

MONITORING KONSTRUKCJI STALOWYCH

PARTNER TEMATU



Część 2



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

Najprostsze zarówno w realizacji, jak i w interpretacji są pomiary przemieszczeń, które pozwalają uzyskać informacje o zachowaniu się elementu/ustroju konstrukcyjnego albo dużego fragmentu konstrukcji.

Realizacja systemu monitoringu konstrukcji jest poprzedzona analizami numerycznymi ustroju nośnego, na podstawie których podejmowane są decyzje o wyborze wielkości fizycznych i zjawisk do monitorowania, lokalizacji miejsc i wymaganej dokładności pomiarów oraz określone są metody ich realizacji. W tej fazie definiowany jest też sposób analizy wyników pomiarów i generowania, wynikających z niej sygnałów i informacji – podejmowana jest decyzja o wykorzystaniu standardowych modułów eksperckich lub ewentualnym rozbudowaniu systemu o moduł obliczeniowy umożliwiający bieżącą analizę numeryczną konstrukcji z wykorzystaniem wyników pomiarów.

Pomiary i urządzenia pomiarowe

Zwykle największa, a co za tym idzie, bardzo istotna część systemu monitoringu jest związana z pomiarami realizowanymi w obiekcie – stanowią ją więc zainstalowane w obiekcie różnego typu urządzenia pomiarowe.

W zależności od możliwości systemu oraz od rodzaju konstrukcji i wynikających stąd wymagań i ograniczeń mierzone/monitorowane są najczęściej takie wielkości jak przemieszczenia, odkształcenia, temperatura i charakterystyki dynamiczne, a ponadto mogą być monitorowane zjawiska pogodowe oraz stosowane metody wizyjne służące obserwacji konkretnych miejsc konstrukcji lub związanych z nią całych obszarów.

Najprostsze zarówno w realizacji, jak i w interpretacji są pomiary przemieszczeń, które pozwalają uzyskać informacje o zachowaniu się elementu/ustroju konstrukcyjnego albo dużego fragmentu konstrukcji. Jednocześnie przemieszczenie jest wielkością bardzo charakterystyczną dla konstrukcji i dobrze odzwierciedla jej zachowanie się pod obciążeniem. Pomiary odkształceń pozwalają z kolei uzyskać lokalne informacje o zmianach w konkretnych miejscach – jak pokazuje praktyka, są one jednak trudniejsze w interpretacji, a co za tym idzie, prawidłowa ocena tych wyników następuje pewnych trudności. Pomiar temperatury jest często trak-



Satelitarny
czujnik
temperatury

Rys. 1. Urządzenie pomiarowe z dalmierzem laserowym



Rys. 2. Tachimetr automatyczny Leica (M1)



Rys. 3. Odbiornik GNSS (M4)

towane w systemach monitoringu jako pomocniczy, co wynika z faktu, że w wielu przypadkach typowych ustrojów nośnych zmiany temperatury w zakresach właściwych dla konstrukcji eksploatowanych wewnątrz obiektów nie wpływają znacząco na zachowanie się ustroju. Jeżeli chodzi o zjawiska dynamiczne, to są one monitorowane tylko w niektórych przypadkach konstrukcji szczególnie wrażliwych na tego typu zachowania, jak np. zadaszenia stadionów, konstrukcje linowe, obiekty narażone na oddziaływanie dynamiczne pochodzenia komunikacyjnego. Pomiar/obserwacja zjawisk pogodowych pełni zwykle funkcję pomocniczą, wspomagającą i ułatwiającą proces oceny sytuacji i prognozowania jej rozwoju. Metody wizyjne mogą być z kolei wykorzystywane do obserwacji zjawisk pogodowych, a także do obserwacji niewralgicznych miejsc w konstrukcji.

Pomiary przemieszczeń

W praktycznych zastosowaniach systemów monitoringu stosunkowo często mamy do czynienia z pomiarami przemieszczeń (translacje i obroty), które możemy ogólnie wyznaczać metodami względnymi lub bezwzględными, a także metodą fotogrametrii.

Względne metody pomiarowe polegają na wyznaczaniu zmian wzajemnego położenia przestrzennego wybranych punktów obiektu (np. konstrukcji w przypadku obiektów budowlanych). Metody te służą do wyznaczania/monitorowania pochylenia, wychylenia, zmian odległości pomiędzy elementami, zmian długości, zmian szerokości szczelin itp., a wykorzystywane są do tego celu przyrządy takie jak np. przymiar kreskowy, suwmiarka, czujnik zegarowy, wahadło, pochyłomierz, inklinometr, niwelator hydrostatyczny, szczelinomierz, ekstensometr, czujnik indukcyjny.

Bezwzględne metody pomiarowe przemieszczeń polegają na cyklicznych pomiarach zmiany położenia wybranych punktów monitorowanego obiektu (konstrukcji – w przypadku obiektów budowlanych), a wyznacza-

nie przemieszczeń sprowadza się do rejestrowania dwóch stanów monitorowanego obiektu – wyjściowego i aktualnego – oraz porównania wyników ze sobą. W metodach tych są wykorzystywane takie rozwiązania jak np. niwelator hydrostatyczny, teodolit, tachimetr, dalmierz laserowy lub elektromagnetyczny, skaner laserowy i techniki GPS. Uzupełnieniem klasycznych metod geodezyjnych jest fotogrametria, polegająca na odtwarzaniu kształtów i wymiarów obiektów, a także ich wzajemnego położenia w przestrzeni, na podstawie zdjęć fotogrametrycznych. Jest wykorzystywana głównie przy pomiarach dużych obiektów/odległości.

W opartych na pomiarach przemieszczeń systemach monitoringu konstrukcji wykorzystywane są, w różnych konfiguracjach, niektóre z wymienionych wyżej metod pomiarowych, przy czym najczęściej stosuje się dalmierze laserowe, rzadziej tachimetry i niwelatory hydrostatyczne, które jako rozwiązania droższe są stosowane raczej do obiektów mniej typowych, wymagających indywidualnego podejścia (jak np. stadiony). Podobnie wygląda sytuacja z GPS, przy czym w tym przypadku dochodzi jeszcze problem z uzyskaniem odpowiedniej dokładności, co w wielu przypadkach dyskwalifikuje takie rozwiązanie. Różnego typu metody pomiarowe zostały omówione m.in. w [1, 2, 6, 7] oraz w raportach z projektu MONIT „Monitorowanie Stanu Technicznego Konstrukcji i Ocena jej Żywności” [M2]. Szereg informacji można znaleźć także na stronach producentów sprzętu pomiarowego.

Dalmierze laserowe

Często stosowane w systemach monitoringu dalmierze laserowe są prostym i stosunkowo niedrogim rozwiązaniem, o dokładności wystarczającej do celów monitoringu technicznego – rys. 1 [4].

Oparty na dalmierzu laserowym pomiar ma też pewne wady, które utrudniają jego aplikację, a czasami ograniczają czy nawet uniemożliwiają wyko-

REKLAMA

POLSKA IZBA KONSTRUKCJI STALOWYCH 20 LAT

Polska Izba Konstrukcji Stalowych
zaprasza
w dniach 30–31 sierpnia 2016 r.
do Centrum Konferencyjnego w Hotelu „ECHO” w Cedyń k./Kielc
na II Edycję Konferencji pod tytułem

Wzrost efektywności i optymalizacja kosztów produkcji konstrukcji stalowych poprzez wykorzystanie innowacyjnych narzędzi i technologii

Partner Merytoryczny Konferencji

EPK

Przewodniczący Konferencji
Tadeusz Rybak – Prezes Mostostal Puławy S.A. i Polskiej Izby Konstrukcji Stalowych

Moderator Konferencji
Bartłomiej Baudler – Dyrektor Kersten Europe sp. z o.o.

Patroni medialni

PROGRAM KONFERENCJI

30.08.2016 r. (wtorek)

- ▶ Przyjazd, rejestracja uczestników oraz prezentacje firm:

Mostostal **AEP** **AGTOS** **CONSTRUSOFT**
FAGIOLI **AWEXIM** **effect** **eurolbolt.pl** **Lankwitzer** **SF**

31.08.2016 r. (środa)

- 7³⁰–8³⁰
- 8³⁰–8⁴⁰ (10 min) ▶ Śniadanie
- 8⁴⁰–9¹⁰ (30 min) ▶ Wstęp
- 9¹⁰–10¹⁰ (60 min) ▶ **Bartłomiej Baudler** (KERSTEN EUROPE sp. z o.o.)
Strategiczne aspekty realizacji zleceń w branży konstrukcji stalowych.
Michał Woźniczka (ENERGOPROJEKT-KATOWICE S.A.)
Efektywne wykorzystanie narzędzi do modelowania 3D w procesie usprawniania procesów produkcyjnych.
Jitka Kochtová (CONSTRUSOFT sp. z o.o.),
Michał Olszowski (MESA inżynierowie i architektki sp.p.)
- 10¹⁰–10³⁰
- 10³⁰–11³⁰ (60 min) ▶ Przerwa kawowa
- ▶ Optymalizacja kosztów produkcji i poprawa wydajności poprzez zastosowanie systemów do zarządzania produkcją konstrukcji stalowych.
Przemysław Rożek (STIGO sp. z o.o.)
- 11³⁰–12¹⁵ (45 min) ▶ Automatyzacja procesów produkcji z wykorzystaniem innowacyjnych maszyn i urządzeń na przykładzie wdrożeń firmy METALBARK sp. z o.o. i innych.
Stefan Stiegeler (KALTENBACH)
- 12¹⁵–13⁰⁰ (45 min) ▶ Automatyzacja procesów produkcji z wykorzystaniem innowacyjnych maszyn i urządzeń na przykładzie wdrożeń firmy STP ELBUD KRAKÓW i innych.
Yannick Beauchamp (VERNET BEHRINGER)
- 13⁰⁰–13³⁰ (30 min) ▶ Dyskusja i podsumowanie konferencji
- 14⁰⁰ ▶ Obiad i po nim wyjazd

Do udziału w Konferencji zapraszamy kadrę techniczną firm z branży konstrukcji stalowych: dyrektorów zakładów, dyrektorów technicznych, kierowników produkcji i montażu, technologów, spawalników, inżynierów.
Firmy naszej branży, również te zrzeszone w Polskiej Izbie Konstrukcji Stalowych, potrzebują więcej innowacyjnych rozwiązań w swojej działalności.

KONSTRUKCJE stalowe **Builder** **lakiennictwo** **MOSTY** **STAL** **hale**

Szczegółowe informacje o Konferencji są dostępne na stronie www.piks.com.pl

rzystanie takiej metody. Pierwszym utrudnieniem jest konieczność wykonywania pomiaru odległości mierzonego punktu konstrukcji od stałego punktu, jakim najczęściej jest posadzka. Wiąże się to z pewnymi ograniczeniami w swobodzie użytkowania obiektu – miejsca, do których są wykonywane pomiary, nie mogą być zasłaniane (na drodze wiązki lasera nie mogą znajdować się żadne przeszkody). Innym ograniczeniem jest odpowiednio dobra widoczność/przezierność powietrza z miejsca instalacji dalmierza (najczęściej w monitorowanym miejscu konstrukcji) do ww. stałego punktu – w przypadku obiektów, w których występują zapylenie czy inne zanieczyszczenia powietrza, widoczność ta może nie być wystarczająca, a ponadto środowisko takie skutkuje szybszym zanieczyszczeniem soczewek. Także zbyt duże odległości są ograniczeniem w tej metodzie pomiaru – wraz ze wzrostem odległości spada dokładność pomiaru i wymagane są urządzenia lepszej klasy, a więc droższe. Innym utrudnieniem w stosowaniu pomiarów opartych na dalmierzach jest wrażliwość optyki na wilgoć i ujemne temperatury – zamarzająca na soczewkach para wodna lub woda będzie przesłaniała wiązkę lasera, uniemożliwiając prawidłowe przeprowadzenie pomiaru. Rozwiązaniem jest tu oczywiście odpowiedni system ogrzewania, ale to z kolei komplikuje i podraża rozwiązanie. Jak więc widać z powyższych rozważań, warunkiem prawidłowej pracy urządzenia pomiarowego opartego na dalmierzu jest zapewnienie dobrej widoczności na drodze wiązki lasera, a problemy wynikają z samej zasady pomiaru.

Tachimetr automatyczny

Innym rozwiązaniem umożliwiającym pomiary przemieszczeń jest zastosowanie tachimetru automatycznego – rys. 2 [M1]. Przykładem wykorzystania takiego urządzenia może być system monitoringu Stadionu Narodowego (PGE Narodowego) w Warszawie, gdzie jedno takie urządzenie w pełni automatycznie wykonuje cykliczne pomiary przemieszczeń 28 charakterystycznych punktów konstrukcji.

Urządzenia takie charakteryzują się bardzo dużymi zasięgami, do 1000 m przy pomiarach bezlustrowych i nawet 3500 m przy wykorzystaniu luster (pryzmatów ułatwiających precyzyjne domierzanie) w punktach, do których wykonywany jest pomiar, a dokładności pomiarów przy niewielkich odległościach sięgają 1 mm. Urządzenia mogą pracować w dużym zakresie temperatur (od -20°C do +50°C), a także przy bardzo dużej wilgotności, pod warunkiem braku kondensacji. Niestety, metoda oparta na tachimetrze jest ograniczana podobnymi wadami jak dalmierze laserowe – wymagana jest dobra widoczność (brak przeszkód i przezierność powietrza) na drodze pomiędzy tachimetrem a mierzonym punktem. Tachimetr wymaga także bardzo stabilnej bazy/podstawy, na której jest ustawiany – jest to warunek prawidłowej jego pracy i dokładności pomiarów. Istotną wadą tego typu urządzeń jest także ich cena, która prak-

tycznie eliminuje je z prostszych (i zarazem tańszych) systemów. Kolejną istotną wadą, wynikającą z kosztów urządzenia, to ryzyko unieruchomienia całego systemu w przypadku usterki tachimetru, a także w czasie okresowych przerw konserwacyjnych – ponieważ typowo systemy monitoringu bazują na jednym tachimetrze, to przerwa w pracy urządzenia unieruchamia cały system. Rozwiązaniem, które częściowo niweluje wynikające stąd niedogodności, jest zastosowanie pomocniczej, niezależnej od tachimetru metody pomiaru, która w sytuacjach awaryjnych dostarczy niezbędnych informacji umożliwiających funkcjonowanie systemu monitoringu przynajmniej w minimalnym, podyktowanym względami bezpieczeństwa zakresie.

Techniki GPS

Taką pomocniczą metodą może być wykorzystanie technologii GPS, jak np. w przypadku wspomnianego wyżej systemu monitoringu dachu Stadionu Narodowego (PGE Narodowego) w Warszawie, gdzie przy wykorzystaniu takiej metody realizowany jest dodatkowy pomiar przemieszczenia najbardziej charakterystycznego elementu konstrukcji, jakim jest iglica. Przykładowo stosowany w tej technologii odbiornik GNSS (Global Navigation Satellite Systems), wykorzystujący zarówno GPS jak i GLONASS, przedstawiono na rys. 3 [M4]. Metoda ta jest pozbawiona wad związanych z opisanymi wyżej dalmierzami i tachimetrami, cechuje się jednak innymi niedoskonałościami.

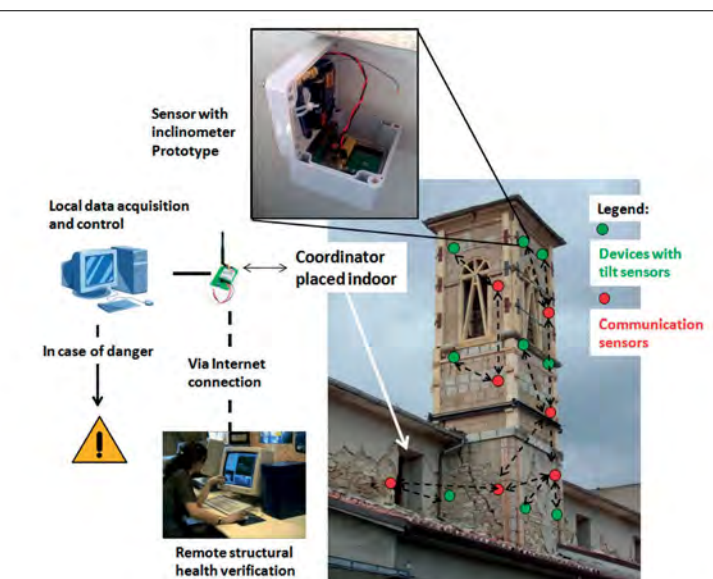
Pierwszą z nich jest niższa niż w poprzednich przypadkach dokładność pomiaru – przy pomiarach przemieszczeń pionowych można przyjąć, że wynosi ona około +/-5 mm, co w wielu przypadkach jest całkowicie niewystarczające. Drugą istotną niedogodnością to konieczność użytkowania poprawek ze stacji referencyjnych, a więc łączenia się urządzenia z serwerem dostarczającym wymaganych danych korekcyjnych, zapewniających prawidłowe działanie systemu i odpowiednią dokładność pomiarów – wymaga to bieżącej, płatnej licencji. W przypadku problemów z uzyskaniem danych korekcyjnych z serwera stacji referencyjnych wyniki pomiarów GPS są błędne. Prawidłowa praca modułu GPS wymaga także takiego jego usytuowania, aby możliwe było łączenie się zarówno z satelitami, jak też z ww. serwerem – w praktyce oznacza to instalowanie urządzenia na zewnątrz, w miejscach, w których antena nie będzie zasłaniana.

Wykorzystanie inklinometrów

Mając na uwadze niedoskonałości wymienionych wyżej metod, warto zwrócić uwagę na wykorzystanie inklinometrów (rys. 4) [3], które, mierząc kąty, dostarczają informacji o zachowaniu się konstrukcji – pośrednio także o przemieszczeniach rozumianych jako translacje.

Ze względu na inną metodę pomiaru przestaje tu występować kwestia dostępności stałych miejsc, do których są wykonywane pomiary, czy też odległości tych miejsc od monitorowanych punktów konstrukcji (jak to ma miejsce w przypadku dalmierzy), a także czystości atmosfery. Również kwestia wilgoci i mrozu nie jest już tak dużym problemem.

Pojawia się natomiast inne zagadnienie – kwestia interpretacji wyników pomiarów. W przypadku większości konstrukcji interpretacja wyników pomiarów kątów jest znacznie bardziej złożona niż w przypadku pomiarów ugięć i wymaga szerszej analizy konstrukcji i większej wiedzy na temat jej pracy. Wykorzystanie inklinometrów w systemach monitoringu nie jest obecnie zbyt szeroko rozpowszechnione, ale jeśli wziąć pod uwagę możliwości i zalety tych urządzeń (w tym także niezbyt wysokie koszty) oraz trwające w tym zakresie prace, można przypuszczać, że w przyszłości znajdą one szersze zastosowanie.



Rys. 4. Zastosowanie inklinometru w systemie monitoringu (3)



Rys. 5. Niwelator hydrostatyczny (M3)

Niwelator hydrostatyczny

Rozwiązaniem działającym na całkowicie innej zasadzie jest niwelator hydrostatyczny (rys. 5) [M3], umożliwiający wykonywanie pomiarów przemieszczeń pionowych z dokładnością nawet do 0,01 mm i w zakresie do 100 mm. System działa na zasadzie naczyń połączonych, gdzie do poziomu węzowej wypełnionej płynem jest podłączony szereg urządzeń pomiarowych, w których wykonywany jest automatyczny pomiar poziomu cieczy, np. metodą ultradźwiękową. Tego typu rozwiązanie ma jednak pewne ograniczenia związane np. z zakresem temperatur, w jakich może być użytkowane, a sieć rurek z cieczą jest podatna na uszkodzenia w trakcie np. prowadzenia prac konserwacyjnych konstrukcji. Dlatego też, mimo prostoty samej metody i możliwej do uzyskania dużej dokładności pomiarów, metoda ta nie znalazła zbyt szerokiego zastosowania w systemach monitoringu.

Na zasadzie niwelatora hydrostatycznego działa np. system monitoringu dachu hali widowiskowo-sportowej ERGO-ARENA na granicy Gdańska i Sopotu [5]. Pomiary przemieszczeń wykonywane są w pięciu charakterystycznych punktach konstrukcji. ■

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] Bryś H., Przewlocki S., Geodezyjne metody pomiarów przemieszczeń budowli, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1998.
- [2] Chróścielewski J., Mosty Gdańsk: Projekt ogólny systemu monitorowania konstrukcji dachu Stadionu Narodowego w Warszawie, 2010.
- [3] Naticchia B., Vaccarini M., Carbonari A., Scorrano P., Auto-Regressive Compensation Technique for a Reliable Non Invasive Structural Health Monitoring System. Proceedings of the 28th ISARC, Seul, Korea 2011, s. 826-831.
- [4] 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, ISBN 978-83-7814-251-5.
- [5] Wilde K., Systemy monitoringu konstrukcji obiektów budowlanych. XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane” Szczecin – Międzyzdroje 2013, str. 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, str. 729-736.
- [7] Wilde K. z zespołem, Opracowanie zestawu czujników i urządzeń rejestrujących modułu pomiarowego systemu monitorowania wybranej konstrukcji obiektu wielkopowierzchniowego. Gdańsk 2010.

Materiały informacyjne ze stron internetowych

- [M1] www.leica-geosystems.pl
- [M2] www.monit.pw.edu.pl
- [M3] www.talsperre.de,
- [M4] www.tpi.cpm.pl

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

REKLAMA

**Dobry.
Solidny.
Klingspor.**

Narzędzia
diamentowe



Klingspor Sp. z o.o. • Ul. T.Regera 58 • 43-382 Bielsko-Biała
Tel.: 33 82 82 100 • www.klingspor.pl

