INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr II/1/2016, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 273–285
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

DOI: http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2016.2.1.019

METODYKA OKREŚLANIA ZMIAN STANU GEOMETRYCZNEGO KONSTRUKCJI PRZEKRYCIA WISZĄCEGO W WARUNKACH OBCIĄŻENIA

Krzysztof Deska
Politechnika Koszalińska

METHODOLOGY OF DETERMINING CHANGES OF A GEOMETRIC STATE OF A SUSPENDED ROOF IN LOAD CONDITIONS

Streszczenie

W pracy przedstawiono metodykę określania zmian stanu geometrycznego konstrukcji zawierającą sposób prowadzenia pomiarów oraz możliwe do zastosowania warianty obliczeniowe. Obiektem badań szczegółowych, których wyniki prezentowane są w pracy jest przekrycie wiszące Amfiteatru w Koszalinie. W badaniach wykorzystano bazę danych o obiekcie, zawierającą wyniki ponad 40 pomiarów okresowych konstrukcji z okresu 2006-2015 r. a, prowadzonych w różnych (rejestrowanych podczas pomiarów) warunkach zewnętrznych – również przy różnym obciążeniu temperaturą oraz śniegiem i lodem. Wyniki wcześniejszych badań prowadzonych na obiekcie testowym m.in. (Deska 2013; Kaczmarek i Śpiewak 2014b), a także prowadzone dla innych konstrukcji (Odziemczyk 2014) zwracają uwagę na istotny wpływ obciążenia konstrukcji stalowych temperaturą, a tym samym konieczność jego uwzględnienia przy ocenie stanu geometrycznego, określaniu przemieszczeń, przede wszystkim w warunkach dodatkowego obciążenia śniegiem i lodem. W pomiarach okresowych wykorzystano tachimetr elektroniczny i metodę biegunową z zastosowaniem stanowiska swobodnego. W obliczeniach wykorzystano metodę porównawczą (różnic współrzędnych) oraz wykorzystano narzędzia analizy statystycznej i opracowane wcześniej w oparciu o nie mo-

dele obliczeniowe. Porównano wyniki otrzymywane z wykorzystaniem obu podejść i poddano je ocenie wskazując zarówno ich możliwości jak i istotne ograniczenia. Zastosowanie zaproponowanej metodyki zapewnia prawidłowe określenie zmian stanu geometrycznego konstrukcji, a wykorzystanie w obliczeniach obu wariantów umożliwia wiarygodną kontrolę.

Słowa kluczowe: stan geometryczny konstrukcji, obciążenie, przemieszczenia, pomiary, obliczenia

Abstract

The paper presents the methodology to determine changes in the geometric structure containing the conducted measurements and feasible variants of calculations. The object of detailed studies, whose results are presented in this work, is the suspended roof of the open-air theatre in Koszalin. In the research conducted since 2006, a database that contains the results of more than 40 periodic measurements of the structure carried out in different (registered during measurements) external conditions (including different temperature, snow and ice load) was used. The previous research conducted at this facility, among others, (Deska 2013, Kaczmarek and Śpiewak 2014b), as well as for other structures (Odziemczyk 2014) draws attention to the important influence of the temperature load of steel structures and hence the need for its consideration when assessing the geometric state. Electronic total station and the polar method with freestationing were used in periodic measurements. The calculations used a comparative method (differences of coordinates) and tools of a statistical analysis as well as developed calculation models based on them. The results obtained using both approaches were compared and assessed by indicating both their possibilities and significant limitations. The application of the suggested methodology provides the correct determination of changes in the geometric state of a construction and the use of the variants in calculations enables a reliable control.

Keywords: *geometric state of construction, load, displacements, measurements, calculations*

WPROWADZENIE

Podstawowymi elementami struktury geometrycznej obiektu budowlanego są odpowiednio wybrane punkty, linie i powierzchnie (najczęściej materializowane przez elementy konstrukcyjne lub ich części), których określone

relacje przestrzenne tworzą pewne charakterystyczne związki utożsamiane z tzw. cechami geometrycznymi. Cechy te według Przewłockiego (Przewłocki 1989) mogą dotyczyć takich właściwości geometrycznych jak wymiar i kształt oraz położenie – cechy położenia. Na podstawie analizy zmian cech, np. zmian położenia wybranych punktów konstrukcji w czasie i w różnych warunkach obciążenia, czyli analizy ich przemieszczeń, możliwe jest określenie zmian stanu geometrycznego obiektu. W oparciu o rejestrowany stan i jego zmiany możliwa jest bieżąca lub późniejsza ocena stanu technicznego obiektu.

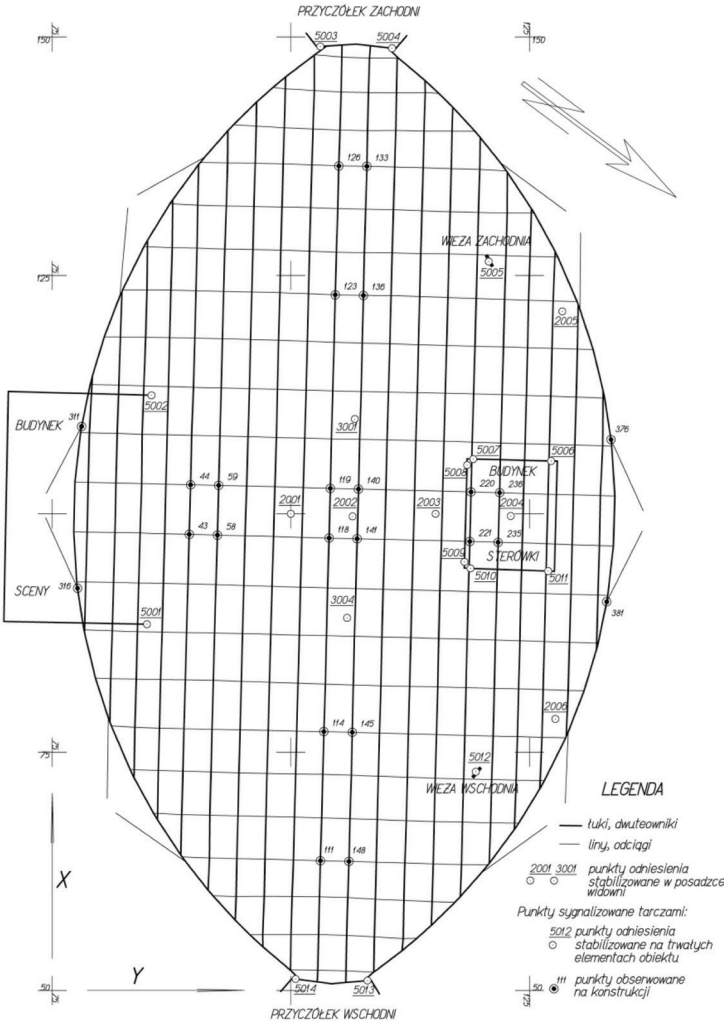
W przypadku przekryć wiszących (konstrukcji otwartych), jak wskazano w (Deska 2013), głównym problemem jest jednoczesne występowanie wielu obciążeń jednocześnie. Są to obciążenia: ciężarem własnym, śniegiem i lodem, temperaturą, wiatrem, a także te będące wynikiem wstępnego sprężenia. Zmiany obciążeń powodują w sposób ciągły zmiany sił występujących w konstrukcji i tym samym zmiany geometrii konstrukcji. Również długotrwałe obciążenie eksploatacyjne cięgien nośnych powoduje ich stopniowe wydłużanie i tym samym wywołuje zmniejszenie się sił ich naciągu zmieniając niekorzystnie warunki stateczności pracy konstrukcji (Janusz 1996).

Obciążenie śniegiem i lodem stwarza realne zagrożenie dla bezpieczeństwa konstrukcji, szczególnie w przypadku przekryć o dużych rozpiętościach pomiędzy podporami (Filipkowski i Deska 2011; 2012). Z kolei wpływ zmian sił będących wynikiem obciążenia temperaturą jest szczególnie istotny dla wstępnie napiętych konstrukcji cięgnowych, gdyż mogą one prowadzić do znacznych przyrostów (spadków) sił w cięgnach (Pałkowski 1994), a często także znacznych przemieszczeń węzłów siatki konstrukcyjnej.

Konstrukcje cięgnowe, w tym również przekrycia wiszące, charakteryzują się nieliniowością fizyczną i geometryczną. Oznacza to, iż nie występuje proporcjonalność pomiędzy obciążeniem a przemieszczeniem (Deska 2013). Zmiana obciążenia śniegiem i lodem, a także temperaturą czy wiatrem nie powoduje liniowego przyrostu przemieszczeń elementów czy wybranych węzłów tych konstrukcji. Konieczne jest tym samym zastosowanie odpowiedniej metodyki pomiaru i obliczeń celem, na przykład, uwzględnienia (eliminacji) wpływu obciążenia temperaturą na określane przemieszczenia wybranych punktów konstrukcji wywołane dodatkowym obciążeniem śniegiem i lodem. Nieuwzględnienie wpływu obciążenia temperaturą przy określaniu przemieszczeń i ich ocenie w odniesieniu do przemieszczeń dopuszczalnych (granicznych) może skutkować niedoszacowaniem lub przeszacowaniem wartości faktycznie występującego obciążenia przy porównaniu z dopuszczalnym. Grozić to może degradacją konstrukcji, awarią lub katastrofą (Krentowski i Tribułło 2011), bądź też skutkować częstymi i niepotrzebnymi alertami zmuszającymi zarządców do zamykania obiektów i/lub podejmowania konkretnych działań zapobiegawczych.

OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań szczegółowych, których wyniki prezentowane są w pracy, jest zaprojektowane przez prof. Jana Filipkowskiego i wykonane w 1975 roku przekrycie wiszące Amfiteatru w Koszalinie. W rzucie (rysunek 1) ma ono kształt soczewki składającej się z dwóch wycinków kół, a jego powierzchnia zbliżona jest do paraboloidy hiperbolicznej.



Źródło: Opracowanie własne; Source: Authors' own study

Rysunek 1. Rzut poziomy siatki konstrukcji przekrycia
Figure 1. Horizontal projection of structure grid of roof

Podstawową konstrukcję przekrycia stanowią dwa płaskie, dwuprzegubowe łuki stalowe o kształcie eliptycznym usytuowane w płaszczyznach nachylonych do poziomu pod kątem około 30°. Ich praca w płaszczyznach skośnych uwarunkowana jest trzema parami odciągów po każdej stronie przekrycia. Łuki nośne końcami, poprzez przeguby kuliste, opierają się o przyczółki żelbetowe, które połączone są monolitycznie z płytą żelbetową spoczywającą na 44 palach Franki (Filipkowski 1977). Pomiędzy łukami rozpięte są cięgna nośne (liny), na których spoczywają cięgna napinające (dwuteowniki). Do dwuteowników przymocowana jest blacha trapezowa, na której ułożono styropian wraz z membraną (Filipkowski i in. 2015). Zasadnicze parametry obiektu to: pole rzutu przekrycia 4460m^2, rozpiętość wzdłuż osi obiektu 101,8m i 56,8m (Filipkowski 1977). Rzut poziomy siatki konstrukcji przekrycia wraz z punktami sieci odniesienia i punktami kontrolowanymi przedstawiono na tle wybranych elementów zagospodarowania obiektu na rysunku 1.

Wyniki wcześniejszych badań prowadzonych na tym obiekcie (Deska 2013; Kaczmarek i Śpiewak 2014b), a także dla innych konstrukcji (Odziemczyk 2014), wykazały istotny wpływ obciążenia konstrukcji stalowych temperaturą, a tym samym konieczność jego uwzględnienia przy ocenie stanu geometrycznego, tzn. określaniu przemieszczeń w warunkach dodatkowego obciążenia śniegiem i lodem.

METODYKA OKREŚLANIA PRZEMIESZCZEŃ WYBRANYCH PUNKTÓW W WARUNKACH OBCIĄŻENIA

Przedstawiona w pracy metodyka określania przemieszczeń zawiera zarówno wskazania dotyczące sposobu realizacji pomiarów okresowych jak i sposobów obliczeń z uwzględnieniem istotnych czynników mających wpływ na ich wyniki. W tym zakresie praca stanowi pierwsze podsumowanie dziesięcioletnich badań prowadzonych na obiekcie. Powołano się w niej również na wyniki wcześniej prowadzonych badań szczegółowych.

Rejestrację stanu geometrycznego konstrukcji przekrycia Amfiteatru w Koszalinie realizowano od 2006 roku w ramach pomiarów okresowych. Wykorzystywano przedstawione na rys. 1 punkty sieci odniesienia i punkty kontrolowane. Specjalnie skonstruowane sygnały tarczowe (Deska i Pawłowski 2007), umieszczono na elementach stałych budowli (w bezpośrednim otoczeniu obiektu i nie związanych z konstrukcją przekrycia) jako punkty sieci odniesienia (5001-5014) – sygnały oraz w wybranych przez autora przekrycia 24 węzłach siatki konstrukcyjnej przekrycia jako punkty obserwowane (kontrolowane). Do takiego sygnału tarczowego, zawierającego elementy z folii odblaskowej, możliwy jest pomiar odległości dalmierzem podczerwonym (IR) i według (Deska i Pawłowski 2013) z ich wykorzystaniem możliwe do uzyskania są dokładności

określenia położenia poniżej 1cm. Stanowiska instrumentu podczas okresowych obserwacji traktowano zawsze jako stanowiska swobodne 3D. Do wykonania pomiarów okresowych wykorzystywano tachimetr elektroniczny TOPCON GPT 3007 z okularem zenitalnym. Każdorazowo obliczenia wykonywano wykorzystując najpierw metodę stanowiska swobodnego 3D (celem określenia współrzędnych stanowiska – punkt bliski punktowi 2001), a następnie metodę biegunową z niwelacją trygonometryczną w celu określenia położenia punktów kontrolowanych. Według (Deska i Pawłowski 2013) metoda ta może być uznana w przypadku przekryć, jako najbardziej efektywna do celów rejestracji od kilkunastu do kilkudziesięciu wybranych punków w każdej epoce pomiarowej.

Do oceny stanu geometrii przekrycia wykorzystywane są wszystkie 24 obserwowane punkty i ich przemieszczenia, natomiast odpowiednio wybrane z nich wskazane są jako istotne i wystarczające przy ocenie przemieszczeń mogących wystąpić w okresie zimowym. Kompletna ocena zawarta w (Filipkowski i in. 2015) przeprowadzona została w oparciu o obliczone zmiany położenia wszystkich punktów (dla 4 różnych epok). Na podstawie różnic współrzędnych, nie większych niż błąd określenia wartości przemieszczenia (1cm), nie stwierdzono istotnych zmian stanu geometrii konstrukcji nośnej przekrycia w okresie 2007-2015. Dla przedmiotowej konstrukcji określono też przemieszczenia graniczne (ich składowe pionowe) powodowane tylko dodatkowym obciążeniem śniegiem i lodem dla 4 punktów (118, 119, 141, 140) położonych w części środkowej przekrycia (rys. 1).

Ze względu na konieczność uwzględnienia (eliminacji wpływu) obciążenia temperaturą przy obliczaniu przemieszczeń wybranych węzłów siatki powodowanych obciążeniem śniegiem i lodem można zastosować metodę porównawczą (różnic współrzędnych). Różnice współrzędnych stanowią wówczas składowe przemieszczeń. Interpretację ułatwia odpowiednio zorientowany lokalny układ współrzędnych, którego osie są praktycznie równoległe do głównych osi konstrukcji przekrycia. Najprostszym sposobem jest porównanie stanu geometrycznego w tej samej lub zbliżonej temperaturze pod obciążeniem w stosunku do stanu bez obciążenia (przykład zawierający również opis warunków pomiaru w tab. 1). Zakłada się każdorazowo wykorzystanie, jako odniesienia, stanu konstrukcji bez dodatkowego obciążenia śniegiem i lodem w temperaturze jak najbardziej zbliżonej do temperatury aktualnej epoki pomiarowej. Przy interpretacji przemieszczeń należy pamiętać, iż tak jak w projektowaniu i analizach np. (Filipkowski i Deska 2011; 2012), a także w oparciu o (PN-EN 1991-1-3:2005), należy uwzględnić dwa podstawowe mogące występować układy obciążenia:

- równomierne obciążenie śniegiem dachu (układ, który przestawia równomiernie rozłożone obciążenie śniegiem dachu, uformowane jedynie przez jego kształt),

- nierównomierne obciążenie śniegiem dachu (układ przedstawiający obciążenie śniegiem, wynikające z przemieszczania śniegu z jednego miejsca na inne np. przez wiatr).

Kolejnym możliwym rozwiązaniem jest wykorzystanie modelu obliczeniowego konstrukcji i na drodze obliczeń numerycznych określenie stanu geometrycznego bez obciążenia śniegiem i lodem w danej temperaturze, a następnie porównanie współrzędnych wybranych punktów. Możliwe byłoby wówczas odniesienie określanych przemieszczeń do jakiejś konkretnej temperatury lub w przypadku, gdy nie jest znana temperatura zespolenia konstrukcji, to do przyjmowanej na podstawie (PN-EN 1991-1-5:2005) wartości temperatury początkowej konstrukcji T_0=8°C.

Jak wskazano w (Deska 2013) alternatywą dla takiego podejścia może być wyznaczenie przemieszczeń bądź też określenie położenia wybranych węzłów konstrukcji dla konkretnej temperatury w oparciu o dotychczasowe wyniki pomiarów geodezyjnych z wykorzystaniem podstawowych narzędzi analizy statystycznej (regresji liniowej lub wielomianowej). Na podstawie przeprowadzonych w pracy (Deska 2013) analiz i ich wyników należy wnioskować, iż dla wybranych 4 punktów badanej konstrukcji może to być zależność zbliżona do liniowej. Tak określone, na podstawie danych empirycznych, z wykorzystaniem regresji zależności pomiędzy temperaturą a położeniem wybranych węzłów siatki w przestrzeni na podstawie (Deska 2013) przedstawiono w tab. 2 (model 1 i model 2), a w tab. 3 (model 3 i model 4) określonych przez autora z wykorzystaniem danych z (Kaczmarek i Śpiewak 2014a). W pierwszym z przypadków modele zbudowano na podstawie rzędnych węzłów z 7 pomiarów okresowych – w temperaturach od – 5°C do +34°C. Odchylenia standardowe predykcji dla obu tych modeli nie przekraczają 0,012m. W drugim z przypadków na podstawie rzędnych z 9 pomiarów zrealizowanych w ciągu jednej doby przy temperaturach powietrza pod przekryciem od +12,6°C do +20,8°C. Odchylenie standardowe predykcji dla obu modeli nie przekracza 0,007m. Żaden z przedstawionych w tab. 2 i tab. 3 modeli nie jest pozbawiony wad wynikających przede wszystkim z dokładności danych wejściowych (błędów określenia położenia punktu, dokładności określenia temperatury powietrza), a także wynikających z samego ograniczenia zakresu danych dotyczących temperatury powietrza. Aby ocenić różnice wystarczy porównać wyniki uzyskiwane na podstawie równań regresji dla T=0 (porównać wyrazy wolne). Różnice rzędnych uzyskiwanych na podstawie poszczególnych modeli sięgają nawet 0,077m i świadczą o ograniczonej możliwości ich stosowania. Ze względu na dane wejściowe (dokładniejszy pomiar temperatury powietrza) – uzyskane odchylenie standardowe predykcji rzędnej do 0,006m i wartości resztowe do 0,007m, to na przykład dla T_0=8°C i ewentualnie wyższych temperatur należałoby wykorzystywać model 4, który jest w tym zakresie temperatur porównywalny z wcześniej opracowanym modelem 1 (tab. 4).

Tabela 1. Opis warunków pomiaru i zestawienie współrzędnych punktów obserwowanych w 26 i 6 epoce, obliczone składowe przemieszczeń

Table 1. Description of measurement conditions and juxtaposition of coordinates of the controlled points observed in 26 and 6 epoch, calculated components of displacements

Pomiar (epoka) *Measurement (epoch)*	6			26			Różnice obliczonych współrzędnych punktów obserwowanych / składowe przemieszczeń [m] *Differences of calculated coordinates of the controlled points / components of displacement [m]*		
Stanowisko pomiarowe *Station*	Swobodne 3D ≈ 2001 *Free station 3D ≈ 2001*			Swobodne 3D ≈ 2001 *Free station 3D ≈ 2001*					
Data pomiaru *Date of measurement*	Zima, 11.2007 *Winter, Nov.2007*			Zima, 16.12.2012 *Winter, Dec.12th 2012*					
Temperatura powietrza pod przekryciem *Air temperature under the cover*	+2**ºC**			+3**ºC**					
Dynamika zmian temperatury *Dynamics of changes in temperature*	Temperatura stabilna *Stable temperature*			Temperatura stabilna *Stable temperature*					
Nasłonecznienie przekrycia *Insolation of the cover*	Brak, pełne zachmurzenie *Lack, full overcast*			Brak, pełne zachmurzenie *Lack, full overcast*					
Wiatr/Siła wiatru *Wind/Wind force*	Słaby/umiarkowany *Weak/moderate*			Słaby/umiarkowany *Weak/moderate*					
Obciążenie śniegiem i lodem *Snow and ice load*	Brak *Lack*			Warstwa śniegu rozłożona nierównomiernie *Unevenly distributed layer of snow*					
Pomiar do *Measure to*	Sygnałów tarczowych *Disc signals*			Sygnałów tarczowych *Disc signals*					
	Obliczone współrzędne punktów obserwowanych [m] *Calculated coordinates of controlled points [m]*								
Nr punktu obserwowanego (sygnału tarczowego) *Controlled point number (signal disc)*	X	Y	Z	X	Y	Z	***ΔX***	***ΔY***	***ΔZ***
118	97,446	104,014	**19,219**	97,471	104,012	**18,672**	0,03	0,00	**-0,55**
119	102,665	104,133	**19,212**	102,690	104,132	**18,668**	0,02	0,00	**-0,54**
141	97,374	106,952	**19,226**	97,399	106,950	**18,686**	0,03	0,00	**-0,54**

140	102,591	107,094	**19,223**	102,616	107,095	**18,687**	0,03	0,00	**-0,54**
58	97,764	92,309	20,214	97,790	92,305	19,731	0,03	0,00	-0,48
59	102,982	92,443	20,214	103,010	92,443	19,754	0,03	0,00	-0,46
43	97,838	89,352	20,731	97,861	89,355	20,292	0,02	0,00	-0,44
44	103,047	89,500	20,729	103,073	89,507	20,318	0,03	0,01	-0,41
221	97,097	118,748	20,222	97,117	118,740	19,786	0,02	-0,01	-0,44
220	102,293	118,887	20,224	102,312	118,876	19,798	0,02	-0,01	-0,43
235	97,007	121,705	20,723	97,024	121,696	20,341	0,02	-0,01	-0,38
236	102,213	121,859	20,736	102,230	121,843	20,359	0,02	-0,02	-0,38
316	92,800	77,364	23,005	92,810	77,466	22,995	0,01	0,10	-0,01
311	108,636	77,817	23,073	108,648	77,908	23,061	0,01	0,09	-0,01
381	91,346	133,377	22,990	91,358	133,279	22,984	0,01	-0,10	-0,01
376	107,172	133,805	23,103	107,183	133,718	23,095	0,01	-0,09	-0,01
123	122,974	104,670	17,916	123,025	104,672	17,808	0,05	0,00	-0,11
136	122,908	107,609	17,920	122,958	107,612	17,807	0,05	0,00	-0,11
114	77,134	103,461	17,672	77,133	103,456	17,465	0,00	0,00	-0,21
145	77,071	106,431	17,678	77,074	106,425	17,474	0,00	-0,01	-0,20
126	136,483	105,027	15,035	136,601	105,030	15,290	0,12	0,00	0,26
133	136,435	107,963	15,033	136,549	107,969	15,281	0,11	0,01	0,25
111	63,604	103,097	14,765	63,545	103,093	14,894	-0,06	0,00	0,13
148	63,537	106,081	14,772	63,476	106,078	14,901	-0,06	0,00	0,13

Źródło: Opracowanie własne; Source: Authors' own study

Tabela 2. Model 1 i Model 2 – różne typy linii trendu, równania regresji i ich charakterystyka
Table 2. Model 1 and Model 2 – different types of trend lines and their characteristics

Nr punktu *Point number*	Typy linii trendu, równania regresji i współczynnik determinacji R^2 *Types of trend lines, the regression equation and determination coefficient R^2*	
	Model 1 – liniowy Z [m] *Model 1 – linear Z [m]*	Model 2 – wielomianowy drugiego stopnia Z [m] *Model 2 – quadratic polynomial Z [m]*
118	Z=0,0049T+19,214 R^2=0,98	Z=-1,83E-05T^2+0,0055T+19,214 R^2=0,98
119	Z=0,0048T+19,212 R^2=0,97	Z=-1,54E-05T^2+0,0052T+19,212 R^2=0,97
141	Z=0,0048T+19,226 R^2=0,97	Z=-1,52E-05T^2+0,0052T+19,226 R^2=0,98
140	Z=0,0049T+19,224 R^2=0,98	Z=-2,27E-05T^2+0,0056T+19,223 R^2=0,98

Źródło: (Deska 2013); Source: (Deska 2013)

Tabela 3. Model 3 i Model 4 – różne typy linii trendu, równania regresji i ich charakterystyka
Table 3. Model 3 and Model 4 – different types of trend lines and their characteristics

Nr punktu *Point number*	Typy linii trendu, równania regresji i współczynnik determinacji R^2 *Types of trend lines, the regression equation and determination coefficient R^2*	
	Model 3 – liniowy Z [m] *Model 3 – linear Z [m]*	Model 4 – wielomianowy drugiego stopnia Z [m] *Model 4 – quadratic polynomial Z [m]*
118	Z=0,0074T+19,170 R^2=0,98	Z=1,712E-04T^2+0,0006T+19,234 R^2=0,99
119	Z=0,0076T+19,159 R^2=0,98	Z=2,066E-04T^2-0,0006T+19,236 R^2=0,99
141	Z=0,0074T+19,177 R^2=0,98	Z=1,793E-04T^2+0,0002T+19,244 R^2=0,99
140	Z=0,0076T+19,174 R^2=0,98	Z=1,859E-04T^2+0,0001T+19,243 R^2=0,99

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych pozyskanych w (Kaczmarek i Śpiewak 2014a)
Source: Authors' own study based on data gathering in (Kaczmarek i Śpiewak 2014a)

Tabela 4. Model 1 a Model 4 – rzędne punktów i ich różnice dla T_0=8°C i T=8°C
Table 4. Model 1 and Model 4 – elevations of points and their differences for T_0=8°C i T=8°C

Nr punktu *Point number*	T_0=8°C Z prognozowane [m] *Z predicted [m]*		Model 1 a Model 4 Różnica wartości prognozowanych [m] *Model 1 and Model 4 Differences of predicted values [m]*	T=8°C 4 epoka Z z pomiaru [m] *4th epoch Z of the measurement [m]*	Różnice Z prognozowanych T_0 i Z z pomiaru T [m] *Differences between Z predicted T_0 and Z of the measurement T [m]*	
	Model 1	Model 4			Model 1	Model 4
118	19,253	19,250	0,003	19,244	0,009	0,006
119	19,250	19,244	0,006	19,238	0,012	0,006
141	19,264	19,256	0,008	19,253	0,011	0,003
140	19,263	19,257	0,006	19,253	0,010	0,004

Źródło: Opracowanie własne; Source: Authors' own study

Najwłaściwszym rozwiązaniem wydaje się porównanie stanu geometrycznego w tej samej lub zbliżonej temperaturze pod obciążeniem do stanu bez obciążenia, co w przypadku bazy danych o obiekcie praktycznie możliwe jest obecnie do temperatury nie niższej niż – 5°C. Dla niższych temperatur należałoby jednak bezwzględnie zastosować model liniowy – model 1. Biorąc pod uwagę jego

dokładność (0,011-0,012m), to celem eliminacji wpływu obciążenia temperaturą na wyznaczane przemieszczenia pionowe wybranych punktów dopiero przy różnicy temperatur większej niż 4°C należałoby uwzględniać zmianę dotyczącą obciążenia temperaturą o wartości 0,005m/°C, bądź przyjąć rzędną punktu (Z) określoną na podstawie modelu 1. Dla badanego obiektu taka konieczność zachodzi dopiero wówczas, gdy przemieszczenia są określane przy temperaturze powietrza pod przekryciem niższej niż – 9°C oraz przy dodatkowym obciążeniu śniegiem i lodem. Z przeprowadzonych w oparciu o dostępne dane analiz i symulacji wynika, iż różnice w wyznaczonych przemieszczeniach pionowych 4 kontrolowanych punktów na podstawie bezpośrednich porównań oraz na podstawie porównań z wartościami Z prognozowanymi czy też po uwzględnieniu modelu liniowego obciążenia temperaturą nie przekraczają 3cm. Stanowi to jedynie 5% wartości granicznej przemieszczenia pionowego wybranych 4 punktów, określonego w (Filipkowski i in. 2006; 2015). Zastosowanie niezależnie obu metod eliminacji wpływu obciążenia temperaturą i obu wariantów obliczeniowych zapewnia też wiarygodną kontrolę przy określaniu przemieszczeń.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawiona w pracy, w zarysie, metodyka określania przemieszczeń zawiera zarówno wskazania dotyczące sposobu realizacji pomiarów okresowych jak i sposobów obliczeń z uwzględnieniem istotnych czynników mających wpływ na ich wyniki. W tym zakresie praca stanowi pierwsze podsumowanie dziesięcioletnich badań prowadzonych na obiekcie. W części przedstawianej metodyki, ze względu na ograniczone ramy tego artykułu, wskazano i powołano się tylko na publikowane wcześniej wyniki prowadzonych badań szczegółowych.

Zastosowanie zaproponowanej, przedstawionej na przykładzie konkretnego obiektu badawczego metodyki zapewnia wiarygodne określenie zmian stanu geometrycznego konstrukcji (przemieszczeń) w warunkach dodatkowego obciążenia. Między innymi na podstawie wyników pomiarów okresowych oraz wyników prowadzonych badań realizowana jest budowa (Filipkowski i Deska 2011; 2012), a także weryfikacja i kalibracja modelu obliczeniowego konstrukcji (Filipkowski i in. 2015) uwzględniającego obciążenie ciężarem własnym, aktualny rozkład sił wraz z jednoczesnym obciążeniem śniegiem i lodem oraz temperaturą. W przypadku przekryć wiszących, a także innych skomplikowanych i trudnych w analizach numerycznych obiektów, takie postępowanie jest zdaniem autora w pełni uzasadnione i w wielu przypadkach konieczne. Wyniki prowadzonych badań o charakterze aplikacyjnym można w zakresie opracowanej metodyki z powodzeniem wykorzystać dla innych przekryć wiszących.

LITERATURA

Deska, K. (2013). *An investigation into the influence of a temperature load of a suspended roof in measurements for diagnostic purposes*. Geomatics and Environmental Engineering, Wyd. AGH, nr 1/2013, Kraków, 47-56.

Deska, K., Pawłowski, W. (2011). *Measurements of large-span roofs – diagnostic aspects*. Reports on Geodesy, z. 1/90, Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 107-113.

Deska, K., Pawłowski, W. (2013). *Measurements of roofs for diagnostic purposes*. MOTROL, nr 1(15), Lublin, 29-34.

Filipkowski, J. (1977). *Construction of suspended roof over open-air theatre in Koszalin, Poland.* Proc. Inst. Civ. Engrs, part 1, 62, Aug. 1977, 463-472.

Filipkowski, J., Jacoszek, J., Deska, K. (2006). *Sposób odśnieżania zadaszenia Amfiteatru w Koszalinie, cz. 2.* Opracowanie zamawiane na zlecenie MOK w Koszalinie.

Filipkowski, J., Deska, K. (2011). *Struktura geometryczna konstrukcji wiszącej i stan przemieszczenia wywołany ciężarem śniegu*. Awarie budowlane 2011, Materiały XXV Konferencji Naukowo-Technicznej, Międzyzdroje 24-27 maja 2011, 569-576.

Filipkowski, J., Deska, K. (2012). *Badanie konstrukcji dachu obciążonego śniegiem*. Builder, nr 1/2012, 81-85.

Filipkowski, J., Deska, K., Jacoszek, J. (2015). *Ocena stanu technicznego zadaszenia Amfiteatru pod względem bezpieczeństwa wraz z pomiarem sił w odciągach przekrycia oraz określenie rzeczywistego stanu napięć w konstrukcji, II etap.* Opracowanie zamawiane na zlecenie CK 105 w Koszalinie.

Janusz, J. (1996). *Metodyka geodezyjnego badania naprężeń i wydłużeń lin w konstrukcjach cięgnowych*. Prace IGiK, tom XLIV, z. 94, Warszawa.

Kaczmarek, J., Śpiewak, A. (2014a). *Badanie wpływu temperatury i nasłonecznienia na geometrię siatki konstrukcyjnej przekrycia wiszącego*. Praca dyplomowa magisterska, Katedra Geodezji WILŚiG PK, Koszalin, promotor dr inż. K. Deska.

Kaczmarek, J., Śpiewak, A. (2014b). *Określanie przemieszczeń wybranych węzłów siatki konstrukcyjnej przekrycia wiszącego*. Opiekun naukowy dr inż. K. Deska, Materiały XI Konferencji Studentów i Młodych Pracowników Nauki, VII Ogólnopolskiej Konferencja Studenckich Kół Naukowych Uczelni Technicznych, 19-25 maj 2014, Wyd. Politechniki Koszalińskiej, 71-80.

Krentowski, J., Tribułło, R. (2011). *Analiza wpływu obciążenia temperaturą na stan odkształceń i zagrożeń konstrukcji budowlanych.* Budownictwo i Inżynieria Środowiska, nr 2/2011, 155-162.

Odziemczyk, W. (2014). *Analysis of deformations of the skylight construction at the main hall of the Warsaw University of Technology*. Reports on Geodesy and Geoinformatics vol. 97, De Gruyter, 35-46.

Pałkowski, Sz. (1994). *Konstrukcje cięgnowe*. WNT, Warszawa.

Przewłocki, S. (red.) (1989). *Metrologia cech geometrycznych budowli.* Wyd. II, Wyd. Politechniki Łódźkiej, Łódź.

PN-EN 1991-1-3:2005. *Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne. Obciążenia śniegiem.* PKN, Warszawa.

PN-EN 1991-1-5:2005. *Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-5: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania termiczne.* PKN, Warszawa.

dr inż. Krzysztof Deska
Politechnika Koszalińska
Katedra Geodezji
75-453 Koszalin, ul. Śniadeckich 2
tel. 94 3486718
kdeska@wilsig.tu.koszalin.pl

Wpłynęło: 10.03.2016
Akceptowano do druku: 21.04.2016