

Adam BARTNICKI¹

STANOWISKO DO POMIARU STRZAŁKI UGIĘCIA KONSTRUKCJI MOSTOWYCH Z WYKORZYSTANIEM METOD BEZPOŚREDNICH I POŚREDNICH

W referacie dokonano przeglądu wybranych metod monitorowania pracy konstrukcji mostowych w warunkach laboratoryjnych, na stanowiskach badawczych i w warunkach rzeczywistych, obiektów budowanych i eksploatowanych. Zaproponowano rozwiązanie konstrukcyjne stanowiska do testów zintegrowanego systemu monitorowania stałych i tymczasowych przepraw mostowych.

STATION FOR MEASURING DEFLECTION OF BRIDGE CONSTRUCTIONS USING DIRECT AND INDIRECT METHODS

This paper contains analysis of selected monitoring methods of bridge structure in laboratory conditions (on test stations) and in reality (on bridges being under construction and in use). Moreover, authors present their own construction of station for testing integrated monitoring system of permanent and temporary bridges.

1. WSTĘP

Intensywna eksploatacja przepraw mostowych, obciążenia ponadnormatywne, a także wyężenia tego typu konstrukcji powstałe w wyniku klęsk żywiołowych i zdarzeń losowych niejednokrotnie skracają, założony na etapie projektowania, czas ich bezawaryjnego użytkowania. Dlatego bardzo istotnym zagadnieniem wydaje się problem okresowego lub (w uzasadnionych przypadkach) ciągłego dozoru ich stanu technicznego w aspekcie utrzymania dopuszczalnych wartości wielkości eksploatacyjnych.

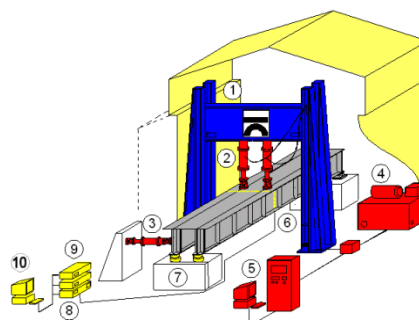
Konieczność utrzymania ciągłości komunikacyjnej, degradacja przepraw mostowych, to najistotniejsze przyczyny wymuszające konieczność ciągłego monitorowania stałych i tymczasowych przepraw mostowych. Dynamiczny rozwój metod badawczych i systemów pomiarowych otwiera nowe możliwości w dziedzinie dozoru istniejących i nowo budowanych obiektów inżynierskich. Opracowanie zintegrowanego systemu ich monitorowania pozwoli na wcześniejszą identyfikację i lokalizację przyczyn i źródeł postępującej degradacji.

¹ Wojskowa Akademia Techniczna

2. METODY BADAŃ PRZESEŁ MOSTOWYCH

Badania wytrzymałościowe przeseł mostów składanych w Polsce prowadzi m.in. Ośrodek Badań Mostów, Betonów i Kruszyw w Żmigrodzie na stanowisku „Stend” (rys.1). Stanowisko badawcze „Stend” tworzy fundament żelbetowy o długości 80,0 m i szerokości 12,0 m, posiadające system odpowiednich kotew, wraz z halą oraz stalową ramą stanowiącą konstrukcję oporową dla hydraulicznych urządzeń wymuszających obciążenia. Stanowisko to wyposażono w system siłowników hydraulicznych firmy SCHENCK wraz z nowoczesnym systemem sterowania i zasilania, pozwalającym uzyskać pełną kontrolę nad wymuszonymi obciążeniami w czasie rzeczywistym. Wyposażone jest w system zbierania i akwizycji danych, pozwalający na pomiar szeregu wielkości opisujących przebieg zmian zachodzących w badanych konstrukcjach. W skład stanowiska wchodzi:

- dwa siłowniki o maksymalnej sile wymuszającej 1000 kN i maksymalnym przesuwie 400 mm, umożliwiającym wymuszenie obciążeń dynamicznych w zakresie ± 800 kN,
- hydrauliczny agregat zasilający o wydajności 130 l/min wraz z automatycznym systemem chłodzenia powietrznego,
- elektroniczny system Hydropuls S-59 pozwalający na niezależne sterowanie pracą dwóch siłowników w oparciu o pomierzone w czasie rzeczywistym wielkości siły nacisku tłoka i wysuwu.



Rys.1. Schemat stanowiska „Stend” do badań przeseł mostowych

Niemcy z kolei prowadzą badania przeseł na pojeździe własnej produkcji BELFA (rys.2). Pojazd znajdujący się w pozycji transportowej może poruszać się po drogach publicznych.



Rys.2. Pojazd BELFA w pozycji transportowej

W pozycji rozłożonej można dokonać badań mostów o rozpiętości do 18m. Masa pojazdu wraz z balastem służy do zbilansowania sił reakcji badanego mostu. Obciążenie przenoszone jest za pomocą pięciu siłowników hydraulicznych (rys.4).



Rys.3. Pojazd BELFA w trakcie badania przęsta

Siłowniki mogą być rozsuwane wzdłuż badanego mostu niezależnie. Każdy z nich posiada, także oddzielne sterowanie i jest w stanie wygenerować obciążenie 500kN. Pojazd wyposażony jest w żuraw hydrauliczny służący do nakładania dodatkowego balastu. W trakcie badania (rys.3) ostatnia oś naczepy znajduje się po za badanym mostem. Ponadto to w celu zwiększenia obciążenia żuraw hydrauliczny podnosi ciągnik do góry przenosząc jego masę na siebie. Podstawowe parametry pojazdu przedstawia tab.1.

Tabela.1. Podstawowe parametry pojazdu BELFA

długość w pozycji transportowej	22,5 m
długość w pozycji badawczej	22,5m – 34.5m
rozpiętość badanego mostu	6m – 18m
masa pojazdu	67.5 t
masa balastu	10 t

Próbné obciążenia konstrukcji mostowych częstokroć przeprowadzane są w oparciu o metody tradycyjne. Na rys.4 przedstawiono próbné obciążenia obiektów mostowych w ciągu trasy Siekierkowskiej oraz wchodzących w skład węzła Czerniakowskiego w Warszawie. W sierpniu 2002 roku na zlecenie Mostostalu Warszawa S.A. wykonano badania odbiorcze przeprawy mostowej przez Wisłę, której główną część stanowi podwieszony most nad nurtem rzeki M-1 o sumarycznej długości równej 500,00 m i rozpiętości głównego przęsta równej 250 m. W ramach zadania zbadano również dwa mosty na lewo- i prawobrzeżnym terenie zalewowym oraz dwie estakady dojazdowe do mostu i jeden wiadukt. Wcześniej w lipcu 2002 roku na zlecenie Przedsiębiorstwa Robót Mostowych Mosty Łódź wykonano próbné obciążenia trzech wiaduktów na prawobrzeżnym węźle dojazdowym do mostu. W maju 2003 roku na zlecenie firmy Warbud S.A. wykonano badania trzech estakad węzła Czerniakowskiego [7].



Rys.4. Próbné obciążenie mostu Siekierkowskiego w Warszawie

Innym krajowym rozwiązaniem pomiaru odkształceń konstrukcji mostowych jest wizyjno-komputerowa metoda wyznaczania charakterystyk dynamicznych w trudno dostępnych punktach konstrukcji mostowych, opracowana na wydziale Mechaniki Precyzyjnej Politechniki Warszawskiej [7]. Metoda pomiarowa polega na automatyzacji metody fotogrametrycznej poprzez wykorzystanie komputerowej analizy obrazów uzyskiwanych w jedno- lub dwukanałowym układzie optycznym. Opracowane algorytmy zapewniają prowadzenie analizy obrazu w czasie rzeczywistym i z podpixelową dokładnością (rys.5).

a)

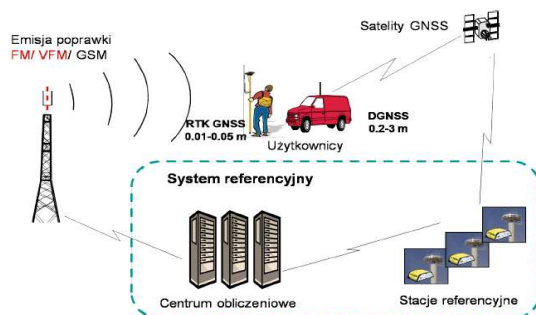


b)



Rys.5. Zastosowanie metody wizyjno-komputerowej do badań dynamicznych konstrukcji mostowych: a) badania mostu Świętokrzyskiego w Warszawie, b) dwukanałowy układ optyczny [8]

W procesach monitorowania konstrukcji mostowych, inżynierowie coraz częściej posługują się metodami opartymi na pomiarach pośrednich, wykorzystującymi technikę GNSS (Global Navigation Satellite System) jako narzędzie do detekcji przemieszczeń elementów konstrukcji określanego jako monitoring strukturalny GNSS [4, 8] (rys.6).



Rys.6. Idea wykorzystania techniki GNSS

W wyniku współpracy Katedry Budowy Maszyn i Centrum Geomatyki Stosowanej Wojskowej Akademii Technicznej zbudowano stanowisko pomiarowe dla potrzeb przeprowadzenia testów zintegrowanego systemu monitorowania stałych i tymczasowych przepraw mostowych, opartego na pomiarach pośrednich i bezpośrednich.

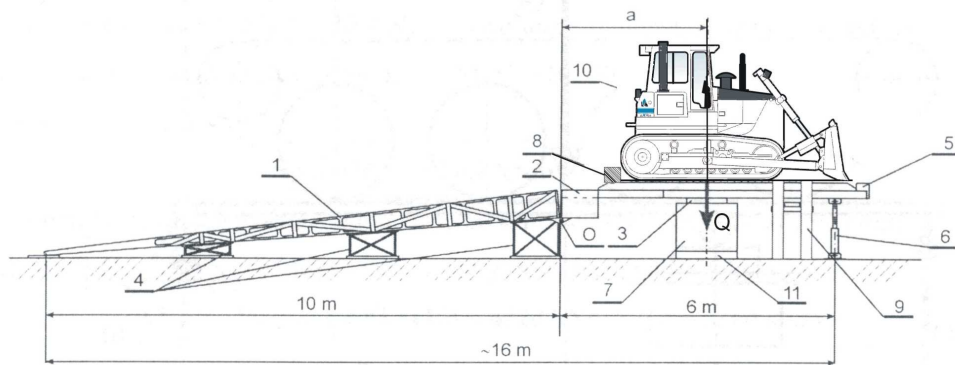
3. STANOWISKO DO TESTÓW ZINTEGROWANEGO SYSTEMU MONITOROWANIA STAŁYCH I TYMCZASOWYCH PRZEPRAW MOSTOWYCH

Stanowisko zbudowano w oparciu o istniejące w Katedrze Budowy Maszyn stanowisko do badania pręseł mostów składanych (rys.7,9) [1,2]. Pomiaru strzałki ugięcia dokonywano za pomocą dwóch niezależnych systemów pomiarowych: indukcyjnych czujników przemieszczeń (rys.10a) oraz alternatywnie (rys.10b) metodą GNSS (*ang. Global Navigation Satellite System*).

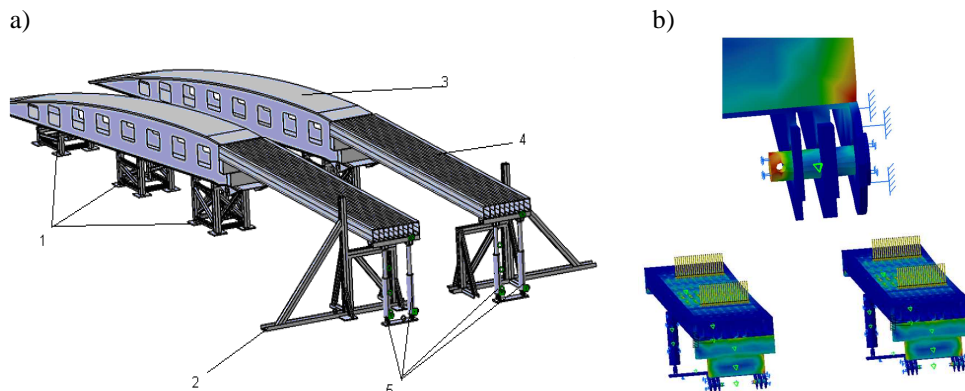
Dla potrzeb realizacji pomiaru metodą GNSS układ pomiarowy stanowiska rozbudowano o następujące elementy:

1. Tachimetr robotyczny Leica TM30 - realizuje pomiary współrzędnych 3d w sposób zautomatyzowany na podstawie pomiarów kąto-liniowych, dokładność pomiaru kąta = 0,5", dokładność pomiaru odległości=0,6mm (rys.11a);
2. Niwelator kodowy Leica sprinter 220 - realizuje pomiar różnicy wysokości w sposób zautomatyzowany, dokładność <1mm (rys.11b);
3. Odbiorniki GNSS Trimble SPS i 5700 - odbiorniki systemu nawigacji satelitarnej - realizują pomiar współrzędnych 3d w sposób automatyczny w czasie rzeczywistym z dokładnością 2cm w pionie i 1 cm w poziomie (rys.11c).

Pomiar techniką GNSS daje możliwość uzyskania trójwymiarowej pozycji anteny w czasie rzeczywistym z dokładnością ok. 1 cm dla składowych poziomych i ok. 2 cm dla składowej pionowej. Przemieszczenie jest określane na podstawie względnej zmiany pozycji między odbiornikiem ruchomym (umieszczonym na moście) i odbiornikiem referencyjnym umieszczonym poza konstrukcją. Większą dokładność określenia współrzędnych ruchomych można uzyskać w procesie obliczeniowym po fakcie (*ang. postprocessing*).



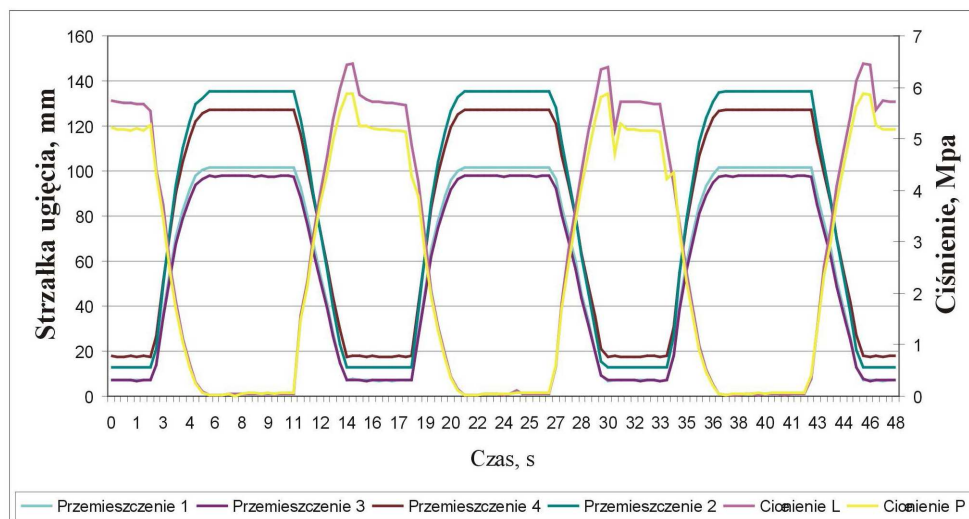
Rys.7. Schemat stanowiska do badania nośności kolein mostowych: 1 – najazd, 2 – pomost obciążający, 3 – płyta przekazująca obciążenie, 4 – podpory, 5 – belka przednia, 6 – siłowniki obciążające przęsło, 7 – przęsło (koleina mostowa), 8 – belka tylna, 9 – prowadnice boczne, 10 – pojazd obciążający; 11 – podpora przęsła



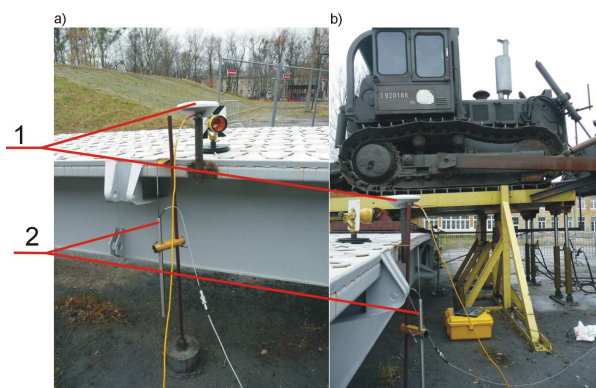
Rys.8. Projekt stanowiska wykonany w środowisku CATIA: a) projekt konstrukcyjny, b) naprężenia dla wybranego schematu obciążenia: 1 – podpory mostu najazdowego, 2 – wspornik zabezpieczający, 3 – pomost najazdowy, 4 – koleiny pomostu obciążającego, 5 – zespół siłowników hydraulicznych

W oparciu o zbudowane stanowisko przeprowadzono badania rozpoznawcze zintegrowanego systemu monitorowania stałych i tymczasowych przepraw mostowych, a wstępne wyniki badań potwierdziły słuszność przyjętych założeń i przydatność metody GNSS w procesie monitorowania obiektów inżynierskich. Na rys.9 przedstawione przykładowe przebiegi strzałki ugięcia w próbie obciążenia wolnozmiennego, gdzie:

- przemieszczenia 1 i 3 mierzone w odległości 4500 mm od osi poprzecznej mostu metodą bezpośrednią (1) i pośrednią (3),
- przemieszczenia 2 i 4 mierzone w osi poprzecznej mostu metodą bezpośrednią (2) i pośrednią (4).



Rys.9. Przebiegi naprężeń i strzałek ugięcia w czasie obciążenia MLC70(T)



Rys.10. Układ pomiaru strzałki ugięcia przęsła mostu: 1-antena pomiarowa GNSS; 2-indukcyjny czujnik przemieszczeń; a)punkt pomiarowy nr1; b)widok stanowiska z boku

4. WNIOSKI

Przedstawione stanowisko do testów zintegrowanego systemu monitorowania stałych i tymczasowych przepraw mostowych, pozwoliło przeprowadzić badania rozpoznawcze systemu dozoru obiektów inżynierskich w warunkach laboratoryjnych. Na stanowisku dokonano pomiarów strzałki ugięcia przęsła mostu składanego, dla różnych zakresów obciążeń statycznych i wolnozmiennych, z wykorzystaniem pomiaru bezpośredniego i pośredniego.



Rys.11. Elementy systemu pomiarowego GNSS: a) tachimetr robotyczny Leica TM30, b) Niwelator kodowy Leica sprinter 220, c) odbiorniki GNSS Trimble SPS i 5700

Do pomiaru pośredniego wykorzystano indukcyjne czujniki przemieszczeń, natomiast w pomiarze pośrednim wykorzystano system pomiarowy GNSS. Uzyskane dwoma niezależnymi metodami wyniki pomiarów strzałki ugięcia przęsła mostu towarzyszącego potwierdziły możliwość wykorzystania technologii GNSS w pomiarach przemieszczeń i odkształceń w przypadku konstrukcji mostowych o dość znacznych odkształceniach. W kolejnym etapie przewiduje się przeprowadzenie badań na obiekcie rzeczywistym o znacznie mniejszych ugięciach.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] STANAG Nr 2021
- [2] Bartnicki A.: *Badania wytrzymałościowe i trwałościowe prototypu mostu samochodowego MS20*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, nr 1 2010
- [3] Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłoś Z.: *Wytrzymałość materiałów*, WNT, Warszawa 2003
- [4] Helz R. L.: *Monitoring Ground Deformations from Space*. US Geological Survey Fact Sheet, 2005-773-227/11054.
- [5] Kuczmarowski F., Marecki P., Płocharz W.: *Badania wytrzymałościowe i trwałościowe kolein mostu towarzyszącego ms-20. Cz. I. Stanowisko badawcze*, V Międzynarodowa Konferencja Uzbrojenia „Naukowe Aspekty Techniki Uzbrojenia”, Waplewo 2004
- [6] Michurski M., Zaradny Z.: *Sprzęt przeprowowo-mostowy*, Przegląd Wojsk Lądowych nr 10/1997
- [7] Zaradny Z., Malej W.: *Tendencje rozwojowe sprzętu mostowo-przeprowowego*, Przegląd Wojsk Lądowych nr 2/2003
- [8] <http://www.ibdim.edu.pl/index.php/zaklady-naukowe/zaklad-mostow/164-prackonstrukcji-mostowych-waniejsze-osignicia#1>
- [9] http://www.cgs.wat.edu.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=75%3Abadania-na-mocie-siekierkowskim&catid=1%3Alatest-news&lang=pl (06.10.2011 r.)

Niniejsza publikacja jest częścią projektu badawczego MNiSW, grant nr 1649/B/T00/2010/40