

BOGDAN WOLSKI, MAŁGORZATA ULMANIEC*, WŁADYSŁAW BOROWIEC**,
BOGUSŁAW ŁADECKI***

GEODEZYJNY MONITORING DEFORMACJI KONSTRUKCJI MOSTU PODWIESZONEGO

GEODETIC MONITORING OF SUSPENSION BRIDGE DEFORMATION STRUCTURE

Streszczenie

W badaniach stanu technicznego konstrukcji mostu podwieszono istotną rolę odgrywają pomiary geodezyjne. W prezentowanych badaniach konstrukcji nośnej rurociągu metodami geodezyjnymi przez 10 lat monitorowano zmiany geometrii głównych elementów mostu, tj.: stalowego pylonu, filarów i przęseł. Wyniki badań pozwoliły na sformułowanie zaleceń optymalizujących program geodezyjnych pomiarów mostów podwieszonych o dużych wymiarach. W szczególności dotyczy to układu odniesienia pomiarów wysokościowych oraz oddziaływania temperatury zarówno na konstrukcję, jak i wyniki pomiarów niwelacyjnych, które wymagają wprowadzania odpowiednich poprawek termicznych.

Słowa kluczowe: pomiary geodezyjne, most podwieszony, optymalizacja badań

Abstract

Geodetic measurements takes an essential role at technical condition examinations of suspension bridge. In the presented ten-years maintenance surveys of a pipe supporting bridge structure the geodetic methods have been applied to determine geometrical changes of the main parts of the bridge, viz. steel pylon, columns and spans. Recommendations referring to measurement programme of big sizes suspension bridges has been given too. Special attention should be taken for levelling reference system and temperature interaction of both structure and levelling measurements. The latter ones needs thermal corrections.

Keywords: geodetic measurements, suspension bridge, optimization of research

* Dr hab. inż. Bogdan Wolski, prof. PK, dr inż. Małgorzata Ulmaniec, Instytut Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

** Dr inż. Władysław Borowiec, Katedra Ochrony Terenów Górniczych, Geoinformatyki i Geodezji Górniczej, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.

*** Dr inż. Bogusław Ładecki, Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.

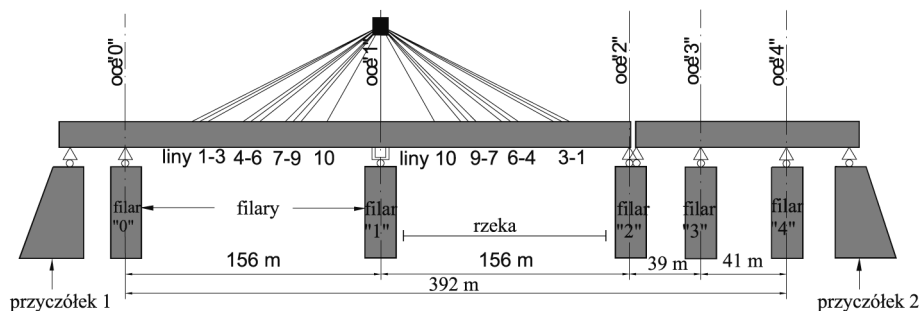
1. Obiekt badań

Mosty podwieszane stosowane są jako konstrukcje nośne elementów infrastruktury technicznej. Zaprezentowany w artykule stalowy most stanowi konstrukcję nośną rurociągu o średnicy 1200 mm (rys. 1). Głównym elementem tej konstrukcji jest stalowy pylon, na którym podwieszane są dwa przęsła o rozpiętości 156,0 m. Pozostałe dwa przęsła o rozpiętościach 39,0 m i 41,0 m są wolnopodparte (rys. 2). Konstrukcję nośną mostu stanowią dwie równoległe stalowe belki o długości całkowitej 392 m, wykonane w formie blachownicy o wysokości ok. 2,2 m, połączone na dwóch poziomach poprzecznymi i ryglami. Stężenia belek w pasach (płatach) górnych i dolnych tworzą ramę o wymiarach 2,2 × 5,0 m. Konstrukcja wsparta jest na żelbetonowych podporach za pośrednictwem czterech par łożysk, a dodatkowo zamocowana jest do podpór kotwami. Łożyskowe podparcia belek składają się ze wsporników połączonych z dolnymi pasami belek nośnych, płyt górnych, rolek oraz płyt dolnych, zamocowanych na podporach mostu. W osi mostu przebiega izolowany rurociąg podwieszony do górnych poprzecznic. Konstrukcja pylonu składa się z dwóch słupów opartych na łożyskach pylonu, zakotwionych w żelbetowym fundamencie (rys. 1). Główna część mostu (od osi „0” do osi „2”, rys. 2) podwieszona jest na 40 linach nośnych \varnothing 44 mm, o długości od 47,1 m do 116,2 m.



Rys. 1. Ogólny widok monitorowanego mostu podwieszanego

Fig. 1. General view of monitored suspension bridge



Rys. 2. Główne wymiary konstrukcji

Fig. 2. Dimensions of the structure

2. Zakres badań stanu technicznego obiektu

Zgodnie z instrukcją eksploatacji obiektu opracowaną przez projektanta [4] w trakcie użytkowania obiektu powinny być prowadzone przeglądy:

- okresowe, trzy razy w roku,
- główne, co trzy lata,
- doraźne, po klęskach żywiołowych.

W ramach przeglądów wykonywane są inwentaryzacja, ocena pęknięć i uszkodzeń konstrukcji, kontrola prawidłowości ustawienia łożysk. Badane są stan techniczny zakotwienia lin i ich naciągu, stopień zużycia lin nośnych, stopień korozji elementów nośnych konstrukcji, stan zabezpieczenia antykorozyjnego konstrukcji, przeprowadza się kontrolę obciążeń działających na konstrukcję. Na potrzeby analizy odkształceń konstrukcji we wskazanych cyklach wykonywane są geodezyjne pomiary zmian geometrii konstrukcji. Zgodnie z normą PN-89/S-10050 [10] przemieszczenia i odkształcenia sprężyste stalowych konstrukcji podpartych nie mogą być większe niż wartości obliczone dla rzeczywistego obciążenia próbnego, a pionowe przemieszczenia trwałe i sprężyste dźwigarów nie mogą przekroczyć wartości dopuszczalnych wg PN-82/S-10052 [9] zestawionych w tab. 1. Dla konstrukcji podwieszanych brakuje wytycznych szczegółowych.

Tabela 1

Dopuszczalne strzałki ugięcia konstrukcji – długość przęsła l w [m] [9]

Rodzaj dźwigara	Mosty kolejowe	Mosty drogowe
Przęsła belek kratowych	//700	//500
Przęsła belek pełnościennych	//600	//300

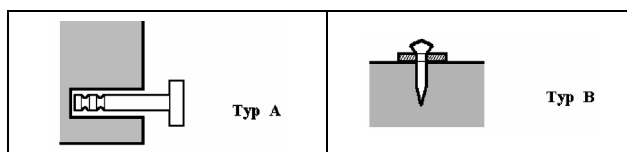
3. Projekt i zakres obserwacji geodezyjnych

Wobec braku szczegółowych wytycznych odnośnie do zakresu geodezyjnych badań konstrukcji pylonowych opracowano indywidualny projekt pomiarów geodezyjnych. Projekt obejmował:

- projekt sieci obserwacyjnej,
- sposób stabilizacji znaków obserwacyjnych,
- zakres i program pomiarów geodezyjnych.

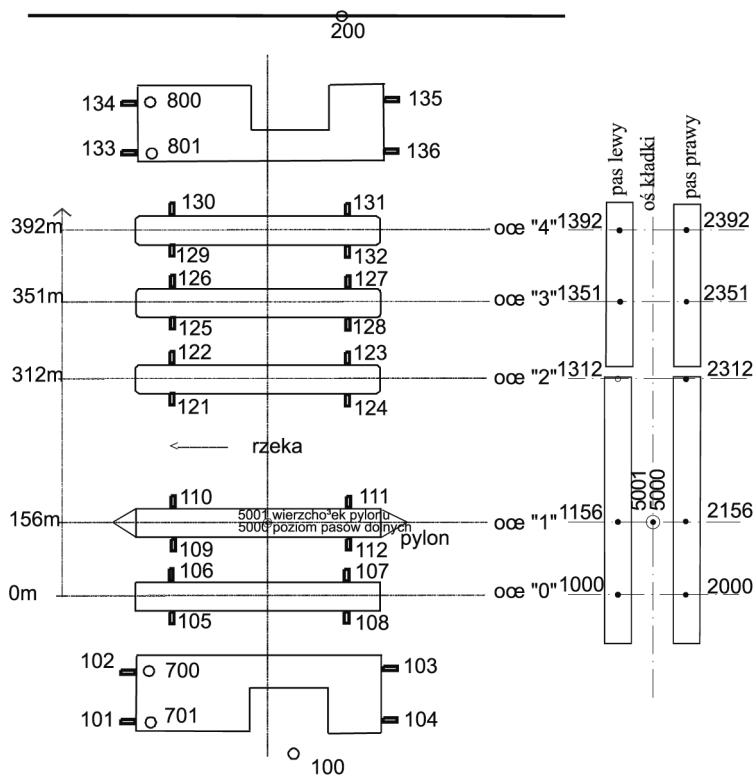
W pierwszym etapie zastabilizowano punkty badawcze sieci kontrolnej. W zależności od lokalizacji zastosowano dwa sposoby stabilizacji znaków (rys. 3). W filarach i przyczółkach kładki zastabilizowano znaki sieci kontrolnej typu A, na górnych pasach nośnych kładki znaki typu B. Miejsca ich stabilizacji dobierano tak, by punkty na pasach były rozmieszczone w miarę równomiernie oraz by wybrane punkty były zlokalizowane w rejonach zakotwień lin. Na filarze pylonu, którego stabilność warunkuje bezpieczeństwo całej konstrukcji zastabilizowano cztery znaki sieci kontrolnej (punkty obserwacyjne). Należy mieć bowiem na uwadze, że filar pylonu znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie

koryta rzeki. Po cztery znaki sieci kontrolnej zastabilizowano również na wszystkich pozostałych filarach i przyczółkach (rys. 4).



Rys. 3. Sposoby stabilizacji znaków sieci kontrolnej

Fig. 3. Types of control net points



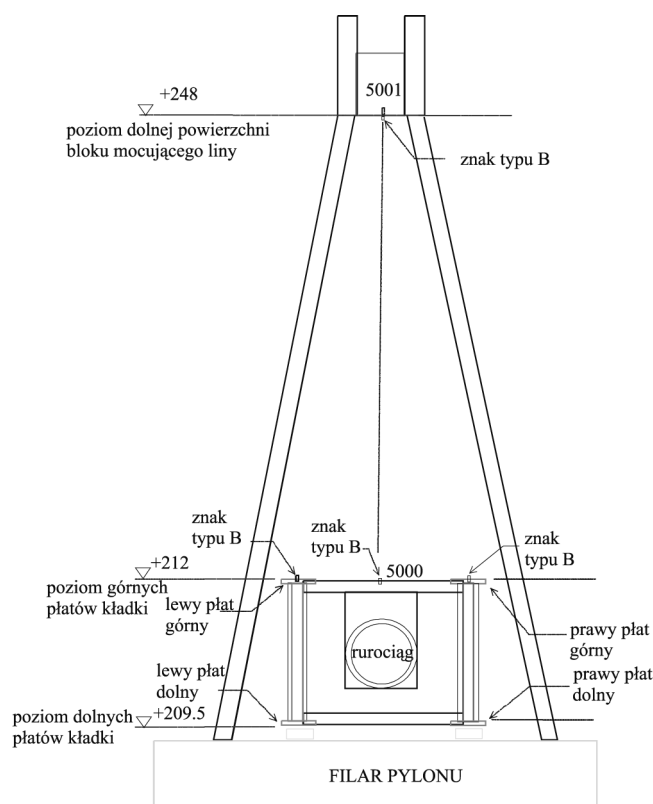
Rys. 4. Lokalizacja znaków obserwacyjnych na poziomie terenu i na pasach nośnych

Fig. 4. Location of control points on ground level and in bearing bridge elements

Łącznie zastabilizowano 100 geodezyjnych znaków pomiarowych: na poziomie terenu 30 znaków, na poziomie pasów nośnych 70 znaków. Zastabilizowano również dwa dodatkowe znaki typu B: 5000 i 5001. Pierwszy z nich zastabilizowano na poziomie płyt, drugi na poziomie zwieńczenia pylonu. Lokalizację znaków kontrolnych w przekroju pionowym przez pylon i płyty kładki przedstawiono na rys. 5.

W prowadzonych badaniach można wyróżnić zakres obserwacji podstawowych oraz dodatkowych. Obserwacje podstawowe wykonywane we wszystkich 22 cyklach obejmowały:

- pomiar zmian wysokości na znakach sieci kontrolnej zastabilizowanych na przyczółkach i filarach kładki w celu określenia stabilności filarów i przyczółków (rys. 4),
- pomiar wysokości punktów na pasach (rys. 4) służący do określenia profilu pionowego pasów nośnych kładki oraz zmian wzajemnego położenia pionowego odpowiadających sobie punktów na obu pasach,
- pomiar zmian wychylenia osi pionowej pylonu pomiędzy punktami 5000 i 5001 (rys. 5).



Rys. 5. Szkic lokalizacji znaków obserwacyjnych w przekroju pionowym pylonu i kładki

Fig. 5. Location of geodetic control points in the vertical cross-section of pylon and bridge

Obserwacje dodatkowe wykonane tylko w pierwszych trzech cyklach obserwacyjnych obejmowały [3]:

- nawiązanie wysokościowe sieci kontrolnej obiektu do reperów sieci państwowej w celu kontroli przyjętego układu odniesienia wysokościowego [5],
- pomiar odległości między reperami zastabilizowanymi na filarach i przyczółkach służący do określenia ich lokalnych współrzędnych płaskich,

- dzienną rejestrację zmian zachowania się wierzchołka pylonu za pomocą dwóch niezależnych technologii pomiarów: metodą klasyczną na podstawie obserwacji kierunków i odległości oraz z zastosowaniem technologii RTK–GPS [1] do określenia wpływu termiki na zachowanie się pylonu,
- dzienne (9-godzinne) obserwacje zmian odległości na szczelinach dylatacyjnych na obydwu pasach kładki w celu określenia wpływu temperatury na płaty [3],
- pomiar inwentaryzacyjny wysokości belek pasów nośnych kładki służący do kontroli nominalnych wymiarów belek.

4. Metoda obserwacji

Pomiary wysokościowe na poziomie terenu oraz na poziomie górnych pasów nośnych kładki i na zwieńczeniach przyczółków wykonano metodą niwelacji precyzyjnej z zastosowaniem niwelatora kodowego NA3000 firmy Leica. Przy pomiarach na pasach kładki niwelator był ustawiany na specjalnej podstawie. Odczyty na łąkach rejestrowane były automatycznie. Transmisje danych wykonywano z użyciem specjalnie opracowanego oprogramowania. Dane po transmisji dekodowane były do postaci pomierzonych różnic wysokości na odcinkach pomiędzy poszczególnymi punktami ciągów. Pomierzone różnice wysokości skorygowano, wprowadzając poprawki uwzględniające różnice temperatury pomiędzy temperaturą pomiaru a temperaturą komparacji łąt kodowych ($t_0 = +12^\circ\text{C}$). Współczynnik rozszerzalności termicznej łąt kodowych przyjmowano jako równy $\alpha = 0,0000100 [1/^\circ\text{C}]$. Wielkość poprawki jest największa przy przenoszeniu wysokości z poziomu terenu na poziom płyt. Przy $\Delta H \cong 12 \text{ m}$ i różnicy temperatury pomiaru w stosunku do temperatury komparacji łąt dochodzącej do $\pm 20^\circ\text{C}$ wynosiła maksymalnie $\pm 2,4 \text{ mm}$. Skorygowane różnice wysokości poddawano ścisłemu wyrównaniu metodą pośredniczącą [2]. Obserwacje wagowano na podstawie długości celowych. Jako punkt nawiązania o bezbłędnej wysokości przyjmowano punkt początkowy lewego górnego pasa nośnego kładki „1000”.

Na podstawie statystycznej oceny wyników przeprowadzonych wyrównań ze wszystkich wykonanych cykli [11] pomiar można scharakteryzować następującymi zgeneralizowanymi ocenami dokładnościowymi:

- średni błąd niwelacji na 1 km ciągu zawiera się w granicach od $\pm 1,0 \text{ mm}$ do $\pm 7,0 \text{ mm}$,
- średnie błędy wysokości punktów zawierają się w przedziale od $\pm 0,5 \text{ mm}$ do $\pm 3,8 \text{ mm}$.

Przy wyznaczaniu pochylenia osi pionowej pylonu zastosowano pionownik PZL Zeiss Jena, odpionowując punkt 5001 na poziom górnych płyt nośnych. Składowe wychylenia punktu 5001 w stosunku do punktu 5000 na kierunku osi podłużnej kładki i na kierunku do niej prostopadłym pomierzono bezpośrednio przymiarem milimetrym. Wychylenie pylonu na całej jego wysokości wyznaczano przez ekstrapolację pomierzonej wartości. Zastosowana technika pomiaru pozwoliła wyznaczyć składowe wychylenia na odcinku obserwowanym z błędem średnim rzędu $\pm 2 \text{ mm}$, a dla ekstrapolowanego wychylenia całkowitego rzędu $\pm 3\text{--}4 \text{ mm}$ [11].

5. Wyniki pomiarów geodezyjnych

Ocenę poprawności pomiarów wysokościowych w ramach każdego cyklu uzyskano, analizując odchyłki ciągów zamkniętych. Zamknięcia te na poziomie terenu, tj. przy nieznacznych różnicach wysokości nie przekraczały $\pm 0,9$ mm. Przy dużych różnicach wysokości pomiędzy poziomem terenu i poziomem górnych pasów kładki zamknięcia te wynosiły przeciętnie $\pm 1,4$ mm. Natomiast na poziomie górnych pasów kładki (przy małych różnicach wysokości) zamknięcia całego ciągu w 22 cyklach obserwacyjnych wynosiły od 0,0 mm do $\pm 6,1$ mm. Wyrównane wysokości punktów sieci kontrolnej zapisywano w bazie danych. Po każdym cyklu porównywano stan aktualny z cyklem poprzednim oraz z cyklem wyjściowym (listopad 1998). Wynikiem porównań były odpowiednie zestawienia tabelaryczne oraz opracowania graficzne. Przy identyfikacji przemieszczeń istotnych dla konstrukcji przyjmowano statystyczne kryterium trzy – sigma. Konsekwentnie do tego kryterium na poziomie terenu i na poziomie płytów za istotne należy uznać przemieszczenia większe od ± 5 mm (przeciętna wartość z 22 cykli [11]).

Tabela 2

Zestawienie zmian pochyleń przyczółków i filarów w [mm/m] dla wybranych cykli obserwacyjnych w układzie lokalnym kładki (rys. 8)

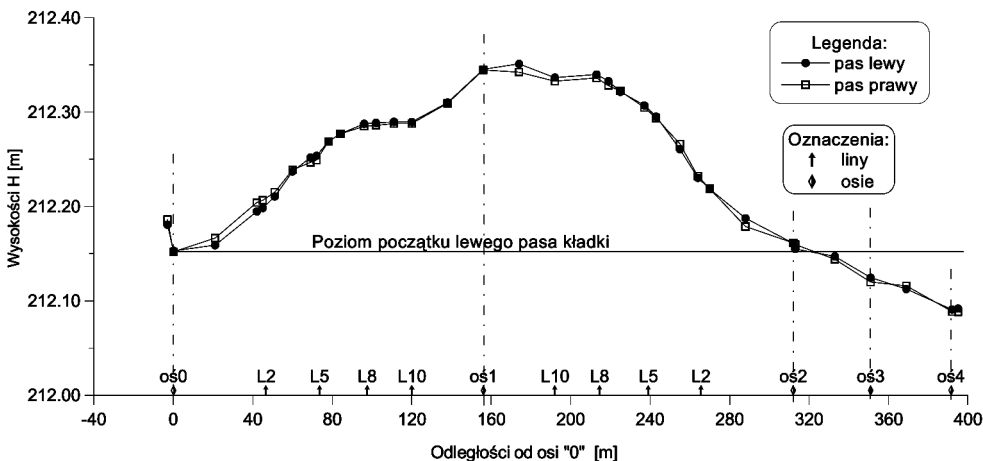
	Serie wcześniej- sze	04.2006– 10.2006	10.2006– 04.2007	04.2007– 10.2007	10.2007– 04.2008	11.1998– 04.2008	Max błąd po- chylenia
		W_x W_y W	W_x W_y W	W_x W_y W	W_x W_y W	W_x W_y W	
Przy- czółek 1		-0,04 +0,08 0,09	+0,02 -0,08 0,09	+0,02 -0,19 0,19	0,00 +0,21 0,21	+0,03 +0,01 0,03	$\pm 0,18$
Filar 0		0,00 +0,02 0,02	-0,10 -0,01 0,10	+0,22 +0,04 0,23	-0,13 -0,05 0,14	+0,09 +0,01 0,09	$\pm 0,22$
Filar 1 (pylon)		+0,08 +0,02 0,09	-0,04 -0,02 0,05	+0,17 -0,12 0,21	+0,08 +0,04 0,09	+0,25 -0,10 0,27	$\pm 0,60$
Filar 2		+0,04 +0,03 0,05	-0,06 -0,02 0,06	+0,02 +0,01 0,02	-0,02 -0,02 0,03	+0,02 -0,04 0,04	$\pm 0,06$
Filar 3		-0,03 -0,02 0,04	+0,16 0,00 0,16	-0,22 0,00 0,22	+0,11 +0,03 0,11	+0,77 +0,09 0,77	$\pm 0,55$
Filar 4		-0,32 -0,03 0,32	+0,19 +0,05 0,20	0,00 -0,03 0,03	0,00 -0,03 0,03	-0,44 -0,05 0,45	$\pm 0,19$
Przy- czółek 2		+0,02 -0,01 0,03	-0,03 +0,01 0,04	+0,04 -0,01 0,05	-0,07 +0,01 0,07	-0,14 +0,02 0,14	$\pm 0,05$

Ocenę przemieszczeń pionowych przyczółków i filarów uzyskano po obliczeniu różnic wysokości obserwowanych znaków w kolejnych cyklach oraz względem stanu wyjściowego.

W całym okresie obserwacji, tj. od listopada 1998 r. do kwietnia 2008 r. maksymalna zmiana wysokości zarejestrowana na poziomie terenu wyniosła $-4,8$ mm, a wszystkie pozostałe zmiany zawierały się w granicach od $-0,5$ mm do $-4,8$ mm [11]. Oba przyczółki i wszystkie filary są więc stabilne.

W lokalnych układach współrzędnych filarów i przyczółków wyznacza się okresowe i całkowite zmiany pochyleń tych obiektów. W okresie od listopada 1998 r. do chwili obecnej największą zmianę zarejestrowano na filarze „3” i wyniosła ona $0,77$ mm/m przy błędzie granicznym wyznaczenia tej zmiany wychylenia rzędu $\pm 0,6$ mm/m (tab. 2).

Na podstawie wyrównanych (aktualnych) wysokości punktów leżących na obu pasach górnych kładki sporządza się wykresy kształtu pionowych profili podłużnych obu pasów. Przykładowy wykres zamieszczono na rys. 6.



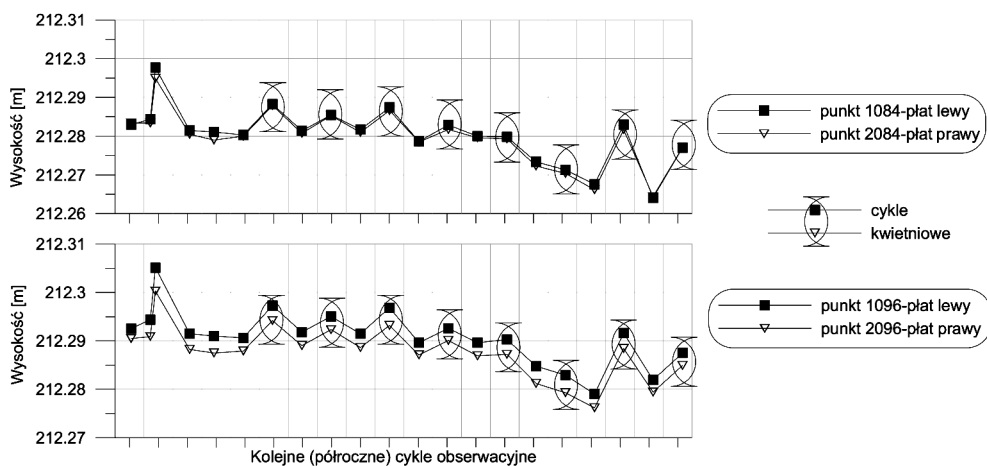
Rys. 6. Profil podłużny górnych pasów nośnych kładki (kwiecień 2008)

Fig. 6. Longitudinal profile of upper bearing bridge elements (April 2008)

Wartości pionowych zmian całkowitych wysokości punktów na pasach obserwowane od listopada 1998 r. zawierają się w granicach od $-8,0$ mm do $+3,9$ mm [11]. W celu oszacowania zmian względnego położenia obu pasów zestawia się różnice wysokości pomiędzy odpowiadającymi sobie parami punktów na lewym i prawym pasie i zmiany tych różnic. Przykład pokazano na rys. 7.

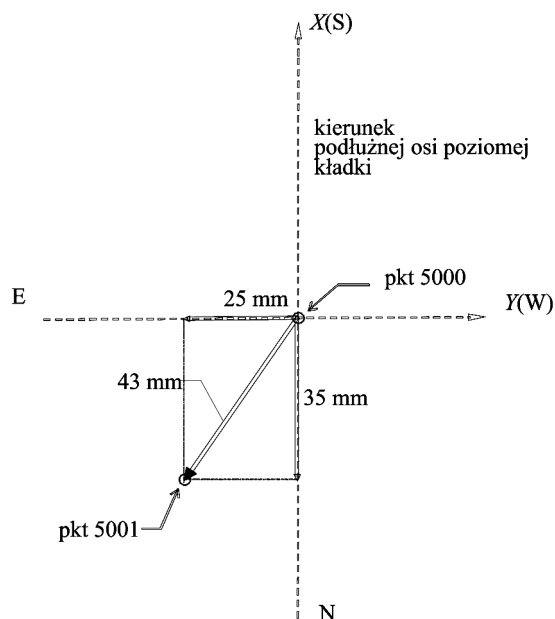
Zmiany całkowite tych różnic zawierają się w granicach od -2 mm do $+1$ mm. Są to wartości, których nie można uznać za istotne, bowiem mieszczą się w przedziale błędów pomiaru. Tym samym wykonane obserwacje potwierdzają stabilność obu pasów kładki.

Na rysunku 8 zamieszczono przykładowe wyniki pomiaru wychylenia osi pionowej pylonu. Punkty 5000 i 5001 powinny teoretycznie znajdować się w linii pionowej. Różnica pokazana na rys. 8 poświadcza obecne wychylenie tej linii.



Rys. 7. Wykresy wysokości par punktów leżących na lewym i prawym płacie

Fig. 7. Elevation diagram of points fixed in left and right bearing elements



Rys. 8. Wychylenia osi pionowej pylonu (kwiecień 2008) w układzie lokalnym

Fig. 8. Deflections of pylon vertical axis (APR 2008)

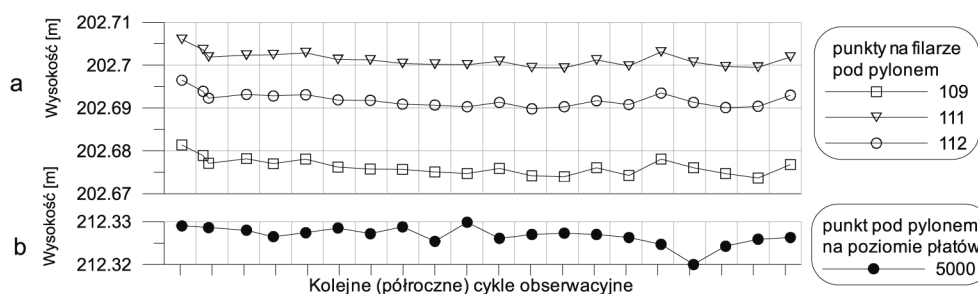
Zaobserwowane wychylenie na odcinku między punktami 5000 i 5001 podano w tab. 3. Wychylenie to oscyloowało w granicach od 41 mm do 44 mm. Jeśli jednak zauważyć, że początkowe wychylenie osi (w 1998 r.) wynosiło 44 mm, to zmiany w stosunku do stanu wyjściowego nie przekraczały 4 mm. Są to wielkości mieszczące się w granicach błędu.

Ponieważ całkowita wysokość pylonu wynosi 44 m, a pomiar wykonano tylko pomiędzy punktami 5000 i 5001, czyli na długości 36 m, stąd wychylenie całkowite konstrukcji wyznaczono przez ekstrapolację. Wyniki obliczeń zamieszczono w tab. 3.

Tabela 3

Zestawienie wartości wychyleń wierzchołka pylonu w lokalnym układzie (rys. 8) dla wybranych cykli obserwacyjnych [11]

Wyznaczane wychylenia	11.1998	Serie pośrednie	04.2006	10.2006	04.2007	10.2007	04.2008
W kierunku osi podłużnej [mm]	-36		-33	-34	-34	-33	-35
W kierunku prostopadłym do osi	-26		-28	-26	-26	-23	-25
Wypadkowe [mm]	44		43	43	43	41	43
Względne [mm/m]	1,22		1,19	1,19	1,19	1,14	1,19
Całkowite [mm]	54		53	53	53	50	53



Rys. 9. Wykresy wysokości punktów leżących pod pylonem na poziomie górnych pasów kładki (punkt 5000) i na filarze pylonu (punkty: 109, 111, 112) na poziomie terenu

Fig. 9. Graphs of control marks elevations fixed under pylon on the level of higher elements of bridge (No 5000) and in pylon column (No 109, 111, 112) fixed on the ground level

Na rysunku 9 przedstawiono wykresy wysokości wybranych czterech punktów zaobserwowanych w latach 1998–2008. W górnej części rysunku (a) przedstawiono wysokości punktów stabilizowanych na poziomie fundamentu pylonu (rys. 4), w części dolnej (b) przedstawiono wysokości punktu 5000 leżącego na poziomie pasów (rys. 5). Czasowe oscylacje wysokości punktów praktycznie mieszczą się w granicach dokładności pomiaru. Wskazuje to, że punkty w rejonie pylonu na poziomie terenu i płatów są stabilne.

Zaprezentowane w artykule wyniki i doświadczenia można podsumować następująco:

1. Nie stwierdzono istotnych przemieszczeń pionowych filarów i przyczółków. W ciągu 10 lat przemieszczenia te nie przekraczały 5 mm.

2. Pomiary kształtu profilu pionowego górnych pasów nośnych kładki wykazały, że pasy nośne nie ulegały istotnym deformacjom. Niewielkie, nieprzekraczające 20 mm okresowe zmiany wysokości punktów w 22 cyklach są najprawdopodobniej wynikiem termicznej reakcji stalowej konstrukcji kładki.
3. Z porównania różnic wysokości pomiędzy odpowiadającymi sobie parami punktów na lewym i prawym pasie nośnym wynika, że pasy nośne kładki są wzajemnie stabilne. W latach 1998–2008 zmiany tych różnic mieściły się w przedziale od –2 mm do +1 mm.
4. Całkowite wychylenie pylonu wynosi obecnie 53 mm (tab. 3). Zmiany wychyleń w kolejnych cyklach w stosunku do stanu początkowego były niewiele mniejsze od 4 mm. Oznacza to, że oś pionowa pylonu jest stabilna.

6. Wnioski

Szczegółowe wnioski podsumowujące wyniki analizy pomiarów geodezyjnych prezentowanego obiektu można uzupełnić o sformułowania ogólniejsze dotyczące techniki i programu obserwacji. Upoważniają do tego doświadczenia zdobyte w długim okresie (10 lat, 22 serie obserwacyjne). Mając zaś na uwadze fakt, że konstrukcja jest nietypowa, mogą być to wnioski o znaczeniu praktycznym. W szczególności są to wnioski ukierunkowane na metodę pomiaru i analizy oraz optymalizację programu badań i interpretację wyników pomiaru konkretnego typu konstrukcji. Ich formułowanie ma znaczenie praktyczne ze względu na fakt, że wymogi takie nie są ujęte w przepisach technicznych.

- Przedstawiony program i technologia pomiaru mogą być stosowane w cyklicznych obserwacjach konstrukcji mostów podwieszonych.
- Na odkształcenia i przemieszczenia konstrukcji podwieszanej istotny wpływ mają warunki termiczne.
- Obserwacje wysokościowe należy wykonywać przy stabilnych warunkach termicznych (pełne zachmurzenie). Należy wprowadzić poprawkę termiczną w wypadku dużych różnic wysokości. Problem ten jest istotny przy wynoszeniu wysokości z poziomu terenu na poziom płatów.
- Pomiary pionowości pylonu należy prowadzić przy bezwietrznej pogodzie i w stabilnych warunkach termicznych.
- W wypadku prezentowanego obiektu celowe byłoby stworzenie modelu numerycznego konstrukcji do weryfikacji przemieszczeń pionowych, identyfikacji słabych miejsc konstrukcji oraz miejsc o szczególnych wymaganiach dokładnościowych przy uwzględnieniu warunków termicznych.
- W wypadku, gdy konstrukcja mostu podwieszanego jest usytuowana w pobliżu koryta rzeki, szczególną uwagę należy zwrócić na przemieszczenia pionowe i pochylenia filara pylonu.

Literatura

- [1] Borowiec W., Cisło B., Jaśkowski W., Lipecki T., *Praktyczna weryfikacja dokładności pomiarów GPS w czasie rzeczywistym (real time) na przykładzie zbiorników „Trzebionka” i „Dzieńkowice”*, Sesja naukowa z okazji jubileuszu 80-lecia AGH, nr 129, Kraków, 24–25 czerwca 1999 r.

- [2] Ci s ł o B., *Dokumentacja programu „Geodezja”*, praca niepublikowana.
- [3] Gr z ą b e l M., R a k o w s k a M., *Ocena stanu deformacji wantungowej kładki technologicznej przechodzącej przez rzekę Wisłę w oparciu o wyniki pomiarów geodezyjnych*, praca dyplomowa pod kierunkiem W. Borowca, AGH, Kraków 1999.
- [4] *Instrukcja eksploatacji, przeglądów i konserwacji konstrukcji stalowej przejścia nad Wisłą magistrali wodociągowej \varnothing 1200 mm*, Centralny Ośrodek Badawczo-Projektowy Konstrukcji Metalowych „Mostostal” Oddział w Krakowie, t. V, 1987.
- [5] *Kontrolne badania i pomiary konstrukcji podwieszanej mostu technologicznego nad Wisłą*, praca zbiorowa pod red. A. Stachowicza, Politechnika Krakowska, Kraków 1997.
- [6] Prace zbiorowe pod red. A. Skorupy, Wydział IM i R i GG i IŚ, AGH, listopad 1998 r, kwiecień 1999, prace niepublikowane.
- [7] PN-B-06200 – Konstrukcje stalowe budowlane. Warunki wykonania i odbioru, wymagania podstawowe, PKN 1997.
- [8] PN-S-10060: styczeń 1998 – Obiekty mostowe. Łożyska. Wymagania i metody badań.
- [9] PN-82/S-10052 – Obiekty mostowe. Konstrukcje stalowe. Projektowanie.
- [10] PN-89/S-10050 – Obiekty mostowe. Konstrukcje stalowe. Wymagania i badania.
- [11] *Ocena stanu technicznego kładki technologicznej o długości 392 m z 40-ma odciegami linowymi, zainstalowanej nad Wisłą, etap I i II*, praca zbiorowa, AGH, Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji, Kraków 1998–2008, praca niepublikowana.