

dr inż. Adam Bujarkiewicz*
 dr inż. Jacek Sztubecki*
 dr inż. Małgorzata Sztubecka*

Badania przemieszczeń konstrukcji mostowych

Research of displacement of bridge construction

Streszczenie. W artykule przedstawiono technologię pomiaru dynamicznych przemieszczeń konstrukcji mostowych z wykorzystaniem współrzędnościowej stacji laserowej Leica TDRA 6000, wyposażonej w nową, ulepszoną technologię napędu bezpośredniego, pozwalającą na uzyskanie dokładności 3D pomiaru punktu na poziomie 0,25 mm.

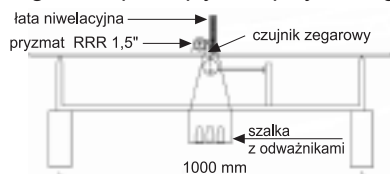
Słowa kluczowe: pomiar przemieszczeń, dynamika konstrukcji mostowych.

Konstrukcje mostowe cechuje zmienność odkształceń w zależności od obciążeń dynamicznych. Ze względu na bezpieczeństwo ich użytkowania [1, 2] badanie ruchów i drgań tego rodzaju konstrukcji należy wykonywać cyklicznie. Jednym z podstawowych badań, jakie należy przeprowadzić, jest pomiar ugięcia przęsła mostu, spowodowanego obciążeniem. Można go zrealizować metodą: niwelacji precyzyjnej; z zastosowaniem urządzeń wykorzystujących mikrofałę; czujnika zegarowego; przyrządów geodezyjnych [3, 4, 5]. Metody geodezyjne pozwalają na obserwację przemieszczeń pomiędzy przyjętymi momentami czasu, ale nie dają odpowiedniej dokładności w rejestracji zmian poszczególnych elementów mostu poddanych obciążeniu dynamicznemu. Za pomocą stacji laserowej Leica TDRA 6000 można wykonać w trybie precyzyjnym (na przyrząd 1.5" RRR) pomiar odległości z błędem $\pm 0,1$ mm oraz kierunków poziomych i pionowych z błędem $1,3^\circ$ ($0,42''$). Urządzenie umożliwia również pomiar w tzw. tackingu z wykorzystaniem funkcji automatycznego rozpoznawania celu i śledzenia lustra. Maksymalna częstotliwość rejestracji danych wynosi 5 Hz.

W artykule omówiliśmy zagadnienia dotyczące wyznaczania przemieszczeń pionowych za pomocą stacji laserowej Leica TDRA 6000. Postawiliśmy tezę, że przy pewnych założeniach przemieszczenia pionowe można określić z dokładnością 0,1 – 0,2 mm, czyli porównywalną do metody niwelacji precyzyjnej.

Badania laboratoryjne

W celu zweryfikowania postawionej tezy zbudowano w warunkach laboratoryjnych model belki wolnopodpartej długości 1 m (rysunek 1). Wykonano badania ugięcia punktu środkowego belki pod wpływem przyłożonego obciążenia statycznego



Rys. 1. Schemat modelu badawczego

* Uniwersytet Techniczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

Abstract. The paper presents the technology of measuring dynamic displacement of bridge structures using a coordinate laser station Leica TDRA 6000. Station is equipped with a new and improved technology, direct drive, allowing to receive accurate 3D of point measurement at 0,25 mm.

Keywords: displacement measurement, dynamics of bridge construction.

■ niwelacji precyzyjnej, wykorzystując niwelator precyzyjny Ni 007;

■ trygonometryczną, wykorzystując współrzędnościową stację laserową Leica TDRA 6000.

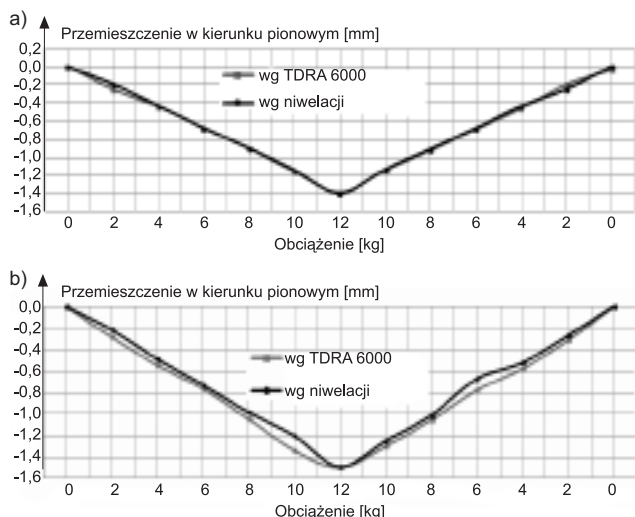
W przypadku pomiaru statycznego stanowiska były oddalone o 5 i 20 m od modelu badawczego. W drugiej fazie pomierzono ugięcie belki od obciążenia dynamicznego, umieszczając w modelu naczynie o pojemności 12 l i napełniając je jednostajnie wodą. Proces napełniania zsynchronizowano z pomiarem stacją TDRA 6000 w trybie trackingu. Pomiar dynamiczny ugięcia wykonano ze stanowisk oddalonych o 5 i 40 m od modelu badawczego. W obydwu badaniach celowa stacji TDRA 6000 przyjmowała w przybliżeniu położenie poziome i w efekcie mała dokładność pomiaru długości miała znikomy wpływ na pomiar pionowego przemieszczenia punktu kontrolnego.

Opracowanie i interpretacja wyników

Z pomiaru ugięcia belki obciążanej statycznie uzyskano wyniki w postaci odczytów precyzyjnej łaty niwelacyjnej oraz przestrzenne współrzędne precyzyjnego lustra pomiarowego. Na ich podstawie obliczono przemieszczenia pionowe między kolejnymi stanami obciążanej lub odciążanej belki. Wyniki przedstawiono w tabeli oraz na rysunku 2.

Ugięcia belki pomierzone urządzeniem Leica TDRA 6000 oraz niwelatorem Ni 007

Obciążenie [kg]	Ugięcie belki w odległości 5 m wg		Różnica ugięcia [mm]	Ugięcie belki w odległości 20 m wg		Różnica ugięcia [mm]
	TDRA [mm]	niwelacji [mm]		TDRA [mm]	niwelacji [mm]	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	-0,25	-0,19	-0,06	-0,28	-0,22	-0,07
4	-0,44	-0,43	-0,01	-0,55	-0,49	-0,06
6	-0,68	-0,68	0,00	-0,76	-0,73	-0,03
8	-0,91	-0,90	-0,01	-1,05	-0,99	-0,06
10	-1,16	-1,15	-0,01	-1,34	-1,21	-0,13
12	-1,39	-1,40	0,01	-1,50	-1,50	-0,01
10	-1,14	-1,14	-0,01	-1,30	-1,26	-0,05
8	-0,92	-0,91	-0,01	-1,06	-1,02	-0,04
6	-0,69	-0,68	-0,01	-0,78	-0,68	-0,10
4	-0,47	-0,44	-0,03	-0,58	-0,53	-0,06
2	-0,20	-0,25	0,05	-0,31	-0,27	-0,04
0	-0,04	0,01	0,03	-0,01	0,00	-0,01

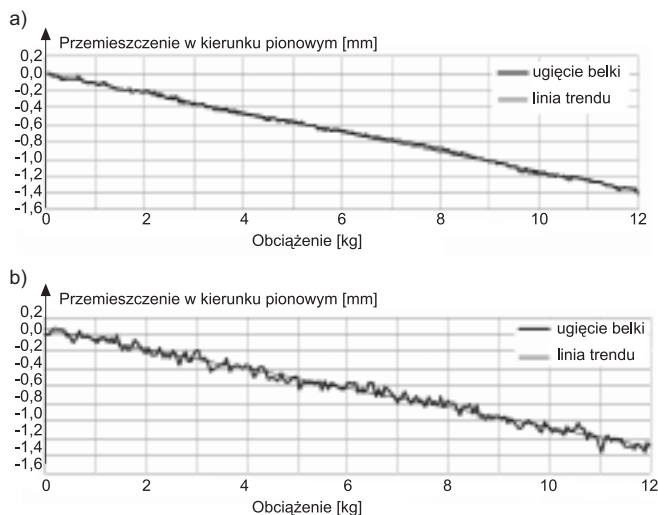


Rys. 2. Ugięcie belki pod wpływem obciążenia statycznego w przypadku pomiaru z odległości: a) 5 m; b) 20 m

Z analizy pomiarów wynika, że w przypadku celowej 5 m maksymalna różnica ugięcia uzyskana obiema metodami wynosi $-0,06$ mm, natomiast przy celowej 20 m $-0,13$ mm. Różnice mieszczą się w przedziale dokładności wykonywanych pomiarów, co wskazuje na porównywalność metod wykorzystanych w pomiarze statycznym. Zaobserwować można także bardzo silną korelację między obciążeniem (odciążaniem) belki a jej ugięciem.

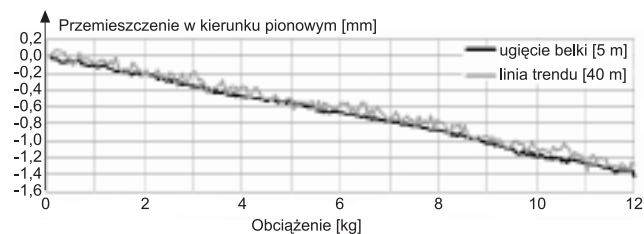
W analizie wyników pomiaru ugięcia podczas obciążenia dynamicznego, jednostajnie rosnącego do wartości 12 kg, określono podstawowe parametry odchylenia wartości pomierzonych od wartości oczekiwanych. Zastosowano funkcję regresji liniowej. Wykresy ugięcia belki wraz z wyznaczonymi liniami trendu w przypadku pomiarów z odległości 5 m i 40 m przedstawiono na rysunku 3. Maksymalne odchylenia przemieszczeń w kierunku pionowym pomierzonych za pomocą współrzędnościowej stacji laserowej Leica TDRA 6000 od linii trendu są następujące:

- w przypadku pomiaru z 5 m – od $-0,05$ do $+0,06$ mm;
- w przypadku pomiaru z 40 m – od $-0,12$ do $+0,17$ mm.



Rys. 3. Wykres ugięcia belki wraz z linią trendu w przypadku odległości: a) 5 m; b) 40 m

Dla obu pomiarów błędy standardowe oszacowania w regresji liniowej wyniosły odpowiednio: $0,02$ mm w przypadku pomiaru z 5 m i $0,05$ mm w przypadku pomiaru z 40 m. Porównując wyniki pomiarów z odległości 5 i 40 m (rysunek 4) stwierdzono, że wraz ze wzrostem odległości stanowiska od mierzonego modelu, maksymalne różnice nie przekroczyły $0,2$ mm.



Rys. 4. Porównanie wyników pomiarów w przypadku odległości 5 i 40 m

Podsumowanie i wnioski

Z badań laboratoryjnych wynika, że pomiary przemieszczeń pionowych wykonane za pomocą stacji laserowej Leica TDRA 6000 pozwalają uzyskać dokładność porównywalną z otrzymanymi metodą niwelacji precyzyjnej. Istotną zaletą tego urządzenia jest możliwość pomiaru przy celowych dłuższych niż dopuszczalne w niwelacji tradycyjnej. W przypadku badań przemieszczeń dynamicznych, wykonanych w trybie rejestracji ciągłej, zaobserwowano pogorszenie precyzji pomiaru wraz ze wzrostem odległości między stanowiskiem a mierzonym obiektem. Wielkość odchyżeń od wartości oczekiwanej na długości 40 m nie przekracza $0,2$ mm, co stanowi dopuszczalną dokładność pomiaru przemieszczeń konstrukcji drogowych. Monitoring przemieszczeń konstrukcji mostu z zastosowaniem współrzędnościowej stacji laserowej wysokiej precyzji może przyczynić się do skrócenia czasu oraz kosztów prac pomiarowych. Ponadto umożliwi większą swobodę doboru stanowisk pomiarowych i miejsc poddanych kontroli. Kolejnym etapem badań przydatności współrzędnościowej stacji laserowej w pomiarach deformacji i przemieszczeń dynamicznych konstrukcji mostowych będzie weryfikacja testów laboratoryjnych na obiektach rzeczywistych.

Badania na potrzeby publikacji wykonano sprzętem zakupionym w ramach projektu: „Realizacja II etapu Regionalnego Centrum Innowacyjności” współfinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Kujawsko-Pomorskiego na lata 2007-2013.

Literatura

- [1] Łagoda M.: Diagnostyka i monitoring mostów w Europie. Materiały Budowlane 7/2011 (nr 467). s. 36 – 38.
- [2] Podhorecki P.: Monitoring, analiza numeryczna oraz ocena przyczyn uszkodzeń i koncepcja naprawy kratownicowego mostu autostradowego w USA. Materiały Budowlane 7/2012 (nr 479). s. 4 – 10.
- [3] Erdelyi J.: Determination of bridge structure deformation using TLS. Reports on Geodesy z. 1/90. s. 115 – 121, 2011.
- [4] Cianciara A.: Dynamiczne monitorowanie mostów techniką mikrofalową. MOSTY 1/2009.
- [5] Jamka M.: Badania przemieszczeń pionowych konstrukcji pod obciążeniem dynamicznym. Problemy Kolejnictwa, Zeszyt 152. s. 143 – 154, 2011.