A R C H I W U M I N S T Y T U T U I N Ż Y N I E R I I L Ą D O W E J
Nr 27 ARCHIVES OF INSTITUTE OF CIVIL ENGINEERING 2018

METODA TRYGONOMETRYCZNA W POMIARACH PRZEMIESZCZEŃ MOSTOWEJ PRZEPRAWY MIEJSKIEJ SIECI CIEPŁOWNICZEJ [1]

Paweł CYBULSKI[*], Ireneusz WYCZAŁEK[**]
[*]Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
[**]Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Diagnostyka obiektów mostowych ma szczególne znaczenie w odniesieniu do przepraw sieci ciepłowniczej, gdzie stabilność konstrukcji nośnej jest głównym gwarantem bezawaryjnego transferu energii cieplnej przez rzekę. Jednym ze szczególnie wrażliwych elementów tego typu mostów jest nierównomierne przemieszczanie się ich elementów składowych spowodowane czynnikami eksploatacyjnymi i atmosferycznymi. W tym zakresie nieocenione wydają się okresowe pomiary geodezyjne przepraw mostowych dające obraz występujących na nich przemieszczeń.

Artykuł obejmuje ocenę tachimetrycznych pomiarów przemieszczeń ciepłowniczej przeprawy mostowej, w oparciu o kilka serii obserwacji mostu wiszącego, zlokalizowanego w północno-wschodniej części Poznania. Pomiary poprzedzono wstępną analizą dokładności. Do oceny odkształceń mostu przyjęto 64 punkty kontrolowane, zlokalizowane parami na konstrukcji i odciągach oraz 3 punkty odniesienia znajdujące się poza badanym obiektem. Wykonano trzy serie pomiarowe i każdą z nich porównano z pomiarem odniesienia z 2010 roku. Wyniki analizy przedstawiono w postaci tabelarycznej, jako przemieszczenia poziome i pionowe od stanu bazowego. Wykazano, że uzyskane parametry dokładnościowe pozwalają na wiarygodną ocenę stanu geometrycznego tej klasy konstrukcji.

1. WPROWADZENIE

Konieczność wykonywania okresowych kontroli stanu technicznego budowli oraz instalacji, które są szczególnie narażone na działanie szkodliwego wpływu czynników atmosferycznych jest podyktowane przez artykuł 62 prawa budowlanego. Kontrole te stają się później częścią analizy technicznej, która służy do określenia w jaki sposób kontynuować eksploatację danej konstrukcji inżynierskiej. Jednym z rodzajów obiektów podlegających tego rodzaju kontroli okresowej są mosty. Z uwagi na fakt realizacji swojej podstawowej funkcji, jaką

[1] DOI 10.21008/j.1897-4007.2018.27.05

jest pokonywanie przeszkód wodnych lub lądowych (Radomski, Czudek 1983), są one narażone na działanie rozmaitych czynników powodujących ich odkształcenia, takich jak ciężar własny, zmiany temperatur czy też parcie wiatru (Głomb 1988). Podstawą oceny odkształceń mogą być dane pomiarowe ilustrujące wielkości przemieszczeń wybranych miejsc obiektu.

Przemieszczenia poszczególnych elementów mostu CO mogą wpływać na przeprawiany przezeń rurociąg zaopatrujący mieszkańców w ciepłą wodę. Uszkodzenia wywołane w ten sposób narażają rury tranzytowe na mechaniczne defekty, które są groźne zarówno z przyrodniczego jak ekonomicznego punktu widzenia. Według Brysia i Przewłockiego (1998) przemieszczeniem jest zmiana położenia poszczególnych części obiektu względem jego otoczenia w określonym przedziale czasu. Położenie to może być opisane przy pomocy współrzędnych prostokątnych płaskich wyrażonych w jednostkach metrycznych. Z tego powodu przemieszczenia mierzy się często metodami geodezyjnymi (Gradka, Kotlarz 2013; Wyczałek i in. 2015). Ze względu na dużą precyzję instrumentów geodezyjnych, pomiary te dają wysoką dokładność wyznaczenia przemieszczeń bez konieczności ingerowania w konstrukcję. To uprawnia je szczególnie do wykorzystania w okresowych kontrolach stanu technicznego przepraw mostowych (Hardos 2001).

Obiektem wybranym w celu przeprowadzenia analizy przemieszczeń metodami geodezyjnymi jest przeprawa mostowa, po której przebiega rurociąg miejskiej sieci ciepłowniczej. Jest ona zlokalizowana w północno-wschodniej części miasta Poznania nad rzeką Wartą w dzielnicy Główna, między Karolinem a Naramowicami. Jest to stalowy most wiszący jednoprzęsłowy (Myerscough 2013) o długości 80 metrów i szerokości niecałych 10 metrów. Wraz z nadbrzeżnymi przyczółkami kotwiącymi liny nośne jego długość wynosi 120 metrów. Most wisi na dwóch stalowych cięgnach nośnych ułożonych parabolicznie, które są umocowane w pylonach ramowych z żelbetonu. Po konstrukcji przeprowadzone są cztery rurociągi ciepłownicze, każdy o średnicy 800 mm, które są podłączone do elektrociepłowni Karolin. Most został wybudowany w latach 70-tych poprzedniego stulecia, a w 2003 roku został poddany remontowi, który polegał m.in. na wymianie cięgien nośnych (Piekarski i in. 2004).

Głównym celem badań była analiza przemieszczeń wybranych punktów kontrolowanych zlokalizowanych na przeprawie mostowej z wykorzystaniem metod geodezyjnych.

2. WSTĘPNA OCENA DOKŁADNOŚCI METODY TRYGONOMETRYCZNEJ

Pomiary mostów wykonywane są najczęściej w niekorzystnych warunkach terenowych, gdzie bieg rzeki oraz roślinność nabrzeżna determinują, a co najmniej znacznie ograniczają dobór stanowisk tachimetru. Wójcik (1990) sugeru-

je, aby stanowiska do okresowych pomiarów ugięć mostów dobierać parami tak, aby z obu kierunków widoczne były wszystkie punkty obserwowane. Jeśli to możliwe, to stanowiska powinny znajdować się po jednej stronie mostu, aby zapewnić dobrą widoczność punktów obserwowanych z obu kierunków. Takie wskazówki sugerują konieczność jednostronnego oznakowania wszystkich punktów. Jeśli warunek ten nie może być spełniony (punkty leżą po obu stronach mostu i są niewidoczne z drugiej strony), to należy się liczyć z tym, że znacząco zmieniają się odległości do poszczególnych punktów. Rozwiązaniem zapewniającym symetryczność obserwacji byłby pomiar mostu z czterech stron – po dwa stanowiska na każdym brzegu, po obu stronach mostu, jednak jest to niekiedy niemożliwe z powodu braku miejsca na stanowisko. Ponadto z każdego ze stanowisk trzeba zapewnić pewną liczbę punktów odniesienia – co najmniej po trzy, z czego jeden, kierunkowy, leżący w odległości znacznie przekraczającej spodziewane długości celowych do punktów na moście. W przypadku stalowych przepraw mostowych zachodzi obawa o:

- niestabilność konstrukcji wskutek zmieniających się w czasie pomiaru warunków atmosferycznych (nierównomierne ogrzewanie i oświetlenie, wiatr, drgania własne lub wymuszone mostu oraz przypadkowe obciążenia środkami transportowymi);
- niestałość refrakcji wskutek zmiennego nagrzewania się powietrza nad powierzchnią cieku.

W efekcie pomiary realizować należy w miarę zrównoważonych warunkach atmosferycznych, przy bezwietrznej pogodzie i możliwie szybko. Stąd lepszym wyborem wydaje się pomiar całego mostu z dwóch stanowisk zlokalizowanych po jednej stronie rzeki.

Czynnikami instrumentalnymi wpływającymi na dokładność pomiaru są:

- faktyczne błędy pomiaru kąta i odległości,
- refrakcja atmosferyczna.

Nowoczesne instrumenty geodezyjne osiągają parametry dokładnościowe opisane w dokumentacji jako precyzja pomiaru kąta, osiągająca wartości od 0,15 mgon do kilku miligonów, oraz precyzja pomiaru odległości, która w trybie bezlustrowym szacowana jest na ±2 mm ±2 ppm. W powszechnej dostępności są obecnie tachimetry 2-sekundowe, co odpowiada precyzji pojedynczego pomiaru równej ±0,6 mgon (6cc). Tej klasy instrumenty zaplanowano użyć w omawianych tu pomiarach.

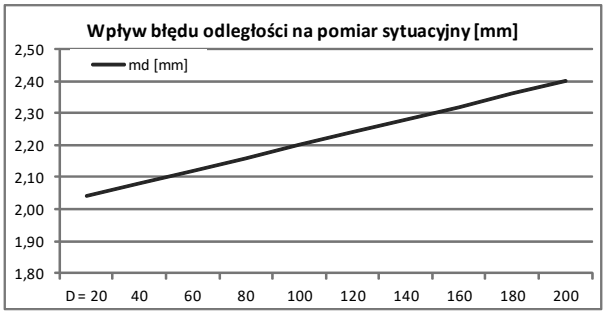
W pomiarach sytuacyjnych błąd położenia punktu kontrolowanego można opisać dwiema składowymi: podłużną, wynikającą z pomiaru odległości, oraz poprzeczną. Obie są funkcją odległości, która w obiektach mostowych może osiągać wartości od kilku/kilkunastu (przyjmijmy 20) do kilkuset (lepiej, żeby nie było to więcej niż 200) metrów. Przy wykorzystaniu tachimetru o podanych wyżej parametrach dokładnościowych, błąd podłużny przyjmie zatem wartości jak w pierwszej tabeli i wykresie na rysunku 1, zaś błąd poprzeczny – jak

w tabeli drugiej (i sąsiednim wykresie). Dokładność pomiarów wysokościowych zależy ponadto od kąta pochylenia lunety (trzecia tabela i wykres na rysunku 1).

m_d ±2 ±2ppm

tabela 1.

D = 10	2,02
D = 20	2,04
30	2,06
40	2,08
60	2,12
80	2,16
100	2,20
120	2,24
140	2,28
160	2,32
180	2,36
200	2,40

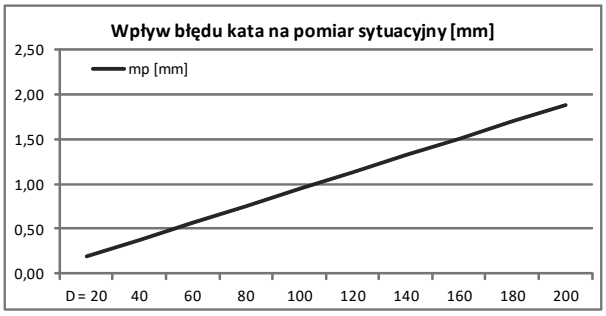


Wpływ błędu odległości na wartość składowej podłużnej błędu

m_α ±0,0006^g

tabela 2.

D = 10	0,09
D = 20	0,19
30	0,28
40	0,38
60	0,57
80	0,75
100	0,94
120	1,13
140	1,32
160	1,51
180	1,70
200	1,88

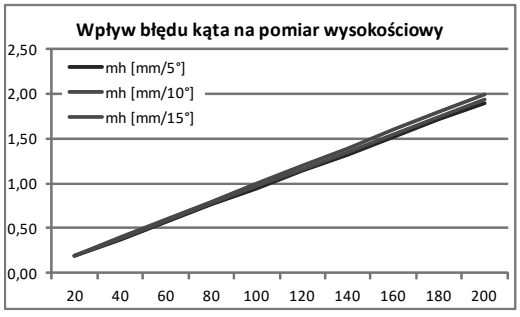


Wpływ błędu kątowego na wartość składowej poprzecznej błędu

m_α ±0,0006^g

tabela 3.

	5°	10°	15°
10	0,09	0,10	0,10
20	0,19	0,19	0,20
30	0,28	0,29	0,30
40	0,38	0,39	0,40
60	0,57	0,58	0,60
80	0,76	0,77	0,80
100	0,95	0,97	1,00
120	1,14	1,16	1,20
140	1,33	1,35	1,40
160	1,52	1,55	1,59
180	1,71	1,74	1,79
200	1,90	1,93	1,99

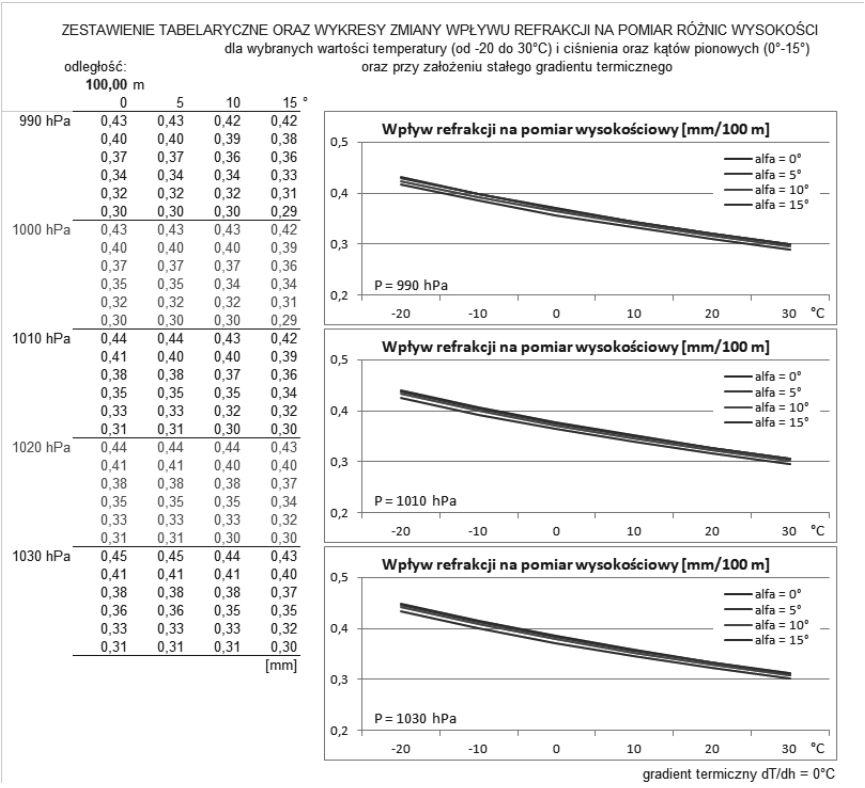


Wpływ błędu kątowego na wartość składowej pionowej błędu

Rys. 1. Zależności dokładnościowe a priori sytuacyjnych i wysokościowych pomiarów trygonometrycznych

Błędy finalne pomiaru geodezyjnego są pochodną dwóch kierunków (do punktu nawiązania i do badanego punktu na obiekcie), zatem wzrastają o $\sqrt{2}$ i są wypadkową obu czynników wpływających na błąd położenia. Ostatecznie więc, dla celowych rzędu 100 m łączny błąd sytuacyjny z pojedynczego pomiaru nie przekracza wartości $m_X = m_Y = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2{,}20^2 + 0{,}94^2} = \pm 3{,}5\ mm$, zaś błąd wysokościowy (dla kąta obserwacji 10°): $m_H = \sqrt{2} \cdot 0{,}97 = \pm 1{,}3\ mm$.

W odniesieniu do zagadnienia wpływu czynników atmosferycznych analiza standardowo stosowanych reguł i wartości wykazuje, że wpływa ona na refrakcję pionową promienia świetlnego w zakresie poniżej 0,5 mm na 100 m, jeśli nie określono gradientu temperatury prostopadle do osi celowej. Ilustrują to kolejna tabela i wykresy (rys. 2).



Rys. 2. Zestawienie tabelaryczne oraz wykresy zmian wpływu refrakcji na pomiar różnic wysokości

Przy zmianie temperatury 0,01°/1 m przewyższenia, błędy spowodowane nieuwzględnieniem współczynnika refrakcji wzrastają o 40%, zaś przy zmianie 0,02°/1 m osiąga na odległości 100 m wartości dochodzące do 0,7 mm (rys. 2).

1010 hPa	0,70	0,69	0,69	0,67
	0,64	0,64	0,63	0,62
	0,60	0,60	0,59	0,58
	0,56	0,55	0,55	0,54
	0,52	0,52	0,51	0,50
	0,49	0,48	0,48	0,47
1020 hPa	0,70	0,70	0,69	0,68
	0,65	0,65	0,64	0,63
	0,60	0,60	0,59	0,58
	0,56	0,56	0,55	0,54
	0,52	0,52	0,52	0,51
	0,49	0,49	0,48	0,47



Rys. 3. Wpływ refrakcji pionowej na pomiar wysokościowy

W każdym przypadku, że w zagadnieniach pomiarowych, gdzie można się spodziewać błędów przekraczających 2–3 mm, wpływ refrakcji można uznać za pomijalny. Wystarczy stosować w tym celu rutynowe korekty stosowane w oprogramowaniu instrumentu.

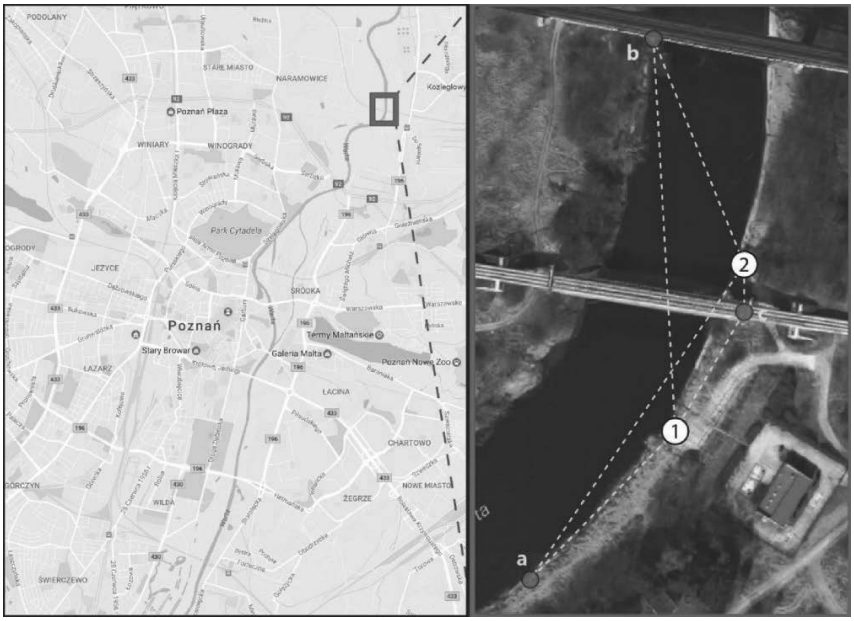
3. PRZEBIEG POMIARÓW I ANALIZ

Analizę przemieszczeń przedmiotowego mostu wykonano na podstawie trzech serii pomiarów geodezyjnych. Pierwsza seria (I) miała miejsce 28 maja 2015 roku rano, przy temperaturze powietrza 18°C, umiarkowanym wietrze i lekkim zachmurzeniu. Drugą serię (II) wykonano się 5 lutego 2016 roku, kiedy powietrze miało temperaturę 2°C, wiatr był słaby, a zachmurzenie umiarkowane. Ostatnia, trzecia seria (III) odbyła się 8 maja 2016 roku, kiedy temperatura powietrza wynosiła 20°C, wiatr był słaby i nie było zachmurzenia. Wykonane pomiary porównano z pomiarem bazowym wykonanym w 2010 roku. Wartości przemieszczeń uzyskano na podstawie metody różnic współrzędnych X, Y, H (Prószyński, Kwaśniak 2006).

Do wykonania pomiaru i pozyskania współrzędnych wybrano bezlustrowy pomiar tachimetryczny, ponieważ pozwala on wykonać obserwacje poszczególnych punktów bez konieczności wchodzenia na samą konstrukcję, co może powodować drgania i tym samym niekorzystnie wpłynąć na wyniki. W każdej serii pomiarowej przyjęto dwa stanowiska tachimetryczne, na wschodnim brzegu Warty. Jedno po południowej (ST_1), a drugie po północnej (ST_2) stronie przeprawy. W I i II serii pomiar wykonano bezlustrowym, precyzyjnym tachimetrem elektronicznym firmy LEICA TCRP 1201+. Według danych producenta precyzja pomiaru kąta wynosiła 0,1 mgon, a pomiaru odległości bez pryzmatu: $\pm 2mm \pm 2ppm$. W III serii użyto bezlustrowego, precyzyjnego tachimetru elektronicznego TRIMBLE M3 DR2". Jego precyzja to 0,2 mgon dla pomiarów kątowych i $\pm 3mm$ dla pomiaru odległości.

Jako odniesienie do pomiarów przemieszczeń wybrano 3 punkty – na słupie metalowym umieszczonym w gruncie (a), na głowicy śruby spajającej elementy sąsiedniego mostu kolejowego (b) oraz na betonowym przyczółku, w którym zakotwiczone są pylony przeprawy mostowej (c). Punkty a i c były sygnalizowane przy pomocy tarczek odblaskowych. Tego typu zewnętrzna osnowa

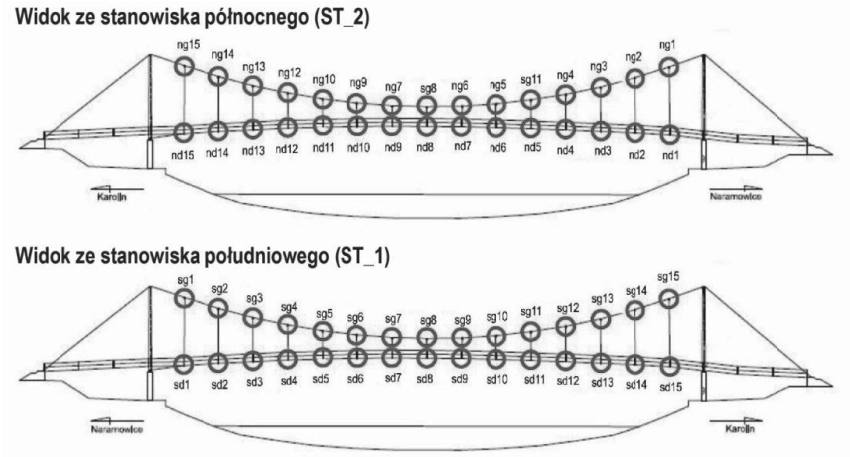
umieszczona na trwałych elementach jest często wykorzystywana w pomiarach diagnostycznych (Świętoń 2015). Rysunek 4 prezentuje lokalizację mostu na tle mapy Poznania oraz położenie stanowisk i punktów odniesienia.



Rys. 4. Lokalizacja stanowisk pomiarowych 1 (ST_1), 2 (ST_2) oraz punktów odniesienia (a, b, c) na tle mapy Poznania (Google Maps).

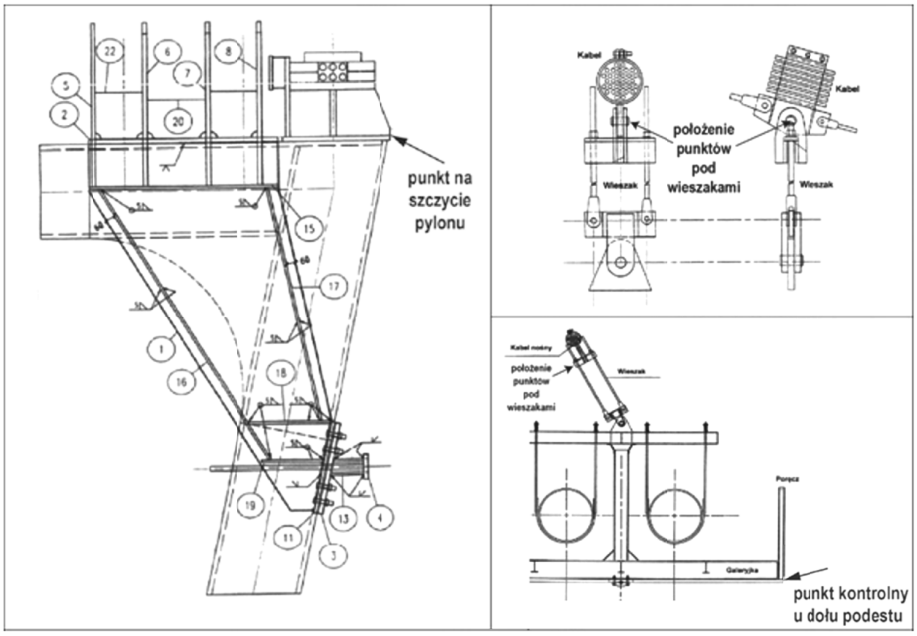
Punkty kontrolowane znajdowały się po dwóch stronach konstrukcji. Wybrano do pomiaru 15 głowic śrub zamocowania wieszaków pod linami nośnymi, 15 punktów u dołu podestów oraz 4 punkty na szczycie pylonów. Łącznie obserwacji podlegały 64 punkty. Punkty zlokalizowane na głowicach śrub zamocowania wieszaków pod linami nośnymi odzwierciedlały kształt tych lin, a punkty u dołu podestów oddawały kształt przęsła.

Punkty położone na szczycie pylonów zostały oznaczone jako SR1-SR4, natomiast punkty na głowicach śrub zamocowania wieszaków pod linami nośnymi oznaczono jako sg1-sg15 dla strony południowej i ng1-ng15 dla strony północnej. Punkty u dołu podestów oznaczone zostały jako sd1-sd15 dla strony południowej oraz nd1-nd15 dla strony północnej. Punkty zlokalizowane na szczycie pylonów SR1-SR4 były obserwowane jednocześnie z dwóch stanowisk. Rozmieszczenie punktów kontrolowanych zaznaczono czerwonym kolorem na rysunku 5.



Rys. 5. Lokalizacja punktów obserwowanych z dwóch stanowisk w przekroju podłużnym.

Rozmieszczenie poszczególnych punktów jest widoczne na rysunkach technicznych na rysunku 6.



Rys. 6. Lokalizacja poszczególnych punktów, które były obserwowane w trakcie badania. Na podstawie Karlikowski, Siekierski 2015.

4. WYNIKI POMIARÓW

Pozyskane dane pomiarowe opracowano za pomocą programu WinKalk stosując wyrównanie obserwacji metodą najmniejszych kwadratów. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci tabelarycznej jako różnice współrzędnych ΔX, ΔY, ΔH. Każdą serię pomiarową porównano z pomiarem bazowym wykonanym w 2010 roku. Punkty odniesienia uznano za stałe w stosunku do założonych z góry błędów kierunkowych m_k oraz błędów odległości m_d. Ogólna ocena dokładności określona jako błąd jednostkowy (m_0) o wadze 1 wyniosła $m_0 = 0{,}874$ dla pierwszej serii (I), $m_0 = 1{,}057$ dla drugiej serii (II) oraz $m_0 = 0{,}076$ dla trzeciej serii (III). Wyniki przedstawione są w tabelach 1–3.

Podsumowując wyniki badań autorzy stwierdzają, że przemieszczenia poziome punktów obserwowanych nie przekraczają ±0,02 m i mieszczą się w granicach dokładności pomiaru. Kilka punktów, dla których stwierdzono różnice większe od ±0,04 m są obciążone grubymi błędami pomiarowymi wynikającymi albo z błędów celowania albo z ruchu mostu. W odniesieniu do przemieszczeń pionowych autorzy zaobserwowali ich narastanie w kierunku środkowej części przeprawy, zarówno na głowicach śrub zamocowania wieszaków pod linami nośnymi jak i punktach u dołu podestów. Jest to widoczne we wszystkich seriach pomiarowych, a maksymalne przemieszczenia pionowe sięgają 8 cm podczas zimowej w serii pomiarowej (pomiar II).

Innym interesującym wnioskiem, który wynika z różnic wysokości jest to, że strona południowa jest położona o kilkanaście milimetrów wyżej niż strona północna, głównie w środkowej części mostu. Świadczy to o kilkunastomilimetrowym pochyleniu się konstrukcji w kierunku północnym względem pomiaru bazowego z 2010 roku. Może to być spowodowane różnicą w nasłonecznieniu obu stron, jednak zjawisko to powinno zostać przeanalizowane przez specjalistę od spraw mostowych.

W odniesieniu do czterech punktów zlokalizowanych na szczycie wschodniego pylonu stwierdzono, że wszystkie składowe przemieszczenia mieszczą się w przewidywanych granicach dokładnościowych.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Uzyskane wyniki pomiarów przedstawiają epokowy stan geometryczny mostu, dzięki czemu stanowią cenny, wiarygodny materiał do dalszych analiz konstrukcji mostowych. Można zatem sformułować tezę, że wykorzystanie geodezyjnych metod pomiarowych, a w szczególności pomiarów tachimetrycznych może w znaczący, wiarygodny sposób pogłębić analizę techniczną wykonywaną w ramach okresowych kontroli. Tego typu pomiary stanowią istotną część przeglądów technicznych i mogą być wykonane bez konieczności ingerencji w konstrukcję (Karlikowski, Siekierski 2015).

Tab 1. Różnice we współrzędnych X, Y, H pomiędzy I serią pomiarową, a pomiarem bazowym z 2010 roku

28.05.2015 – 05.05.2010 (Różnice we współrzędnych)							
Strona północna				Strona południowa			
	ΔX [m]	ΔY [m]	ΔH [m]		ΔX [m]	ΔY [m]	ΔH [m]
nd1	-	-	-	sd1	-0,028	0,02	0,004
nd2	0,01	0,031	0,005	sd2	-0,012	0,007	0,01
nd3	-0,023	-0,006	0,023	sd3	-0,006	0,007	0,014
nd4	0,017	0,037	0,017	sd4	0,015	-0,012	0,021
nd5	0,002	-0,001	0,025	sd5	0,012	-0,002	0,024
nd6	0,012	0,025	0,027	sd6	0,002	0,008	0,026
nd7	0,002	-0,001	0,033	sd7	-0,004	0,013	0,031
nd8	0,005	0,003	0,033	sd8	-0,001	0,011	0,034
nd9	0,004	-0,002	0,031	sd9	0,006	0,007	0,037
nd10	0,005	-0,001	0,031	sd10	0,005	0,009	0,039
nd11	-0,003	-0,002	0,027	sd11	0,012	0,008	0,04
nd12	-0,006	-0,002	0,024	sd12	-0,002	0,005	0,04
nd13	-0,001	0,002	0,017	sd13	-0,001	0,005	0,035
nd14	-0,003	0,004	0,008	sd14	0,009	0,004	0,02
nd15	-0,006	0	-0,002	sd15	-0,002	-0,001	0,002
ng1	0	-0,003	-0,001	sg1	-0,013	0,001	0,001
ng2	-0,001	-0,002	0,004	sg2	-0,013	0	0,008
ng3	0,001	0,001	0,008	sg3	-0,009	0,002	0,016
ng4	0,001	-0,003	0,016	sg4	-0,008	0,004	0,023
ng5	0,003	0,002	0,021	sg5	-0,006	0,004	0,028
ng6	0,002	0	0,024	sg6	-0,005	0,004	0,03
ng7	0,003	-0,001	0,028	sg7	-0,001	0,006	0,035
ng8	0,002	-0,004	0,029	sg8	0,001	0,003	0,037
ng9	0,003	-0,006	0,03	sg9	0,003	0,002	0,038
ng10	0,002	-0,007	0,029	sg10	0,01	0,001	0,04
ng11	0,003	-0,009	0,027	sg11	-0,001	0,001	0,035
ng12	0,003	-0,008	0,023	sg12	0,003	0,004	0,033
ng13	0,003	-0,006	0,016	sg13	0,006	0,003	0,026
ng14	0,003	-0,004	0,001	sg14	0,008	0,006	0,018
ng15	-	-	-	sg15	0,01	0,008	0,005
Pomiar z dwóch stron							
SR1	-0,003	0,002	0,002				
SR2	0,004	-0,001	0,003				
SR3	0,001	0,002	-0,003				
SR4	0,002	0,002	0,001				

Tab 2. Różnice we współrzędnych X, Y, H pomiędzy II serią pomiarową, a pomiarem bazowym z 2010 roku

05.02.2016 – 05.05.2010 (Różnice we współrzędnych)							
Strona północna				Strona południowa			
	ΔX [m]	ΔY [m]	ΔH [m]		ΔX [m]	ΔY [m]	ΔH [m]
nd1	-	-	-	sd1	-0,022	0,026	0,013
nd2	0,004	0,008	0,015	sd2	-0,004	0,004	0,028
nd3	0,004	-0,003	0,031	sd3	0,009	0,001	0,046
nd4	0,007	0,014	0,035	sd4	0,008	0,005	0,057
nd5	0	-0,013	0,045	sd5	0,02	-0,003	0,068
nd6	0,002	0	0,05	sd6	0,006	0,008	0,074
nd7	-0,009	-0,024	0,058	sd7	0,005	0,009	0,081
nd8	-0,005	-0,021	0,056	sd8	0,002	0,011	0,082
nd9	-0,008	-0,022	0,052	sd9	0,006	0,007	0,083
nd10	-0,003	-0,017	0,046	sd10	0,014	0,007	0,077
nd11	-0,002	-0,013	0,041	sd11	0,02	0,005	0,07
nd12	-0,007	-0,015	0,033	sd12	0,024	0,005	0,065
nd13	-0,005	-0,014	0,022	sd13	0,01	0,003	0,05
nd14	-0,004	-0,013	0,014	sd14	0,012	-0,002	0,03
nd15	-0,002	-0,016	0,002	sd15	0,006	-0,007	0,016
ng1	-0,001	-0,019	0,004	sg1	-0,011	0,005	0,014
ng2	0,002	-0,008	0,015	sg2	-0,011	0,007	0,03
ng3	0,007	-0,005	0,027	sg3	-0,008	0,01	0,045
ng4	0,007	-0,002	0,037	sg4	-0,005	0,011	0,059
ng5	0,01	0,001	0,046	sg5	-0,003	0,013	0,07
ng6	0,009	-0,002	0,052	sg6	0,001	0,013	0,077
ng7	0,01	0	0,056	sg7	0,005	0,01	0,081
ng8	0,009	-0,004	0,055	sg8	0,008	0,009	0,084
ng9	0,01	-0,007	0,055	sg9	0,009	0,008	0,082
ng10	0,008	-0,007	0,05	sg10	0,014	0,008	0,079
ng11	0,007	-0,008	0,043	sg11	-0,007	0,007	0,065
ng12	0,007	-0,006	0,034	sg12	0,011	0,011	0,058
ng13	0,006	-0,004	0,023	sg13	0,011	0,012	0,046
ng14	0,002	-0,004	0,012	sg14	0,013	0,015	0,031
ng15	0,001	-0,001	-0,002	sg15	0,013	0,018	0,015
Pomiar z dwóch stron							
SR1	0,005	0,001	-0,003				
SR2	0,006	0,003	0,005				
SR3	0,003	0,001	0,002				
SR4	0,004	0,001	0,004				

Tab 3. Różnice we współrzędnych X, Y, H pomiędzy III serią pomiarową, a pomiarem bazowym z 2010 roku

08.05.2016 – 05.05.2010 (Różnice we współrzędnych)							
Strona północna				Strona południowa			
	ΔX [m]	ΔY [m]	ΔH [m]		ΔX [m]	ΔY [m]	ΔH [m]
nd1	-	-	-	sd1	-0,051	0,045	-0,017
nd2	0,003	0,023	-0,019	sd2	-0,028	0,024	-0,013
nd3	0,001	0,005	-0,016	sd3	0	-0,005	-0,011
nd4	0,009	0,047	-0,017	sd4	0,003	0,004	-0,01
nd5	-0,002	-0,002	-0,014	sd5	0,036	-0,015	-0,007
nd6	0,012	0,042	-0,018	sd6	0,004	0,012	-0,011
nd7	0,003	0,014	-0,018	sd7	0,009	0,005	-0,003
nd8	-0,001	0,01	-0,018	sd8	-0,011	0,018	-0,004
nd9	-0,008	-0,01	-0,018	sd9	0,002	0,013	-0,003
nd10	-0,011	-0,014	-0,019	sd10	0,014	0,01	-0,002
nd11	-0,008	-0,006	-0,023	sd11	0,021	0,012	-0,001
nd12	-0,015	-0,009	-0,022	sd12	0,014	0,012	-0,002
nd13	-0,013	-0,005	-0,023	sd13	0,015	0,01	-0,004
nd14	-0,007	-0,001	-0,023	sd14	0,002	-0,001	-0,009
nd15	-	-	-	sd15	0,005	0,001	-0,004
ng1	-0,001	-0,011	-0,013	sg1	-0,025	0,001	-0,007
ng2	-0,002	0,002	-0,019	sg2	-0,024	0,007	-0,007
ng3	-0,002	-0,004	-0,02	sg3	-0,018	0,002	-0,005
ng4	-0,005	-0,014	-0,016	sg4	-0,018	0,005	-0,003
ng5	-0,004	-0,007	-0,017	sg5	-0,014	0,003	-0,003
ng6	-0,004	0,001	-0,02	sg6	-0,01	0,003	0
ng7	-0,004	-0,001	-0,019	sg7	-0,01	0,005	0
ng8	-0,005	-0,004	-0,021	sg8	-0,007	0,004	-0,001
ng9	-0,004	-0,005	-0,02	sg9	-0,004	0,003	0
ng10	-0,003	-0,004	-0,022	sg10	0,003	0,002	0,001
ng11	-0,004	-0,007	-0,023	sg11	-0,029	0,003	-0,01
ng12	-0,002	-0,006	-0,024	sg12	-0,06	0	-0,02
ng13	-0,001	-0,004	-0,026	sg13	-0,012	0,002	-0,011
ng14	0	-0,007	-0,024	sg14	0,008	0,004	-0,007
ng15	-	-	-	sg15	0,01	0,004	-0,009
Pomiar z dwóch stron							
SR1	0,003	-0,002	0,002				
SR2	0,001	-0,002	-0,002				
SR3	0,003	-0,002	-0,001				
SR4	0,001	-0,002	0,003				

Stosowanie metod geodezyjnych pozwala na wykonanie analizy przemieszczeń wybranych elementów konstrukcji inżynierskich z bardzo wysoką dokładnością rzędu kilku milimetrów.

LITERATURA

[1] Bryś H., Przewłocki S.: *Geodezyjne metody pomiarów przemieszczeń budowli*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1998.

[2] Głomb J.: *Drogowe budowle inżynierskie*, Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1988.

[3] Gradka R., Kotlarz P.: *Geodezyjne badanie przebiegu linii gazociągu*, Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, 2, II s. 123–131, 2013.

[4] Hardos J.: *Geodetic works for the Slovak gas industry*, Proceedings of the International Federation of Surveyors Working Week, Korea, Seoul, 2001.

[5] Karlikowski J., Siekierski W.: *Przegląd pięcioletni mostu wiszącego „KAROLIN" w Poznaniu*, Poznań, Politechnika Poznańska, 2015.

[6] Myerscough M.: *Suspension bridges past and present*, The Structural Engineer, 91, 7 s. 12–21, 2013.

[7] Piekarski J., Topolewicz K., Werle J.: *Wymiana lin nośnych technologicznego mostu wiszącego „Karolin" przez Wartę w Poznaniu*, Inżynieria i Budownictwo, 60, 1-2, s. 68–82, 2004.

[8] Prószyński W., Kwaśniak M.: *Podstawy geodezyjnego wyznaczania przemieszczeń*, Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2006.

[9] Radomski W., Czudek H.: *Podstawy mostownictwa*, Warszawa, PWN, 1983.

[10] Świętoń T.: *Wybrane problemy geodezji inżynieryjnej*, Rzeszów, Wyższa Szkoła Inżynieryjno-Ekonomiczna z siedzibą w Rzeszowie, 2015.

[11] Wyczałek I., Jamroży P., Wyczałek M.: *Pomiary płaskości i spadków nawierzchni metodami geodezyjnymi*, Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej 20, s. 77–91,2015.

[12] Wójcik M., *Wyznaczanie przemieszczeń pionowych i ugięć konstrukcji budowlanych zmodyfikowaną metodą trygonometryczną (różnicową)*. Poznań, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 1990.

TRIGONOMETRIC METHOD IN DISPLACEMENT SURVEYS OF BRIDGE CROSSING OF THE URBAN HEATING NETWORK

Summary

Diagnostics of bridge structures are of particular importance with regard to heating network crossings, where the stability of the supporting structure is the main guarantor of failure-free thermal energy transfer across the river. One of the particularly sensitive elements of this type of bridges is the uneven movement of their components caused by operational and atmospheric factors. In this respect, periodic trigonometric surveys of bridges seem to be invaluable giving an image of the displacements occurring on them.

The article focuses on the estimation of displacement surveys of the heating bridge crossing, based on several series of observations of the suspension bridge, located in the north-eastern part of Poznań. The measurements were preceded by a preliminary analysis of accuracy. To assess the deformation of the bridge, 64 natural controlled points

were selected, located on both sides of the structure and supporting ropes, and 3 reference points located outside the tested object. Three measuring series were made and each was compared with the reference measurement from 2010. The results of the analysis are presented in tabular form as horizontal and vertical displacements from the base state. It was shown that the obtained accuracy parameters allow for a reliable assessment of the geometrical state of this class of construction.

Dane autorów:
dr Paweł Cybulski, inżynier geodeta
e-mail: p.cybulski@amu.edu.pl
telefon: +48 515 349 039

dr hab inż., Ireneusz Wyczałek
e-mail: ireneusz.wyczalek@put.poznan.pl
telefon: +48 502 498 206