

Systemy monitorowania mostów

– przykładowe realizacje w Polsce

Rafał Sienko
Politechnika Krakowska

System monitoringu projektowany jest indywidualnie dla każdego obiektu. W procesie tym uwzględniane są uwarunkowania konstrukcyjne, ekonomiczne oraz szczegółowe wymagania inwestora. W niniejszym artykule autor prezentuje systemy monitoringu mostu w Puławach oraz Mostu Rędziański we Wrocławiu.

Założenia upraszczające przyjmowane w modelach teoretycznych na etapie projektowania obiektów mostowych powodują, że analizy obliczeniowe tylko w pewnym stopniu odwzorowują sposób pracy konstrukcji obiektu w warunkach eksploatacji (6). Zarówno właściwości materiałowe, jak i geometria konstrukcji oraz oddziaływania są jedynie próbą opisanego rzeczywistego obiektu. Jedną z budzących duże nadzieje metod weryfikacji sposobu pracy obiektów mostowych jest zainstalowanie na wybranych elementach konstrukcji czujników realizujących ciągły pomiar różnych (wybranych) wielkości fizycznych: począwszy od odkształceń tych elementów, a na określaniu wartości oddziaływań kończąc – możliwości są tutaj ogromne. Systemy monitorujące pracę konstrukcji obiektów mostowych wdrażane są na świecie od kilkunastu lat. W zasadzie wszystkie ważne i duże mosty wyposażane są obecnie w różnego typu urządzenia, których zadaniem jest prowadzenie ciągłego pomiaru wybranych wielkości fizycznych. Najwięcej tego typu realizacji odnotowano na Dalekim Wschodzie oraz w Stanach Zjednoczonych. W Polsce systemy monitorowania pracy konstrukcji dopiero są rozwijane. Wynika to w dużej mierze z faktu, że do niedawna nie budowaliśmy obiektów o większych rozpiętościach czy niestandardowej konstrukcji. Mimo to do chwili obecnej wyposażono w różnego typu systemy monitorowania kilka dużych obiektów: Most Solidarności w Płocku (3), Most Sucharskiego w Gdańsku (7), most przez rz. Wisłę w Puławach (2) oraz Most Rędziański we Wrocławiu (1).

Systemy Monitorowania Konstrukcji obiektów mostowych

Pod pojęciem systemu monitorowania konstrukcji będziemy tutaj rozumieć zaawansowane urządzenie techniczne, składające się z różnego typu czujników realizujących pomiar wybranych wielkości fizycznych, przesyłających dane pomiarowe do komputera, w którym zainstalowano oprogramowanie służące do archiwizacji tych danych oraz, najczęściej, ich obróbki numerycznej (5). Istotnym wyróżnikiem systemów monitorowania jest ich permanentne działanie objawiające się realizacją pomiarów w okresach liczonych w godzinach, minutach lub hercach, w odróżnieniu od przeglądów (inspekcji) okresowych, które wykonywane są w odstępach czasowych liczonych co najwyżej w dniach, a najczęściej w miesiącach lub latach. Systemy monitorowania powinny mieć trwałość tego samego rzędu co obiekty, na których są instalowane.

SUMMARY

Monitoring system is designed individually for every structure. Constructional and economical considerations, as well as detailed requirements of investor are considered in this process. The article presents the monitoring systems of the bridge in Puławy and the Rędziański Bridge in Wrocław.

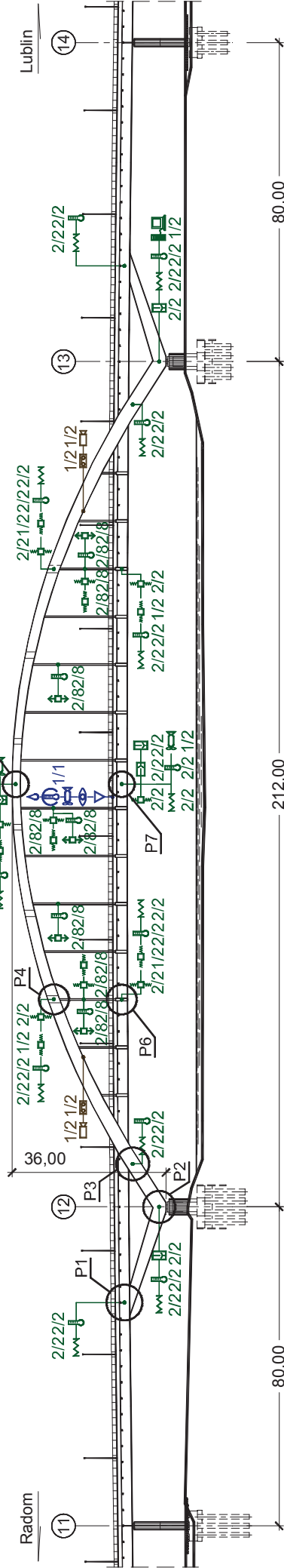
Wykonanie systemu monitorowania musi zostać poprzedzone szczegółowymi numerycznymi analizami statycznymi i dynamicznymi konstrukcji, a czasem nawet badaniami modelowymi. Wybór wielkości fizycznych, które mają być mierzone, lokalizacja miejsc, w których realizowany będzie pomiar, oraz dobór sposobu prowadzenia pomiaru i jego dokładności są zagadnieniami, które będą miały bardzo istotny wpływ na jakość uzyskiwanych wyników pomiarów oraz możliwość ich poprawnej interpretacji. Tworzenie systemu monitorowania musi zatem być dziełem interdyscyplinarnym, w którym brać będą udział specjaliści z zakresu konstrukcji mostowych, monitorowania konstrukcji, elektroniki oraz informatyki.

Na wybór wielkości fizycznych, których pomiar będzie realizował system monitorowania, ma wpływ wiele czynników. Istotne znaczenie będzie miała przede wszystkim decyzja o częstotliwości wykonywania pomiarów. W przypadku pozyskiwania danych w odstępach czasowych liczonych w hercach nie będziemy mogli zastosować wszystkich typów urządzeń pomiarowych. Ograniczeniem dla wielu technik mierniczych będzie również konieczność zagwarantowania stabilności pomiarów w czasie. Musimy sobie zdawać sprawę, że kalibracja czujników w okresie eksploatacji obiektu jest, z punktu widzenia pomiarowego, niepożądana. Jej wykonanie jest bardzo kosztowne, a czasami wręcz niemożliwe.

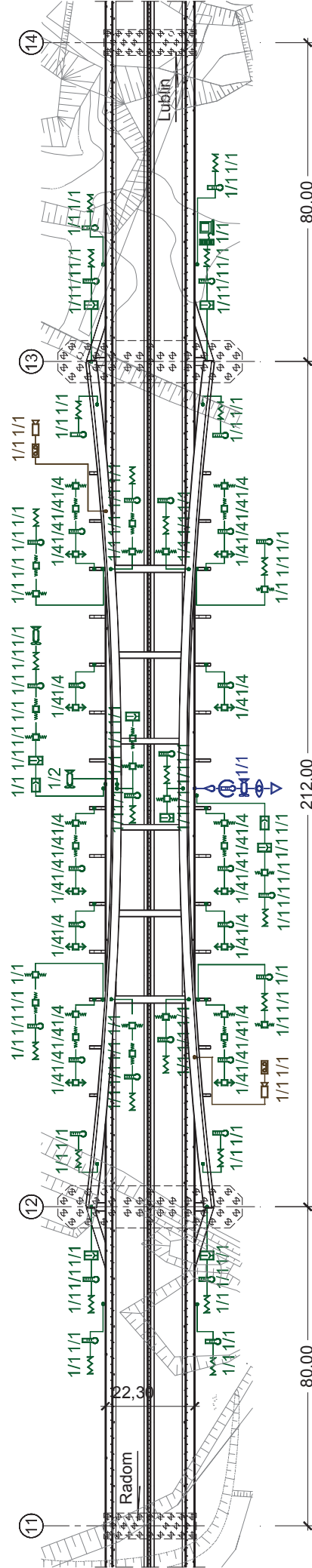
Kolejnym parametrem determinującym dobór techniki pomiarowej jest wymagana dokładność pozyskiwanych danych. Oczywiście jest, że dokładniejsze urządzenia są jednocześnie droższe, i to najczęściej kilkukrotnie. Jednak odpowiedź na pytanie, czy lepiej jest zainstalować mniej czujników o wyższej dokładności, czy więcej, ale mniej dokładnych, nie jest już tak jednoznaczna. Interpretacja pomiarów bardzo często prowadzona jest przy wykorzystaniu różnych technik numerycznych, wykorzystujących całą dostępną wiedzę o obiekcie, począwszy od danych geometrycznych i materiałowych, poprzez prawa fizyczne, na wynikach pomiarów kończąc. Analizy takie (w mechanice zwane rozwiązywaniem zadań odwrotnych) najczęściej umożliwiają dużo

LOKALIZACJA ELEMENTÓW SYSTEMU:

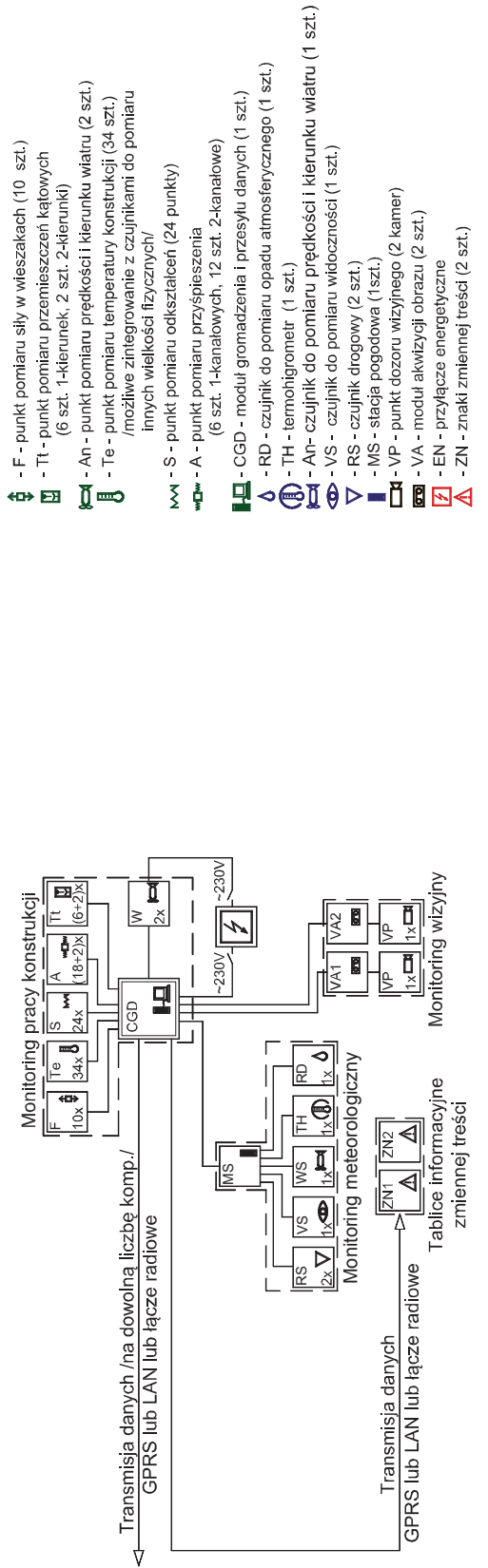
Widok z boku przęsła głównego



Widok z góry przęsła głównego



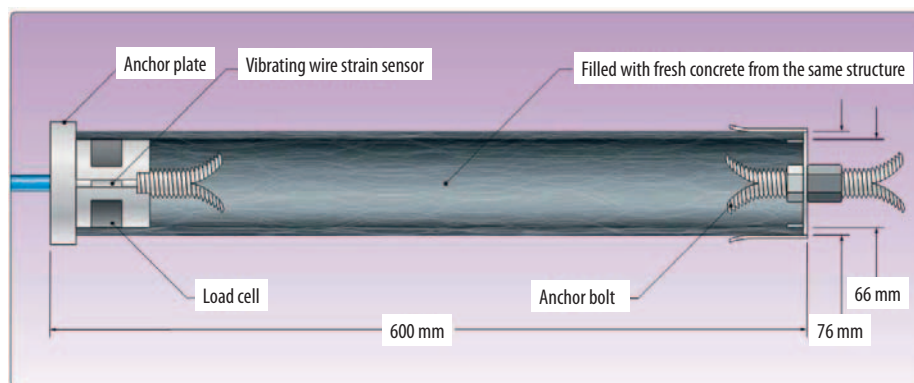
SCHEMAT SYSTEMU:



Rys. 1. Lokalizacja punktów pozyskiwania danych (4)



Fot. 1. Widok wnętrza serwera lokalnego zlokalizowanego na moście



Rys. 2. Strunowy czujnik do pomiaru „naprężen” w betonie

- poprawniejszą interpretację pomiarów otrzymywanych z systemów monitorowania, gdy danych jest odpowiednio dużo. Niezbędne jest wówczas zdefiniowanie tzw. funkcji wagowych, parametrów optymalizacji rozwiązań czy przedziałów, w których pozyskiwane dane są wiarygodne.

Wybór elementów konstrukcji oraz dokładnej lokalizacji punktów pomiarowych jest zadaniem trudnym do jednoznacznego rozwiązania. Musimy wziąć pod uwagę fakt, że położenie miejsc ekstremalnego wyężenia konstrukcji jest determinowane m.in. rzeczywistym schematem statycznym, rzeczywistymi właściwościami materiałowymi oraz rzeczywistą geometrią konstrukcji. Projekt systemu monitorowania jest natomiast wykonywany na podstawie założeń teoretycznych.

Kształt systemu pomiarowego będzie zależał także od tego, czy możliwe będzie wskazanie miejsc najbardziej niebezpiecznych w konstrukcji w sposób jednoznaczny. Przykładowo, wychwycenie lokalnej wady materiałowej w elemencie osiowo rozciągającym będzie wymagało innej techniki pomiarowej niż pomiar w nim siły rozciągającej. Z pomocą przyjdą nam tutaj różne technologie umożliwiające globalny, ale zgrubny pomiar różnych wielkości fizycznych. Najczęściej istotna będzie wówczas nie wartość bezwzględna danej wielkości, ale jej zmiana (doświadczalna analiza modalna). Wtedy zadaniem systemu monitorowania może być poinformowanie o konieczności przeprowadzenia szczegółowej inspekcji danego fragmentu konstrukcji z wykorzystaniem przenośnych urządzeń pomiarowych.

Głównym zadaniem systemów monitorowania konstrukcji mostowych jest wspomaganie ekspertów w określaniu rzeczywistego stanu statyczno- i dynamicznowytrzymałościowego monitorowanych obiektów w trakcie ich normalnego użytkowania, przejazdów pojazdów ponadnormatywnych, silnych porywów wiatru, a także w przypadku różnych sytuacji wyjątkowych, np. uszkodzenia elementów konstrukcji w wyniku kolizji drogowej. Systemy monitorowania dostarczają także bardzo obszernej wiedzy naukowej na temat sposobu pracy opomiarowanych konstrukcji.

Monitoring mostu w Puławach

Duża rozpiętość oraz konstrukcja przęsła nurtowego mostu, szczególnie podatnego na wpływy termiczne, skłoniła nadzór naukowy budowy oraz inwestora do zaprojektowania i wykonania systemu monitorowania mostu. Zdecydowano się na wdrożenie urządzenia realizującego pomiary różnych wielkości fizycznych w sposób kompleksowy. Z tego powodu system monitorowania składa się z trzech podsystemów:

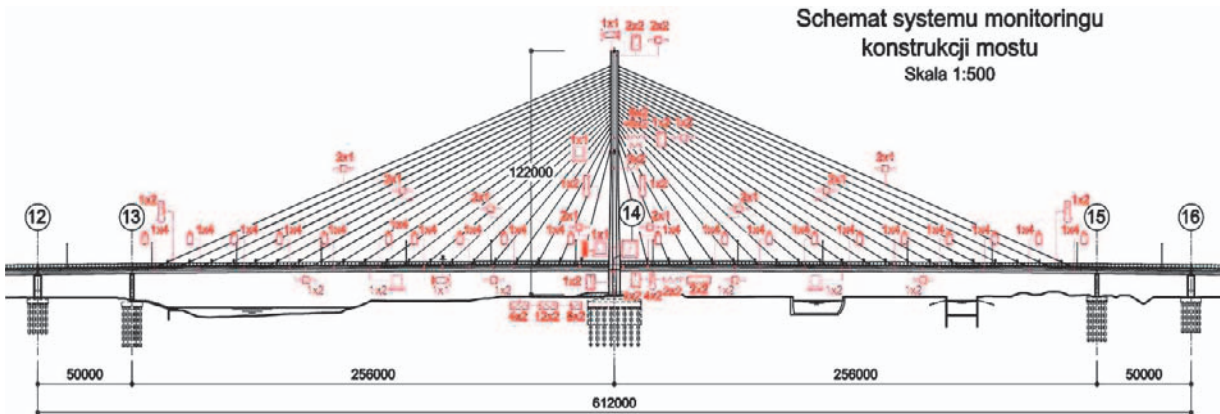
- monitoringu konstrukcji,
- monitoringu meteorologicznego,
- monitoringu wizyjnego.

Informacje z podsystemów zbierane są przez serwer lokalny zlokalizowany na moście i przesyłane do Centrum Gromadzenia Danych w oddziale GDDKiA w Lublinie. Komunikacja z użytkownikiem mostu zapewniona została przez zastosowanie znaków zmiennej treści, na których wyświetlane są, w zależności od warunków meteorologicznych, odpowiednie komunikaty, znaki zakazu i ostrzegawcze. Zaprojektowany system monitoringu mostu, ze wskazaniem lokalizacji i liczby punktów pozyskiwania danych, pokazano na rys. 1.

Kontrola pracy mostu odbywa się poprzez ciągły elektroniczny pomiar zmian (przyrostów) odkształceń, przechyłów i przyspieszeń oraz temperatury, prędkości i kierunku wiatru w wytypowanych na podstawie analiz obliczeniowych punktach pomiarowych. Ze względu na stabilność pomiarów w czasie zdecydowano się na zastosowanie, w przypadku większości pomiarów, czujników strunowych. Dane z wszystkich czujników (186 sztuk) odczytywane są jednocześnie (synchronicznie) w interwałach od 10 sekund do 60 minut i przesyłane do zlokalizowanego na moście wewnątrz jednego z łuków serwera lokalnego – fot. 1, gdzie oprogramowanie przetwarza sygnał i dokonuje jego wstępnej obróbki.

Serwer lokalny przesyła dane do Centrum Gromadzenia Danych, zlokalizowanego w tym przypadku w oddziale Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w Lublinie. Tam dane pomiarowe są obrabiane i przetwarzane w taki sposób, by w czasie rzeczywistym wizualizować wyniki pomiarów w sposób pozwalający na ich interpretację bez konieczności dodatkowych obliczeń.

Zadaniem systemu monitoringu meteorologicznego jest dostarczanie do Centrum Gromadzenia Danych ostrzeżeń i alarmów meteorologicznych oraz danych pomiarowych opisujących stan nawierzchni i jej otoczenia, ze szczególnym uwzględnieniem monitorowania obecności i stężenia chemikaliów odladzających oraz parametrów fizycznych sprzyjających gołodzi, na podstawie których można podejmować decyzje związane z poprawą warunków drogowych lub ograniczeniem niebezpieczeństwa w ruchu. Dane pozyskiwane są w miejscu najbardziej niekorzystnym pod względem pogodowym, tj. bezpośrednio nad korytem rzeki w środku rozpiętości przęsła łukowego. Ponadto na omawianym obiekcie zamontowano także monitoring wizyjny, którego zadaniem jest przesyłanie do Centrum Gromadzenia Danych obrazu z kamer zainstalowanych nad przęsłem nurtowym mostu. Monitoring wizyjny pozwala na zwiększenie zakresu dozoru ruchu drogowego, obserwację warunków pogodowych oraz identyfikację kolizji i zatorów drogowych, a także czynników wandalistycznych itp.



1. Oznaczenia:

AxB: A - ilość czujników w danym punkcie pomiarowym
B - ilość punktów pomiarowych

- F - czujnik do pomiaru siły w cięgnach (80 szt.)
- Tt - czujnik do pomiaru przemieszczeń kątowych (10 szt.)
- Tr - czujnik do pomiaru przemieszczeń liniowych (4 szt.)
- W - czujnik do pomiaru kierunku i prędkości wiatru (2 szt.)
- Te - czujnik do pomiaru temperatury konstrukcji (16 szt.)
- Sc - czujnik do pomiaru odkształceń na powierzchni betonu (16 szt.)
- A - czujnik do pomiaru przyspieszeń (30 szt.)

- CGD - Centrum Gromadzenia Danych (1szt.)
- EN - przyłącze energetyczne (1 szt.)
- Sc1 - czujnik do pomiaru odkształceń wewnątrz betonu (24 szt.)
- Sc2 - czujnik do pomiaru naprężeń w betonie (8 szt.)
- Si - czujnik do pomiaru odkształceń na powierzchni stali (18 szt.)
- Si1 - czujnik do pomiaru odkształceń prętów zbrojeniowych (16 szt.)
- SAD - lokalne Stacje Akwizycji Danych (5 szt.)

2. Pominęto na schemacie skrzynki złączy.
3. Wyłączniki oznaczają zabezpieczenia nadmiarowo-prądowe i różnicowo-prądowe.

Rys. 3. Schemat rozmieszczenia czujników systemu monitoringu mostu

Analiza danych uzyskiwanych z systemu monitorowania dostarcza wielu interesujących informacji, zarówno o oddziaływaniach, jak i odpowiedzi konstrukcji. Przykładowo stwierdzono (4), że temperatura poszczególnych elementów konstrukcji zmienia się w różnych przedziałach. Najwyższą temperaturę odnotowano w kluczu południowego łuku (czujnik zamontowany jest od wewnętrznej strony górnej blachy skrzynki łuku), gdzie w lipcu 2010 r. wynosiła ona 50°C. W tym dniu dobową zmianę temperatury w analizowanym punkcie wynosiła ponad 30°C. Najniższa temperatura w kluczu miała miejsce natomiast w styczniu 2010 r. i wynosiła ok. -24°C, przy dobowej zmienności na poziomie ok. 11°C. Znacznie mniejszym oddziaływaniom termicznym poddawane są dźwigary pomostu. Najwyższa temperatura zmierzona została w lipcu 2010 r. i wynosiła 33°C, a najniższą temperaturę, o wartości ok. -22°C, zarejestrowano w styczniu 2010 r. Mniejsze również były dobowe zmiany temperatur. Największe zmiany, o wartości ok. 27°C, odnotowano w grudniu 2010 r., a najmniejsze – ok. 12°C – w maju i wrześniu 2010 r. Ciekawą informacją z punktu widzenia projektanta jest zmienność sił i naprężeń w poszczególnych elementach mostu. Dla przykładu można podać (5), że przyrost siły w najdłuższym wieszaku, generowany przede wszystkim przez oddziaływania termiczne, w okresie ok. 1,5 roku zmieniał się od ok. 6 kN (ściskanie) do ok. -180 kN (rozciąganie), przy czym największe różnice sił odnotowano w okresie letnim (lipiec i sierpień). Nośność wieszaka wynosi ok. 700 kN. W wartościach tych nieuwzględnione są obciążenia stałe, które powodują wyłącznie rozciąganie wieszaków.

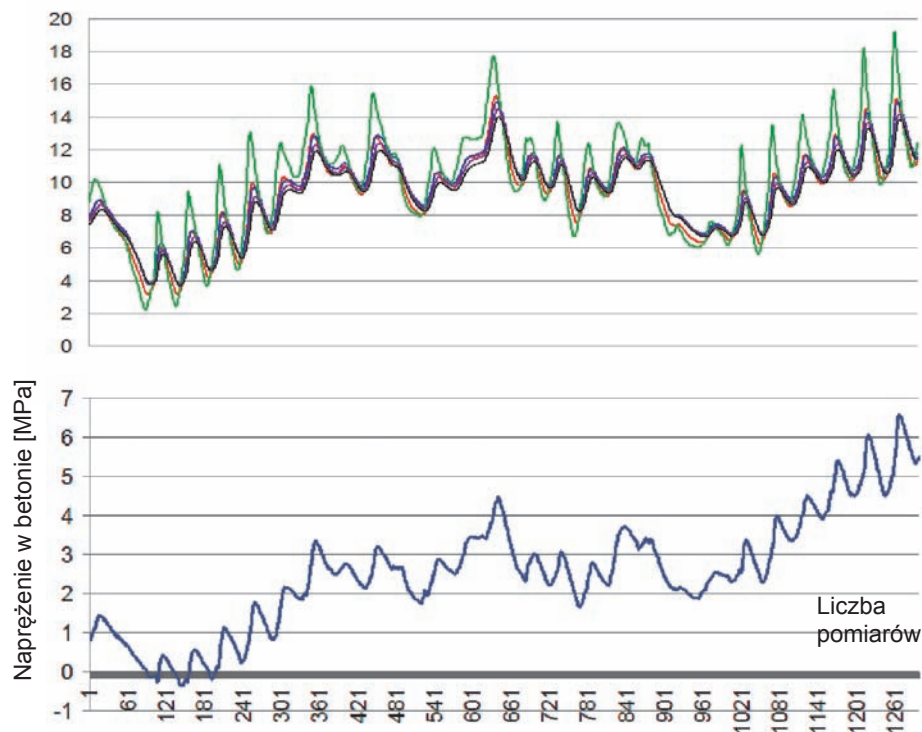
Monitoring Mostu Rędzińskiego

Duża rozpiętość oraz niestandardowa konstrukcja pylonu skłoniła projektanta do zaproponowania na tym obiekcie systemu monitorowania mostu. Zdecydowano się na wdrożenie systemu realizującego pomiary różnych wielkości fizycznych. Ze względu na typ mierzonych wielkości, w systemie monitorowania wyodrębniono dwa podsystemy:

- monitoring konstrukcji,
- monitoring meteorologiczny.

Most został wyposażony również w system monitoringu wizyjnego oraz system zarządzania ruchem drogowym. Systemy te nie są jednak przedmiotem niniejszego artykułu. Informacje z podsystemów zbierane są przez lokalne Stacje Akwizycji Danych (SAD), umieszczone na moście, i przesyłane do Centrum Gromadzenia Danych (CGD), zlokalizowanego w Centrum Zarządzania Autostradową Obwodnicą Wrocławia (AOW). Zaprojektowany system monitorowania mostu, ze wskazaniem lokalizacji i liczby punktów pozyskiwania danych, pokazano na rys. 3. W ramach systemu monitorowania prowadzony jest pomiar odkształceń wewnątrz elementów betonowych i stalowych, pomiar „naprężeń” w betonie podstawy pylonu, pomiar sił w cięgnach wytypowanych want, pomiar przechyłów konstrukcji, pomiar temperatury i drgań. Pomiary poszczególnych wielkości statycznych prowadzone są synchronicznie (w tej samej chwili czasowej), z możliwością zmiany odstępu czasowego pomiędzy odczytami od 10 sekund do 60 minut, a wielkości dynamiczne (przyspieszenia i siły) mierzone są z częstotliwością 100 Hz.

Istotnym utrudnieniem podczas procesu projektowania systemu monitorowania był fakt, że obiekt jest konstrukcją żelbetową, w której w trakcie eksploatacji zachodzą zjawiska reologiczne. Nie jest zatem możliwe proste przejście z mierzonych odkształceń czy przemieszczeń na naprężenia w betonie. Brak znajomości funkcji opisującej zmienność modułu sprężystości betonu w czasie powoduje, że interpretowanie klasycznych pomiarów odkształceń jest bardzo trudne. W związku z tym, by móc pominąć znajomość tej funkcji, zastosowano w dolnych częściach segmentów pylonów czujnik do pomiaru „naprężeń” w betonie. Czujnik ten oczywiście realizuje pomiar odkształceń, jednak nie betonu, a krótkiego (50 mm) elementu stalowego połączonego szeregowo z długim (ok. 600 mm) elementem betonowym wyizolowanym z konstrukcji za pomocą specjalnej, porowatej rury, jednak wykonanym z tego samego betonu co konstrukcja i pracującym w tych samych warunkach cieplno-wilgotnościowych co analizowany element. Na rys. 2 pokazano schemat czujnika do pomiaru „naprężeń” w betonie, a na fot. 2 – widok czujnika podczas jego montażu w konstrukcji.



Rys. 4. Zmiany naprężeń w betonie w dolnej części pylonu w porównaniu ze zmianami termicznymi – okres budowy dolnej części pylonu

- Konstrukcja mostu została wyposażona w 30 piezoelektrycznych czujników drgań zamontowanych na pylonie, pomoście i wantach. Ich zadaniem jest określanie odpowiedzi konstrukcji na przykładane do niej obciążenia o charakterze dynamicznym oraz identyfikacja postaci drgań własnych i towarzyszących im częstości w celu umożliwienia prowadzenia tzw. doświadczalnej analizy modalnej. Szczególną uwagę poświęcono instalacji czujników na wantach, gdyż tam narażone one są na ekstremalne warunki środowiskowe.

Na pojedynczych splotach wybranych osiemdziesięciu want zainstalowano elektrooporowe czujniki siły, których zadaniem jest określanie zmian wartości napięcia want w okresie eksploatacji mostu. Ponieważ sploty poszczególnych want nie są ze sobą zespolone i naciągnięte są tą samą siłą, przyjęto założenie, że w przypadku uszkodzenia dowolnego ze splotów zmiana siły musi nastąpić we wszystkich pozostałych splotach, w tym w splotcie, na którym zainstalowano siłomierz. Sygnały ze wszystkich czujników przesyłane są do sześciu lokalnych serwerów, tam zapisywane są na twardych dyskach i dalej przesyłane światłowodem do Centrum Gromadzenia Danych, zlokalizowanego w Centrum Zarządzania AOW.

Sumarycznie na moście zainstalowano 222 czujniki realizujące pomiar różnych wielkości fizycznych. Ze względu na fakt, że wszystkie czujniki strunowe wyposażone są standardowo w czujniki temperatury, przy ich pomocy wykonywanych jest dodatkowo 86 odczytów temperatury. Zatem w jednej chwili czasowej wykonywany jest pomiar 308 czujników wykorzystujących w swej budowie różne technologie: od klasycznej tensometrii elektrooporowej, przez technologię strunową, po piezoelektryczną. Zadaniem systemu monitoringu meteorologicznego jest dostarczanie do Centrum Gromadzenia Danych informacji dotyczących kierunku i prędkości wiatru na wysokości ok. 1 m pod powierzchnią pomostu oraz ok. 2 m nad najwyższym punktem pylonu.

CGD zostało wyposażone w dedykowane oprogramowanie, które w czasie rzeczywistym analizuje wpływające doń dane pomiarowe i przekazuje wyniki tych analiz w postaci raportów osobom odpowiedzialnym za bezpieczeństwo obiektu.

Dla wszystkich wielkości fizycznych określono wartości progowe (minimalne i maksymalne), których przekro-

czenie oznacza zagrożenie bezpieczeństwa konstrukcji. W momencie gdy dla dowolnej wielkości pomiarowej zostanie zarejestrowana wartość przewyższająca zdefiniowany próg pomiarowy, uruchamiany jest tryb alarmowy, podczas którego komputer automatycznie wysyła informacje do osób odpowiedzialnych za utrzymanie obiektu.

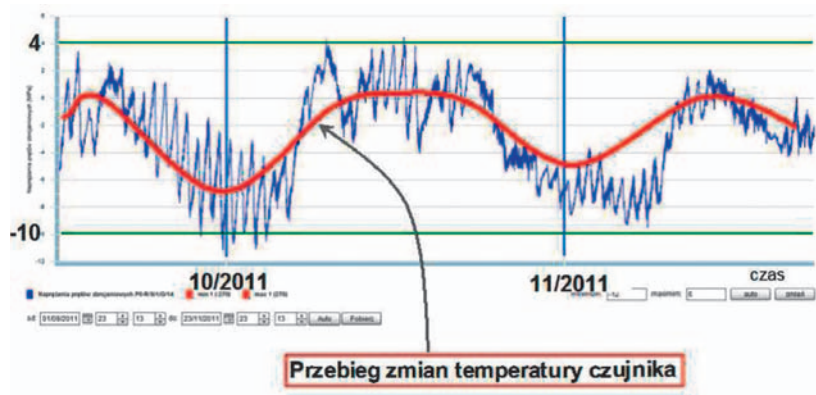
Na rys. 4 pokazano zmiany naprężeń w betonie w dolnej części pylonu (jeden z narożników) pomierzone w okresie jego budowy w porównaniu z wykresem przebiegu temperatur w tym samym okresie uzyskany na podstawie pomiarów realizowanych kilkoma czujnikami zlokalizowanymi w różnej odległości od powierzchni betonu. Bardzo wyraźnie widoczny jest wpływ zmian termicznych na zmiany naprężeń. Różnica temperatur na poziomie kilku stopni Celsjusza generować może zmianę naprężeń na poziomie nawet 2 MPa. Należy zwrócić uwagę, że w początkowym okresie „życia” pylonu temperatura spowodowała powstanie naprężeń rozciągających w betonie.

Na rys. 5 pokazano zmiany przyrostów naprężeń w prętach zbrojeniowych dolnej części pylonu w porównaniu do przebiegu zmian termicznych w krótkim okresie, tj. od 15 września do 20 listopada 2011 r. Na tym wykresie jeszcze wyraźniej widoczne jest, że główne zmiany naprężeń powodowane są wpływami termicznymi, a nie obciążeniami zewnętrznymi.

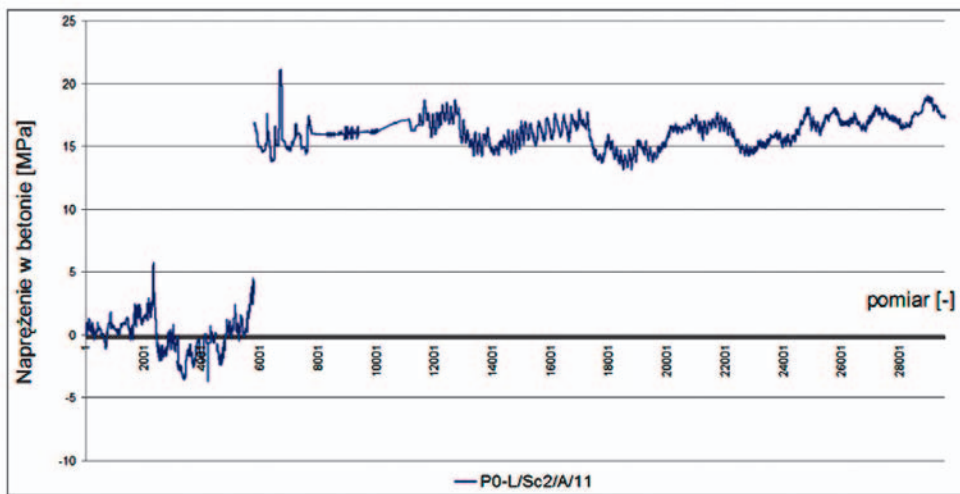
Rys. 6 pokazuje zmianę naprężeń w betonie w dolnej części pylonu w długim okresie, tj. od 20.11.2009 r. do 21.08.2011 r. Pierwsza część wykresu obrazuje zmiany analizowanej wielkości fizycznej w trakcie budowy dolnej części pylonu (pomiaru od 0 do ok. 6000), dalej widoczny jest przebieg obciążenia próbnego (pomiaru od 6000 do ok. 12 000). Wreszcie kolejne pomiary reprezentują pierwsze miesiące po zakończeniu budowy obiektu.

Podsumowanie

System pomiarowy powinien odznaczać się bardzo dużą trwałością (powyżej 30 lat), pomijalnym wpływem czasu na rejestrowane przez czujniki wartości (brak relaksacji i pełzania czujników oraz kleju), możliwością wykonania instalacji obejmującej cały obiekt mostowy



Rys. 5. Zmiany przyrostów naprężeń [MPa] w prętach zbrojeniowych dolnej części pylonu w porównaniu do przebiegu zmian termicznych w wybranym okresie



Rys. 6. Zmiany naprężeń w betonie w dolnej części pylonu w okresie od 20.11.2009 r. do 31.08.2011 r.

o dużych wymiarach, jak najmniejszą stratą sygnału pomiarowego na skutek różnych zakłóceń oraz możliwością rozbudowy systemu po jego oddaniu do użytkowania.

Koszt systemu pomiarowego jest stosunkowo nieduży, a biorąc pod uwagę bardzo szybki rozwój technologii informatycznych i inżynierii pomiarowej, zapewne będziemy obserwowali jego spadek. Obecnie cena systemu kształtuje się na poziomie od 0,3% do ok. 1,5% wartości inwestycji (mostu). Eksploatacja systemu monitorowania również nie stanowi istotnego obciążenia finansowego dla zarządcy, gdyż obejmuje przede wszystkim opłatę abonamentową za korzystanie z bezprzewodowej lub przewodowej transmisji danych. W związku z tym, że zastosowana aparatura pomiarowa charakteryzuje się bardzo niską awaryjnością, podczas normalnego użytkowania systemu konieczne są wyłącznie okresowe przeglądy sprawności układu pomiarowego. Opisane w artykule systemy monitoringu są obecnie największymi tego typu systemami w Polsce. Z pewnością obserwacje wyników pomiarów pozwolą na lepsze poznanie pracy tego typu konstrukcji w warunkach rzeczywistych oddziaływań, geometrii konstrukcji, charakterystyk materiałowych i warunków brzegowych. Informacje te będą mogły służyć do modyfikacji wytycznych normowych projektowania obiektów mostowych.

Podstawowym jednak celem systemów monitorowania jest zapewnienie bezpieczeństwa konstrukcji obiektów w długiej perspektywie czasowej. Analizy wskazań czujników pozwolą na szacowanie stopnia degradacji konstrukcji mostu w funkcji czasu i efektywniejsze planowanie remontów.

Obserwując rozwój systemów monitorowania konstrukcji w świecie, należy sądzić, że wszystkie znaczące obiekty mostowe projektowane i wznoszone w Polsce



Fot. 2. Widok zamontowanego czujnika do pomiaru „naprężeń” w betonie bezpośrednio przed betonowaniem elementu. W głębi widoczne strunowe czujniki do pomiaru odkształceń betonu

będą wyposażane w czujniki do stałej kontroli pracy ich elementów. Obiektami, które powinny być w szczególności nadzorowane przez systemy pomiarowe, są mosty podwieszane (3, 7) i wiszące oraz kładki dla pieszych. Te ostatnie, ze względu na swoją małą masę, są szczególnie podatne na oddziaływania dynamiczne pochodzące od tłumu ludzi. Zastosowanie systemu monitorowania może być w tym przypadku połączone ze sterowaniem aktywnymi tłumikami drgań. □

Piśmiennictwo

1. Barcik W., Sieńko R., Biliszczuk J.: *System monitorowania Mostu Rędziańskiego we Wrocławiu*. Wrocławskie Dni Mostowe, 11.2011.
2. Biliszczuk J., Barcik W., Sieńko R.: *System monitorowania mostu w Puławach*. „Mosty”, nr 4/2009.
3. Biliszczuk J., Hildebrand M., Barcik W., Hawryszków P.: *System obserwacji ciągłej mostu podwieszanego przez Wisłę w Płocku*. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 7-8/2006.
4. Onysyk H.: *Analiza zmian temperatury stalowej konstrukcji mostu przez Wisłę w Puławach*. „Drogi i Mosty”, nr 1/2012.
5. Onysyk H.: *Analiza wybranych wyników pomiarów elektronicznych mostu przez Wisłę w Puławach*. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 7-8/2011.
6. Sieńko R.: *Systemy monitorowania obiektów mostowych*. „Materiały Budowlane”, nr 4/2008.
7. Żółtowski K., Malinowski M., Hildebrand M.: *Monitoring mostów podwieszanych*. „Mosty”, nr 3/2009.