznie na zasilanie z wbudowanego UPS. Częścią jednostki centralnej jest transceiver – radiowy układ nadawczo-odbiorniczy, umieszczony w niezależnej obudowie, pracujący w paśmie 2,4 GHz, według standardu IEEE-802.15.4.

Zainstalowany w obiekcie system „on-line” wykrywa szereg zdarzeń natury obiektowej, dotyczących monitorowanej konstrukcji, a także natury systemowej, związanych z działaniem samego systemu, reagując na nie odpowiednimi komunikatami: informacjami (brak wymaganej reakcji), ostrzeżeniami (wymóg inspekcji i ewentualnie interwencji) lub alarmami (wymóg bezwzględnej interwencji).

Najważniejszym zdarzeniem wykrywanym przez system jest przekraczanie kolejnych poziomów (tzw. wartości progowych) przemieszczenia/ugięcia elementów konstrukcji w miejscach instalacji czujników. Na podstawie porównania mierzonych wartości zmiany przemieszczeń/ugięcia z wartościami progowymi określany jest stopień zagrożenia przeciążeniem konstrukcji/wykorzystania nośności elementów konstrukcji, a na tej podstawie – rodzaj generowanego komunikatu. Dla każdego punktu pomiarowego zdefiniowana jest indywidualna wartość dopuszczalnej zmiany ugięcia od obciążeń występujących po zainstalowaniu systemu oraz następujące wartości progowe tej zmiany:

- L1 – wartość względna, równa 30% dopuszczalnej zmiany przemieszczenia/ugięcia,
- L2 – wartość względna, równa 50% dopuszczalnej zmiany przemieszczenia/ugięcia,
- L3 – wartość względna, równa 70% dopuszczalnej zmiany przemieszczenia/ugięcia,
- L4 – wartość względna, równa 100% dopuszczalnej zmiany przemieszczenia/ugięcia.

Przekraczanie kolejnych wartości progowych determinuje typ komunikatów generowanych przez system (informacje, ostrzeżenia i alarmy), częstotliwość pomiarów (podwajanie wraz z kolejnymi progami) oraz pożądane działania użytkowników (inspekcja lub interwencja). Standardowy czas pomiędzy kolejnymi pomiarami przyjęto jako $T = 6$ godz. w sezonie letnim i $T = 3$ godz. w sezonie zimowym, przy czym czas ten może być indywidualnie korygowany.

W celu wyeliminowania błędnych pomiarów, wynikających np. z przesłonięcia wiązki lasera przez przechodzącego człowieka czy przedmiot o dużych gabarytach, określono również wartość progową skokowej zmiany przemieszczenia w każdym punkcie, rozumianą jako maksymalna, realna wartość zmiany przemieszczenia pomiędzy kolejnymi pomiarami. Przekroczenie tej wartości wiąże się z wykonaniem przez system procedury weryfikacji wyniku pomiaru, polegającej generalnie na zignorowaniu nierealnego pomiaru i powtórzeniu procedury pomiarowej, a w ostateczności poinformowaniu użytkownika o zakłóceniu.

Wystąpienie określonego zdarzenia powoduje wygenerowanie odpowiedniego komunikatu, który zostaje rozesłany do wybranych użytkowników w postaci wiadomości SMS i/lub e-mail. Ponadto komunikat ten jest sygnalizowany na stronie WWW systemu, a niektóre komunikaty są także wizualizowane za pomocą kontrolerek na płycie czołowej kontrolera. Odbiór wszystkich komunikatów typu Alarm i Ostrzeżenie wymaga potwierdzenia przez jednego z użytkowników.

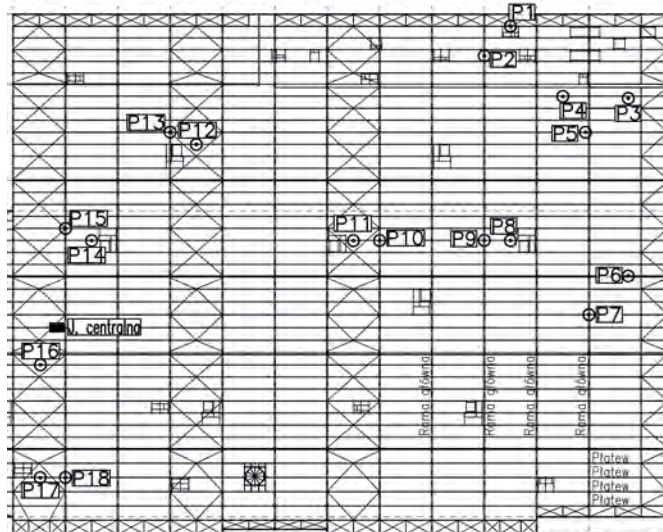
Ważnym elementem systemu jest podsystem „off-line”, którego główną częścią jest model numeryczny (rys. 4) [3], opracowany przy wykorzystaniu oprogramowania Autodesk Robot Structural Analysis Professional. Model obejmuje wszystkie główne elementy konstrukcji nośnej, a więc układy ramowe, oparte na nich płatwie kratowe, stężenia dachowe oraz drugorzędne konstrukcje żelbetowe. Model jest wykorzystywany okresowo – przyjęto, że standardowo analiza konstrukcji z wykorzystaniem modelu numerycznego jest prowadzona po przekroczeniu wartości progowej L3 w dowolnym punkcie, tzn. wtedy, kiedy zachodzi potrzeba rozpoczęcia procesu odśnieżania dachu. Modelowane jest wtedy obciążenie konstrukcji śniegiem o lokalnie różnicowanych wartościach generujących ugięcia odpowiadające wartościom zarejestrowanym w poszczególnych punktach pomiarowych.



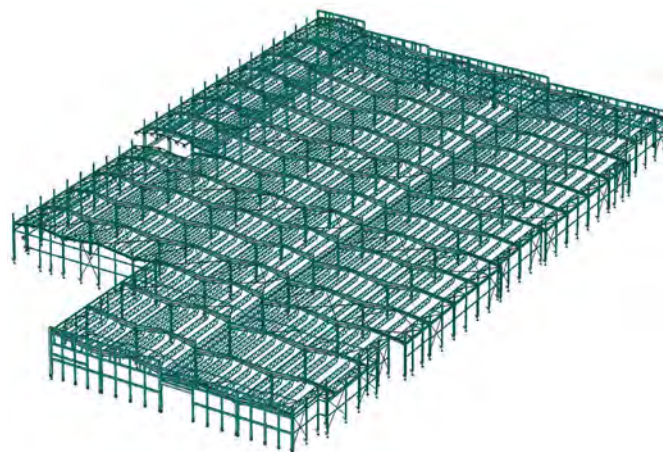
Rys. 1. Fragment konstrukcji hali



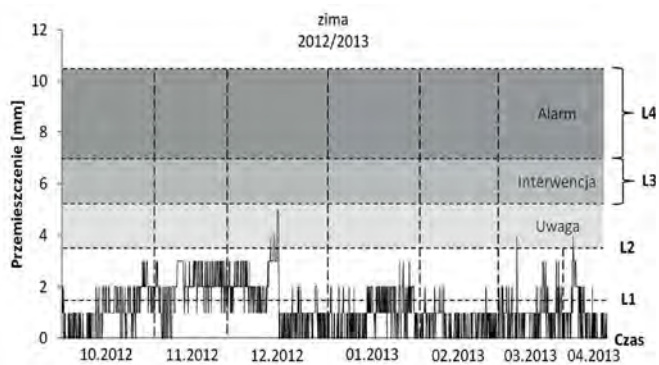
Rys. 2. Urządzenie pomiarowe z dalmierzem laserowym



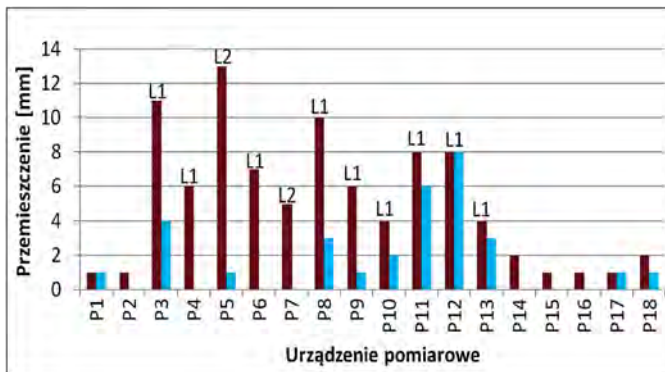
Rys. 3. Schemat podsystemu zainstalowanego w obiekcie [3]



Rys. 4. Model numeryczny konstrukcji obiektu [3]



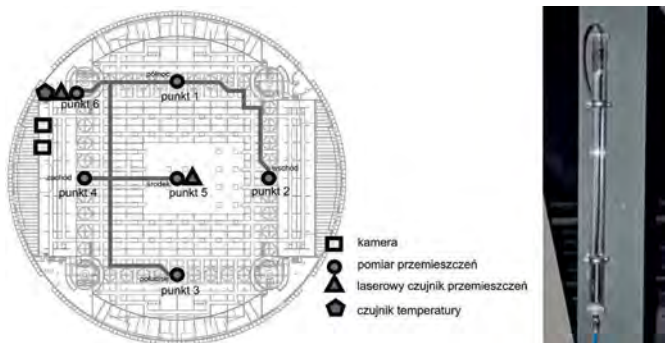
Rys. 5. Przemieszczenia w punkcie P7 w okresie zimowym 2012/2013 r. [3]



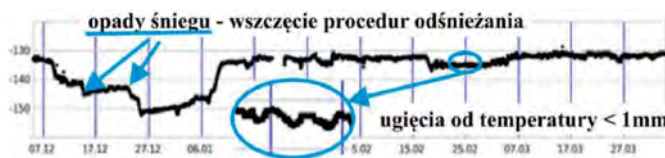
Rys. 6. Zmiany przemieszczeń około 18/19 grudnia 2012 r. [3]



Rys. 7. Hala widowiskowo-sportowa [5]



Rys. 8. Rozmieszczenie punktów pomiarowych [6] oraz przykładowy czujnik pomiaru przemieszczeń systemu monitoringu [M2]



Rys. 9. Wykres przemieszczeń w okresie 3.12.2010 - 14.04.2011 r. [5]

Wyniki pomiarów były na bieżąco archiwizowane i interpretowane. Na rys. 5 [3] przedstawiono wykresy zmian przemieszczeń/ugięć w przykładowym punkcie pomiarowym. Z analizy wyników pomiarów (także w pozostałych punktach) wynika, że w analizowanym okresie jedynie w dwóch miejscach (P7 i P5) wystąpiło przekroczenie wartości progowej L2 (50% charakterystycznego obciążenia śniegiem), które wskazywało na możliwość zaistnienia sytuacji wymagającej odśnieżania dachu, ale nie oznaczało jeszcze konieczności podjęcia takich działań. Jednocześnie z historii zmian wynikają znaczące spadki wartości mierzonych przemieszczeń, rejestrowane w krótkim czasie w niektórych punktach pomiarowych, co może wskazywać na podjęcie przez właściciela działań związanych z odśnieżaniem dachu, np. pomiary w punkcie P7 z grudnia 2012 r. – rys. 5 i 6 [3]. Należy zaznaczyć, że wyniki pomiarów nie wskazywały na taką konieczność.

System monitoringu technicznego konstrukcji hali widowiskowo-sportowej

Hala widowiskowo-sportowa Ergo Arena na granicy Gdańska i Sopotu jest przewidziana na około 15 tys. widzów (w tym ponad 11 tys. miejsc siedzących) – rys. 7 [5].

Obiekt jest przystosowany zarówno do imprez sportowych, jak i do różnego typu widowisk, w związku z czym konstrukcja zadaszenia została zaprojektowana do przyjmowania znacznych obciążeń instalacjami i elementami dekoracji teatralnych. Główną konstrukcją dachu nad płytą (boisko/widownia) obiektu stanowi przestrzenny ustrój kratowy o wysokości osiowej 5,6 m i rozpiętości 66,6x70,6 m, oparty w czterech punktach (naroża) na żelbetonowych pylonach, stanowiących jednocześnie ciągi komunikacyjne. Na głównej konstrukcji zadaszenia płyty oparte są dźwigary kratowe, stanowiące konstrukcję nośną zadaszenia nad widownią.

W obiekcie zainstalowano, opracowany przez Wilde Engineering Sp. z o.o. system monitoringu technicznego konstrukcji zadaszenia, wykonujący pomiary przemieszczeń w 5 punktach z dokładnością do 1 mm – rys. 8 [6, M2]. Metoda pomiarów wykorzystuje system naczyń połączonych i działa na zasadzie niwelatora hydrostatycznego. W środkowym punkcie dachu zainstalowano dodatkowy pomiar przemieszczeń czujnikiem laserowym. System obejmuje także jeden punkt pomiaru temperatury oraz 2 kamery do obserwacji śniegu zalegającego na dachu. Wykres przemieszczeń środka dachu hali widowiskowo-sportowej w okresie 2.12.2010 – 14.04.2011 r., z widocznym odwzorowaniem opadów śniegu i odśnieżania przedstawiono na rys. 9 [5].

System monitoringu zadaszenia Stadionu Narodowego (PGE Narodowego)

Stadion Narodowy w Warszawie (aktualna nazwa PGE Narodowy) został oddany do użytku w 2012 r. i jest największym tego typu obiektem w Polsce. Stadion o całkowitej powierzchni ponad 200 tys. m² (w tym ponad 70 tys. m² części nadziemnej) jest przewidziany na 58 tys. widzów. Główną konstrukcją zadaszenia ma kształt eliptycznego koła rowerowego o wymiarach w rzucie, w osiach głównego pierścienia zewnętrznego, około 244x286 metrów. Głównym elementem podtrzymującym zadaszenie jest ściskany pierścień obwodowy (rura Ø1820x80 mm), oparty na 72 rurowych słupach. Do pierścienia i zlokalizowanych nad słupami zastrzałów mocowane są liny tworzące przestrzenny układ podtrzymujący, zlokalizowaną w osi stadionu iglicę – rys. 10 [2], rys. 11 oraz rys. 12 [1].

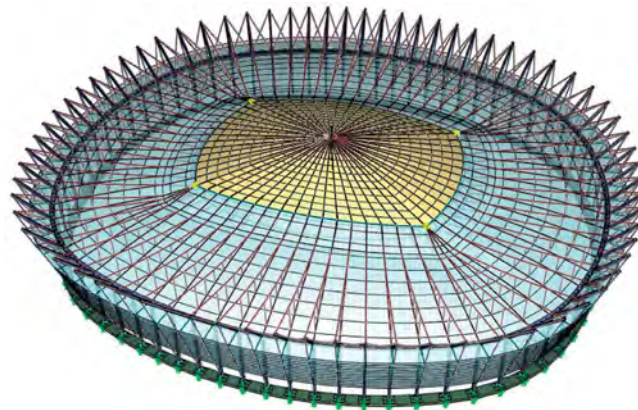
System monitoringu konstrukcji zadaszenia Stadionu Narodowego (PGE Narodowego), opracowany przez NeoStrain Sp. z o.o., bazuje głównie na przemieszczeniach i przyspieszeniach. Pomiar przemieszczeń jest realizowany przez umieszczony na trybunach (w najwyższym punkcie) tachimetr automatyczny i obejmuje 28 punktów pomiarowych (P) oraz 2 punkty referencyjne umieszczone w stałych punktach trybun – rys. 13. Punkty pomiarowe (P) umieszczone są na iglicy, na linach głównych (podtrzymujących iglicę), na wewnętrznym ringu rozciągającym oraz na zewnętrznym pierścieniu ściskającym. Dodatkowy pomiar przemieszczeń, realizowany przy pomocy GPS, dotyczy iglicy. Drugą mierzoną wielkością są przyspieszenia (A) – akcelerometry umieszczono na iglicy oraz

na wewnętrznym ringu rozciągającym. Na linach głównych, na ringu wewnętrznym oraz na pierścieniu ściskającym, zainstalowano czujniki temperatury (T). System monitoringu obejmuje także, mierzącą prędkość i kierunek wiatru oraz wilgotność i temperaturę powietrza, umieszczoną nad dachem stacją pogody (SP), a także monitoring wizyjny (K) zastoisk wody i śniegu na dachu, wykorzystujący tyczki (W) do pomiaru grubości pokrywy śnieżnej.

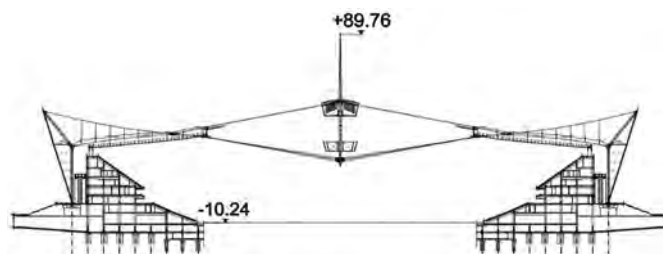
Pomiary są wykonywane i rejestrowane co ok. 20 minut. Za zbieranie i przetwarzanie danych pomiarowych są odpowiedzialne lokalne stacje akwizycji danych. Zarządzaniem systemem zajmuje się zainstalowane na serwerze oprogramowanie, które obejmuje następujące moduły:

- moduł akwizycji, zbierający i wstępnie przetwarzający dane z czujników i urządzeń,
- moduł analizy danych, przetwarzający na bieżąco dane, w tym z wykorzystaniem modelu numerycznego,
- moduł decyzyjny, odpowiedzialny za podejmowanie, na podstawie wyników pomiarów z odpowiednich punktów pomiarowych, decyzji dotyczących stanu konstrukcji, z uwzględnieniem zdefiniowanych wartości progowych (analogicznie jak w przypadku systemu opisanego w punkcie 6.1), których przekraczanie uruchamia odpowiednie procedury,
- moduł raportowania, alarmów i powiadomień, odpowiedzialny za generowanie raportów, informacji, ostrzeżeń lub alarmów (odpowiednio do przekraczanych progów) oraz przesyłanie tych raportów i komunikatów do uprawnionych użytkowników,
- moduł wizualizacji, umożliwiający przegląd i analizę zarchiwizowanych danych.

Dostęp do systemu jest możliwy przez stronę WWW.



Rys. 10. Ogólny schemat konstrukcji zadaszenia Stadionu Narodowego (PGE Narodowego) [2]



Rys. 11. Przekrój przez konstrukcję zadaszenia stadionu

REKLAMA

LASEROWY MONITORING KONSTRUKCJI DACHU



Redukcja kosztów utrzymania



Poprawa bezpieczeństwa



Zwrot inwestycji już po pierwszym sezonie



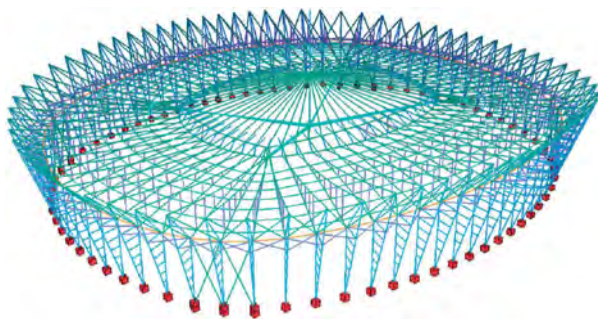
Pomiar poziomy w płaszczyźnie dachu



Rys. 12. Widok fragmentu zadaszania stadionu [1]



Rys. 13. Rozmieszczenie czujników i elementów systemu monitoringu w przekroju



Rys. 14. Model numeryczny konstrukcji stadionu – schemat [7]

Model numeryczny, wykorzystywany do analizy numerycznej konstrukcji, został opracowany przy pomocy programu SOFiSTiK, używanego także na etapie projektowania konstrukcji – schemat przedstawiono na rys. 14 [7].

Abstract. Monitoring of steel structures. The whole series (Monitoring of steel structures – Builder July 2016 – January 2017) describes the topic of construction design technical monitoring, including the expected results of their use, its formal and legal conditions, as well as the advantages of it. A brief overview of the measuring methods used in the monitoring systems has been described, along with the technical possibilities of their application, as well as general rules of designing monitoring systems, solutions and method adjustment to the type and complexity of a building's construction. The choice of elements and places to be monitored has been presented, as well as system configuration tips. The problem has been illustrated by construction design monitoring system examples.

Keywords: monitoring, measurement systems and devices, construction design, steel structures.

Bibliografia:

- [1] Cwyl M., Wierzbicki S., *Konstrukcje stalowe o dużych rozpiętościach*, VADEMECUM Konstrukcje Budowlane, Wydawnictwo Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa Sp. z o.o., Warszawa 2015, s. 12-15.
- [2] Raport końcowy z realizacji projektu MONIT: Monitorowanie stanu technicznego konstrukcji i ocena jej żywotności, Politechnika Warszawska, Warszawa 2013.
- [3] Wierzbicki S., Giżejowski M., Kwaśniewski L., *Systemy „MONIT” technicznego monitorowania stanu bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych. Aktualne Problemy Budownictwa Metalowego*, Seria: Monografie Zespołu Konstrukcji Metalowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014, s. 201-220.
- [4] Wierzbicki S., *Monitoring of Structure of Industrial Building on the Example of the WiSeNe MONIT System*, „Structure and Environment”, vol. 6, no. 4/2014, Kielce University of Technology, s. 17-23.
- [5] Wilde K., *Systemy monitoringu konstrukcji obiektów budowlanych*, XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane” Szczecin – Międzyzdroje 2013, s. 123-140.
- [6] Wilde K., *Zautomatyzowane systemy monitoringu technicznego dachów stalowych*, 56. Konferencja Naukowa KILiW PAN oraz KN PZITB, Krynica 2010, Wyd. Konf., tom 2, s. 729-736.
- [7] Żółtowski K., Drawo M., *Stadion Narodowy. Model statyczny do monitoringu Konstrukcji*, XXVII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin – Międzyzdroje 2015, s. 285-292.

Materiały informacyjne ze stron internetowych

- [M1] www.monit.pw.edu.pl
- [M2] www.wilde-engineering.pl

W przygotowaniu niektórych fragmentów cyklu wykorzystano wyniki badań zrealizowanych w projekcie MONIT, w zakresie monitoringu konstrukcji obiektów kubaturowych – www.monit.pw.edu.pl [M2].

REKLAMA



WINDYKACJA NA KOSZT DŁUŻNIKA

- BRAK OPŁAT WSTĘPNYCH
- 8 MILIONÓW SPRAW PRZYJĘTYCH DO OBSŁUGI
- NAJWYŻSZE LOKATY W RANKINGACH SKUTECZNOŚCI
- OGÓLNOPOLSKI ZASIĘG WINDYKACJI TERENOWEJ
- WINDYKACJA NALEŻNOŚCI W BRANŻY BUDOWLANEJ

