

Analiza wybranych wyników pomiarów elektronicznych mostu przez Wisłę w Puławach

W Polsce kilka obiektów mostowych wyposażono w system obserwacji ciągłej (monitoringu), umożliwiającą mierzenie różnych wielkości fizycznych. Jednym z tych obiektów jest przęsło łukowe mostu przez Wisłę w ciągu obwodnicy Puław. Jeden z trzech podsystemów tego systemu ma za zadanie kontrolę pracy mostu przez ciągły elektroniczny pomiar zmian odkształceń, przechyłów i przyspieszeń, a także temperatury konstrukcji, prędkości i kierunku wiatru. Schemat systemu z lokalizacją oraz liczbą elementów systemu, a także opisem działania jest przedstawiony w pracach [1, 2].

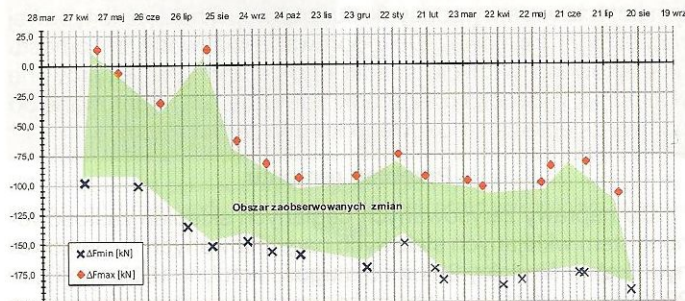
Ciągły pomiar elektroniczny umożliwia uzyskanie wyników, a następnie ich analizowanie w szerokim zakresie, począwszy od określenia rzeczywistego wyężenia konstrukcji lub jej poszczególnych elementów, a skończywszy na rzeczywistych wartościach (zakresach zmian) oddziaływań środowiskowych na konstrukcję.

Sily w wieszakach

Sily w wieszakach wyznacza się, wykorzystując czujniki strunowe do pomiaru odkształceń, zainstalowane na dziesięciu wieszakach (rys. 1). Punkty pomiarowe oznaczono jako P81÷P85 z symbolami N lub S, które oznaczają odpowiednio stronę północną i południową konstrukcji, oraz symbolami R lub L – część konstrukcji od strony Radomia i Lublina.

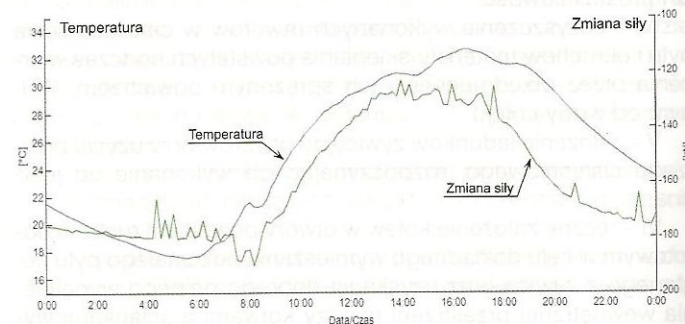
Przeanalizowano zmiany sił w wybranych trzech wieszakach mostu (punkty pomiarowe P81NR, P83NR i P85NR) od strony Radomia, w części północnej konstrukcji. Sily te są spowodowane działaniem obciążeń użytkowych i środowiskowych, gdyż czujniki zostały zainstalowane po oddaniu mostu do eksploatacji. Dlatego odnotowano także dodatnie wartości sił, co nie oznacza, że dany wieszak jest ściskany.

Największe zmiany siły (spośród trzech analizowanych wieszaków) odnotowano w punkcie P81NR. Dane dotyczące tego punktu pomiarowego przedstawiono w formie graficznej na rys. 2. Stanowi on obwiednię ekstremalnych wartości sił w układzie miesięcznym. Zmiany wartości siły wynoszą średnio około 90 kN, przy nośności charakterystycznej wieszaka wynoszącej około 700 kN.

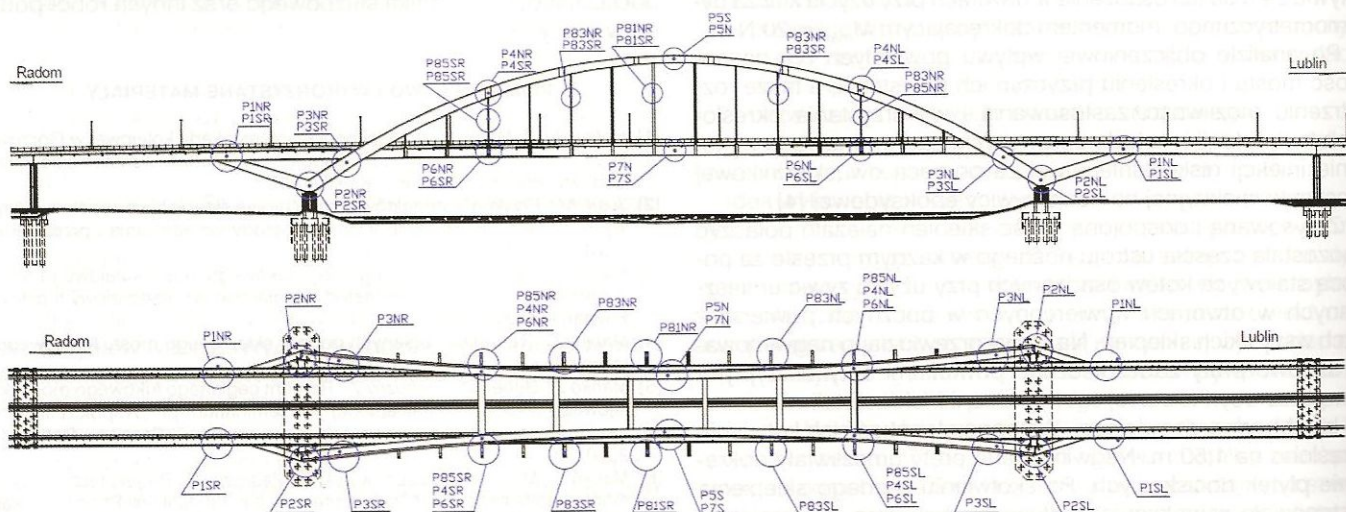


Rys. 2. Ekstremalne wartości zmian siły w wieszaku w punkcie pomiarowym P81NR

Można zauważyć, że minimalne wartości sił odnotowano w nocy lub we wczesnych godzinach porannych, natomiast maksymalne – około południa lub po południu. Zjawisko to jest związane ze zmianą temperatury konstrukcji. Pomimo większego natężenia ruchu samochodowego, w ciągu dnia następuje zmniejszenie sił w wieszakach, w nocy natomiast, kiedy temperatura osiąga wartości minimalne, siły w wieszakach się zwiększają. Tę sytuację potwierdza przedstawiony na rys. 3 wykres zmian siły oraz temperatury wieszaka w układzie dobowym, na

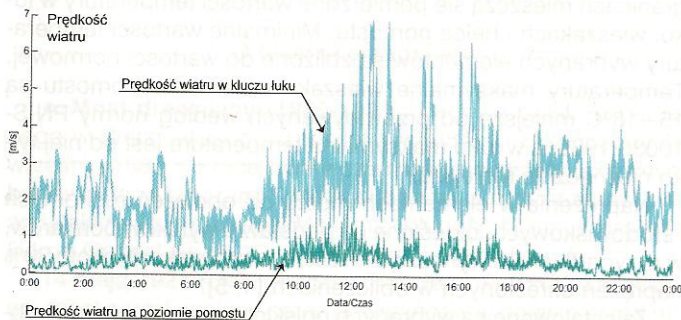


Rys. 3. Zmiany siły oraz temperatury wieszaka w punkcie pomiarowym P81NR (12.08.2010 r.)



Rys. 1. Usytuowanie punktów pomiarowych [1]

którym można zaobserwować zachodzące zmiany w sposób ciągły. Wykres prędkości wiatru z tego samego dnia pokazano na rys. 4. Dane dotyczące prędkości i kierunku wiatru (punkt P5N) są rejestrowane w kluczu jednego z łuków (łuk północny) oraz w środku rozpiętości przęsła, na poziomie pomostu. Prędkość wiatru zarejestrowaną na pomoście można uznać za mniej istotną (nie przekracza 2 m/s). Prędkość wiatru zmierzona na łuku w dniu, w którym siła w wieszaku środkowym (P81NR) osiągnęła wartość minimalną, nie przekroczyła 7 m/s, a jej zwiększenie nastąpiło w godzinach popołudniowych.



Rys. 4. Zapis prędkości wiatru mierzonej w kluczu łuku oraz na pomoście (12.08.2010 r.)

W tabelicy 1 zestawiono wartości ekstremalne naprężeń w wieszakach w analizowanym przedziale czasu oraz ekstremalne naprężenia charakterystyczne uzyskane na podstawie obliczonych w [4] odkształceń w układach podstawowych (PD1: obciążenie ruchome + wiatr; PD2: obciążenie ruchome + temperatura). W punktach P83NR i P85NR zwiększenie naprężeń od obciążeń zewnętrznych stanowi około 25%, a w wieszaku środkowym (P81NR) około 65% wartości określonych w obliczeniach. Jednocześnie stosunek naprężeń określonych na podstawie pomiarów do naprężeń charakterystycznych od obciążeń całkowitych, uzyskanych na podstawie naprężeń obliczeniowych [4], przy przyjęciu średniego współczynnika obciążenia równego 1,35, można oszacować na około 30%.

Tabela 1

Ekstremalne wartości naprężeń określonych na podstawie pomiarów i obliczonych (charakterystycznych) w wieszakach

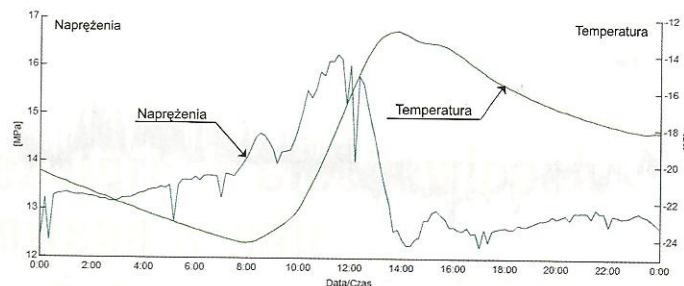
Punkt pomiarowy	Wartości pomierzone	Wartości obliczone min{PD1; PD2}	Δ , %
	MPa	MPa	
P81NR	-23,27	-35,67	65,2
P83NR	-9,68	-36,08	26,8
P85NR	-9,98	-41,00	24,3

Naprężenia w łuku

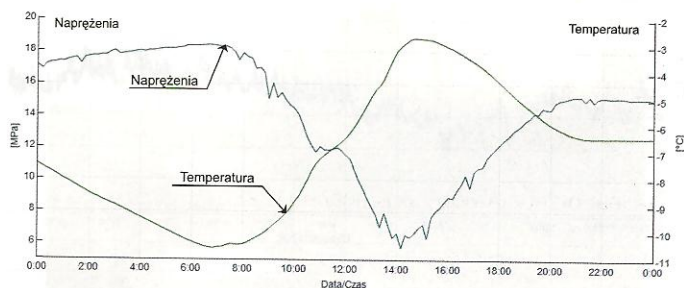
Odkształcenia łuków są mierzone w osiemnastu punktach (punkty P1 ÷ P5 z odpowiednimi symbolami literowymi). Odkształcenia są mierzone równoległe do osi mostu na dolnej krawędzi dźwigara – punkty P1 i P2 oraz na górnej krawędzi – punkty P3 ÷ P5.

Przeanalizowano zmiany naprężeń w łuku w wybranych punktach pomiarowych – P1NR, P2NR, P3NR, P4NR i P5N. Podobnie jak w przypadku sił w wieszakach, analizowane wyniki pomiarów dotyczą okresu od maja 2009 r. do końca sierpnia 2010 r.

W punktach pomiarowych na łuku maksymalna temperatura konstrukcji jest notowana w godzinach południowych i popołudniowych [6]. Przykładowe wykresy naprężeń i temperatury w wybranych punktach pomiarowych, w układzie dobowym, przedstawiono na rys. 5 i 6. Na podstawie zebranych danych można stwierdzić także, że w okresie zimowym zakres zmian



Rys. 5. Wykres naprężeń oraz temperatury konstrukcji w punkcie P5N (26.01.2010 r.)



Rys. 6. Wykres naprężeń oraz temperatury konstrukcji w punkcie P3NR (8.03.2010 r.)

naprężeń jest mniejszy niż w okresie letnim. Zmiany naprężeń w miesiącach letnich wynoszą najczęściej około 30 ÷ 40 MPa, a w porze zimowej około 5 ÷ 15 MPa.

W tabelicy 2 zestawiono określone na podstawie pomiarów wartości ekstremalne naprężeń w łuku głównym oraz ekstremalne naprężenia charakterystyczne uzyskane na podstawie obliczonych w pracy [4] odkształceń w układach podstawowych (PD1: obciążenie ruchome + parcie wiatru; PD2: obciążenie ruchome + zmiany temperatury). Zmiany naprężeń od obciążeń zewnętrznych w analizowanych punktach stanowią od 60 do 80% wartości uzyskanych z obliczeń. W odniesieniu do naprężeń charakterystycznych od obciążeń całkowitych, uzyskanych na podstawie naprężeń obliczeniowych [4], przy przyjęciu średniego współczynnika obciążenia równego 1,35, pomierzone zmiany naprężeń stanowią od 7 do 12% w zależności od przekroju łuku. Z kolei stosunek naprężeń od obciążeń ruchomych do naprężeń od obciążeń całkowitych (wartości charakterystyczne), uzyskanych na podstawie obliczeń projektowych, wynosi 32 ÷ 35%.

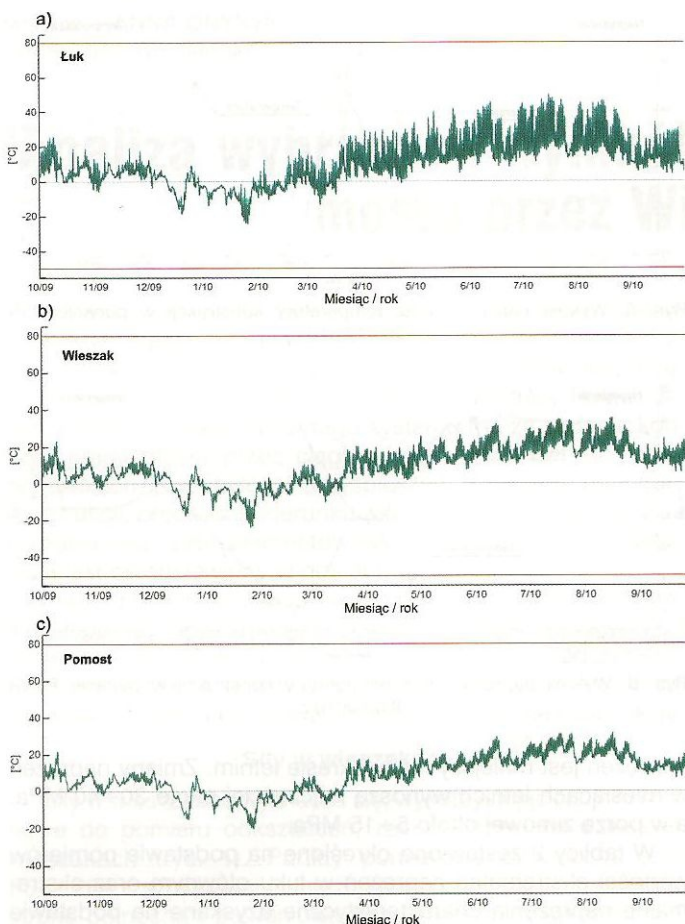
Tabela 2

Ekstremalne wartości naprężeń określonych na podstawie pomiarów i obliczonych (charakterystycznych) w łuku

Punkt pomiarowy	Wartości pomierzone	Wartości obliczone max{PD1; PD2}	Δ , %
	MPa	MPa	
P5NR	16,25	20,71	78,5
P4NR	16,13	21,53	74,9
P3NR	18,42	29,52	62,4

Temperatura łuku, wieszaków i pomostu

Wykresy temperatury konstrukcji w kluczu łuku (punkt P5N), na wieszaku (punkt P81NR) i na belce pomostu (punkt P7N), gdzie pomiar jest dokonywany na dolnych półkach blachownic tandemem, przedstawiono na rys. 7. Wykresy wykonano, uwzględniając dane z okresu od 1 października 2009 r. do 30 września 2010 r. Największe wartości temperatur i zakresy ich zmienności są obserwowane na łuku, maksymalne temperatury osiągają wartości około 50°C, minimalne nie przekraczają -25°C. Najmniejsze zakresy zmian temperatury



Rys. 7. Wykres temperatury konstrukcji w punkcie: a) P5N (łuk), b) P81NR (wieszak), c) P7N (pomost)

występują na belce (najmniejsza temperatura w ciągu roku nie przekracza -21°C , a największa $+32^{\circ}\text{C}$), jednak różnice w stosunku do wieszaka nie są znaczne (od -24°C do $+35^{\circ}\text{C}$). Minimalne temperatury występujące na wszystkich trzech elementach są porównywalne; maksymalne wartości temperatury belki i wieszaka są mniejsze niż w łuku; różnice wynoszą około 20°C .

Na przedstawionych wykresach jest widoczny mały zakres zmian temperatur w okresie zimowym. Dotyczy to wszystkich analizowanych elementów. Można zatem wywnioskować, że zmiana naprężeń w łuku zależy głównie od zmian temperatury.

Podsumowanie

Z przedstawionych danych pomiarowych wynika, że głównym czynnikiem wpływającym na zmianę wyężenia konstrukcji w poszczególnych punktach są wpływy termiczne. Zasadniczą zmianę naprężeń w elementach powoduje oddziaływanie temperatury w układzie dobowym. W ciągu roku można zauważyć zmianę zakresu temperatury otoczenia i związany z tym odpowiednio mniejszy lub większy zakres zmian naprężeń w konstrukcji. Wahania temperatury mostów stalowych według PN-S-10030:1985 należy przyjmować od -25 do $+55^{\circ}\text{C}$ i w tych granicach mieszczą się pomierzone wartości temperatury w łuku, wieszakach i belce pomostu. Minimalne wartości temperatury wybranych elementów są zbliżone do wartości normowej. Temperatury maksymalne wieszaka i elementu pomostu są $15 \div 18^{\circ}\text{C}$ mniejsze od przewidywanych według normy PN-S-10030:1985, a w łuku maksymalna temperatura jest od niej tylko nieznacznie mniejsza.

Naprężenia w elementach mostu od obciążeń ruchomych i środowiskowych, określone na podstawie wyników pomiarów, w przypadku łuku wynoszą $7 \div 12\%$, a w wieszakach około 30% naprężeń określonych w obliczeniach [4, 5].

Zainstalowane na wybranych polskich mostach systemy obserwacji ciągłej dostarczają danych o rzeczywistym wyężeniu konstrukcji mostowych i wartościach oddziaływań środowiskowych. Dane te mogą stanowić materiał do opracowania krajowych załączników do Eurokodów.

★ ★ ★

Praca wykonana w ramach umowy z Generalną Dyрекcją Dróg Krajowych i Autostrad Oddział w Lublinie. Autorka dziękuje Dyrekcji za możliwość wykorzystania danych z systemu, a Profesorowi Janowi Biliszczukowi za uwagi przekazane podczas opracowywania artykułu.

PIŚMIENNICTWO I WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] Biliszczuk J., Barcik W., Toczkiwicz R.: Projekt techniczny systemu monitoringu elektronicznego konstrukcji mostu przez Wisłę w Puławach. Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
- [2] Biliszczuk J., Barcik W., Sieńko R.: System monitorowania mostu w Puławach. „Mosty”, nr 4/2009.
- [3] Biliszczuk J., Grej K. z zespołem: Obwodnica miasta Puławy wraz z nowym mostem przez Wisłę. Praca zbiorowa. Puławy 2008 r.
- [4] Biliszczuk J., Barcik W., Toczkiwicz R.: Projekt techniczny systemu monitoringu elektronicznego konstrukcji mostu przez Wisłę w Puławach. Część II – Obwodnica wartości mierzonych odkształceń. Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
- [5] Biliszczuk J., Toczkiwicz R.: Analiza statyczno-wytrzymałościowa elementów konstrukcji mostu przez Wisłę w Puławach. Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
- [6] Zobel H.: Naturalne zjawiska termiczne w mostach. WKŁ, Warszawa 2003.

XX konferencja naukowo-techniczna „Ekologia a budownictwo”

Konferencja odbędzie się **13-15 października w Bielsku-Białej**. Organizatorami są: Komitet Ekologii przy Zarządzie Głównym PZITB, Instytut Techniki Budowlanej, Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej, PZITB Oddział w Bielsku-Białej oraz Śląska Okręgowa Izba Inżynierów Budownictwa. Przewodniczącym Rady Naukowo-Technicznej jest prof. dr hab. inż. Leonard Runkiewicz, a przewodniczącym Komitetu Organizacyjnego mgr inż. Janusz Kozula.

Tematyka konferencji obejmuje:

- aktualne problemy ochrony środowiska;
- problemy zrównoważonego rozwoju;
- wyjątkowe warunki klimatyczne wpływające na budownictwo;
- zadania administracji państwowej i samorządowej oraz uczestników procesu budowlanego w ochronie środowiska;
- proekologiczne materiały i wyroby budowlane – materiały odnawialne, recykling i wykorzystanie odpadów;
- skutki techniczne, ekonomiczne i społeczne skażenia obiektów budowlanych i sposoby ich neutralizacji;

- ekologia terenów zurbanizowanych, aspekty społeczne i psychologiczne;
- kształcenie ekologiczne w działalności budowlanej;
- ekologiczne aspekty budownictwa energooszczędnego;
- rewitalizacja obiektów, terenów przemysłowych i innych;
- różne zagadnienia ekologiczne w budownictwie oraz problemy korozji biologicznej;
- problemy projektowania i utrzymania obiektów budowlanych w strategii zrównoważonego rozwoju.

Adres organizatora:

Oddział PZITB w Bielsku-Białej
ul. 3 Maja 10
43-200 Bielsko-Biała
Tel. /fax 33-816-68-34, 33-822-02-94
e-mail: biuro@pzitb.bielsko.pl
www.pzitb.bielsko.pl