

Jacek SZTUBECKI¹
Adam BUJARKIEWICZ²
Rafał TEWS³
Paulina BRUNKA⁴

BADANIA ODKSZTAŁCEŃ WIEŻY TELEKOMUNIKACYJNEJ PODDANEJ WPLYWOWI NASŁONECZNIENIA

Badania zachowania się konstrukcji inżynierskich metodami geodezyjnymi polegają na wyznaczeniu przemieszczeń konstrukcji względem przyjętego układu odniesienia lub na określeniu geometrii poszczególnych elementów konstrukcyjnych lub całej konstrukcji. Dają one obraz zmian konstrukcji pomiędzy przyjętymi momentami czasu. Pomiar geometrii obiektów wieżowych wykonuje się cyklicznie wyznaczając jej odstępstwa od geometrii teoretycznej. Pomiary takie wykonuje się w warunkach optymalnych, w których na konstrukcję nie powinna działać żadna dodatkowa siła mogąca zniekształcać wyniki. Dla wież telekomunikacyjnych wynikami badania geometrii są zazwyczaj odchylenie osi wieży oraz kąty skrętu wieży na poszczególnych jej poziomach.

W artykule pokazano wyniki badania geometrii wieży telekomunikacyjnej uzyskane dla trzech stanów jej nasłonecznienia oraz porównano je z wynikami uzyskanymi z pomiaru w warunkach całkowitego zachmurzenia.

Słowa kluczowe: pomiar przemieszczeń, dynamika konstrukcji wieżowych

1. Wprowadzenie

Stal jest materiałem konstrukcyjnym stosowanym w budownictwie wszędzie tam, gdzie obiekty narażone są na działanie znacznych obciążeń statycznych i dynamicznych. Charakteryzuje się dobrymi właściwościami mechanicz-

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Jacek Sztubecki, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; Zakład Geomatyki i Gospodarki Przestrzennej, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz; tel. 661567541; jaceks@utp.edu.pl

² Adam Bujarkiewicz, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; Zakład Geomatyki i Gospodarki Przestrzennej, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz; adamb@utp.edu.pl

³ Rafał Tews, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; Katedra Konstrukcji Budowlanych, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz; rtews74@utp.edu.pl

⁴ Paulina Brunka, absolwentka Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

nymi, tj. dużą wytrzymałością, sprężystością oraz plastycznością. Stosując odpowiedni dobór charakterystyk przekroju poprzecznego uzyskać można lekkie konstrukcje o dużych rozpiętościach [5].

Wieża jest wysoką budowlą, najczęściej ukształtowaną pionowo, która pod względem statycznym jest wspornikiem zamocowanym sztywno w podstawie. Jej cechą charakterystyczną jest duży stosunek wysokości do uśrednionego wymiaru przekroju poprzecznego [5]. Wyróżnić można wiele rodzajów wież, m.in. stalowe - antenowe, energetyczne, kominowe, oświetleniowe, widokowe, odgromowe [5], a także takie, które są obiektami sakralnymi, obronnymi czy użytkowymi (np. wieże ciśnień).

Konstrukcje stalowe wież należy wykonywać zgodnie z postanowieniami i zaleceniami obowiązujących norm [4], a odchyłki ich montażu nie powinny przekraczać wartości granicznych [3]. Geometryczne odstępstwa od projektu wykonania i montażu lub też uszkodzenia eksploatacyjne wież mają wpływ na stopień bezpieczeństwa ich użytkowania. Zgodnie z instrukcją branżową [2], odchylenia osi trzonu wieży od pionu większe od $L/750$, gdzie L jest długością pomiarową, zalicza się do wad zagrażających bezpieczeństwu konstrukcji i wymagających niezwłocznej naprawy. Natomiast odchylenia większe od $L/1000$ należą do wad pogarszających stan konstrukcji, których naprawę należy przeprowadzić w ciągu roku. Prowadzone pomiary odchylenia osi trzonów wież od prostoliniowości i pionowości wykazują bardzo często znaczne przekroczenie normowych wartości odchyłek dopuszczalnych [7]. Wyniki wielu badań diagnostycznych [1, 6], prowadzonych dla konstrukcji wieżowych, pozwoliły zidentyfikować szereg przyczyn pogorszenia ich stanu technicznego. Do czynników, które mają największy wpływ na odchylenie osi wież od linii pionu, zaliczyć można:

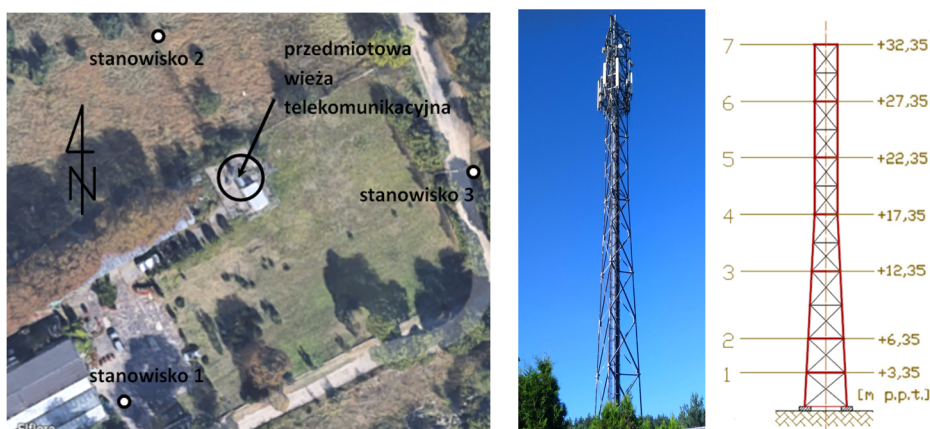
- imperfekcje geometryczne (wady konstrukcyjne),
- wady wykonawstwa,
- nierównomierność osiadania fundamentów,
- parcie wiatru na konstrukcję,
- wpływ nasłonecznienia na konstrukcję.

Odchylenia osi wież prowadzi się wykonując pomiary w optymalnych warunkach i minimalizując w ten sposób wpływ czynników zewnętrznych. Jednym z nich czynników jest nasłonecznienie, powodujące nagrzewanie się konstrukcji. Zalicza się go do czynników dynamicznych, a jego maksymalne oddziaływanie na konstrukcję zachodzi w okresie letnim, kiedy występują największe amplitudy temperatury.

W przeprowadzonych badaniach postanowiono podjąć próbę oszacowania wpływu tego czynnika na konstrukcję. Przedstawiono wyniki oraz analizę pomiarów wieży telekomunikacyjnej poddanej wpływowi nasłonecznienia, porównując je z wynikami pomiarów wykonanych w warunkach optymalnych. Przedmiotem badań jest wieża telekomunikacyjna, na której zamocowane są anteny nadawcze i odbiorcze, np. radiowe, telewizyjne czy telefoniczne [5].

2. Charakterystyka obiektu badań

Przedmiotem przeprowadzonych badań jest wieża telekomunikacyjna znajdująca się przy ul. Suchej 30 w Bydgoszczy. Jest ona stacją bazową telefonii komórkowej, oznaczoną, zgodnie z projektem budowlanym, jako „BT44859_Fordon_Sucha”. Lokalizację oraz widok wieży przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. Lokalizacja, widok wieży telekomunikacyjnej oraz schemat rozmieszczenia jej segmentów
Fig. 1. The location, view and scheme of arrangement telecommunication tower segments

Trzon wieży stanowi kratownica przestrzenna o całkowitej wysokości równej 32,00 m. Budowla jest złożona z 6 segmentów – dwóch po 6,00 m oraz czterech po 5,00 m. Zbieżność stacji bazowej do wysokości 17,00 m wynosi $2,86^\circ$. Konstrukcja jest opisana w rzucie na płanie trójkąta równobocznego. W narożach wieży rozmieszczone są krawężniki w postaci prętów okrągłych pełnych. Ściany wieży składają się z dwunastu skratowanych pól, licząc od węzła do węzła na krawężnikach. W miejscu połączenia fundamentu z elementami stalowymi, na wysokości +0,35 m, osie krawężników oddalone są o 3,70 m. Kolejne wysokości oraz odległości pomiędzy osiami krawężników wynoszą odpowiednio: +3,35 m - 340 cm; +6,35 m - 310 cm; +12,35 m - 250 cm, od +17,35 m do +32,35 m - 200 cm.

3. Metody badawcze i wyniki badań

W celu przeprowadzenia badań, na przedłużeniu ramion wieży zastabilizowano trzy stanowiska pomiarowe, z których mierzono wartości przemieszczeń krawężników wieży na poszczególnych poziomach. Z powodu braku widoczności posadowienia wieży w trakcie wykonywania pomiarów, za poziom odniesienia przyjęto poziom 1. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych pokazano na Rys. 1. Pomiar geometrii wieży wykonywano dwiema metodami: kątową i rzu-

towania, wykorzystując tachimetr IS-303 firmy Topcon. Wykorzystując uśrednione z obu metod wartości pomierzonych przemieszczeń D_1 , D_2 , D_3 (Rys. 2) krawężników znajdujących się na poszczególnych poziomach, obliczono kąty skręcenia trzonu wieży oraz wychylenia wypadkowe osi wieży.

Obliczenia dla każdego poziomu wieży realizowane były z wykorzystaniem następujących wzorów [7]:

- wartości wychyleń składowych x , y :

$$x = (D_2 - D_3) \cdot \frac{\sqrt{3}}{3} \quad (1)$$

$$y = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot D_1 - D_2 - D_3) \quad (2)$$

- wartości odchyłeń wypadkowych w :

$$w = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad (3)$$

- wartości kątów skręcenia wieży α :

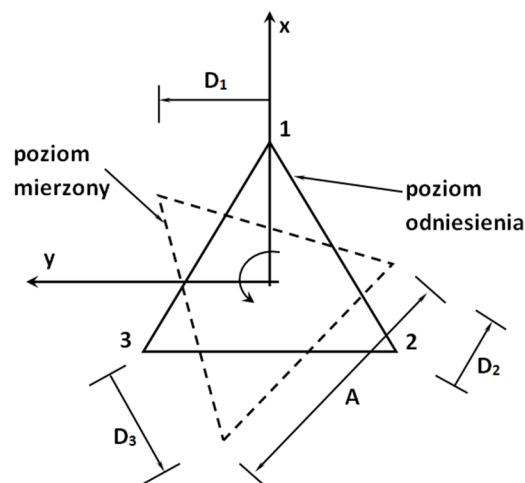
$$\alpha = \arcsin e \quad (4)$$

gdzie:

$$d = \frac{1}{3} \cdot (D_1 + D_2 + D_3) \quad (5)$$

$$e = \frac{d \cdot \sqrt{3}}{A} \quad (6)$$

A – długość boku wieży.



Rys. 2. Układ współrzędnych wykorzystywany przy obliczeniach odchyłeń wieży

Fig. 2. Coordinate system used to calculate tower deviations

Przeprowadzono cztery serie pomiarowe. Trzy z nich wykonano w dniu 26.08.2016 r., przy pełnym nasłonecznieniu i wysokiej temperaturze, a czwartą w dzień zachmurzony 21.11.2016 r. Każdy z pomiarów trwał około 2 godzin. Pomiary przeprowadzono przy bezwietrznej pogodzie. Szczegóły dotyczące warunków temperaturowych oraz czas trwania każdej serii pomiarowych przedstawiono w Tab. 1.

Tabela. 1. Szczegóły serii pomiarowych wieży

Table 1. Details of tower measurement series

Data pomiaru	Godzina rozpoczęcia	Godzina zakończenia	Temp. powietrza [°C]	Temp. Konstrukcji [°C]
2016.08.21	8.30	10.25	21,8	23,7
	13.10	15.55	30,8	41,4
	16.20	18.15	29,9	32,3
2016.11.03	8.50	11.30	10,0	9,7

Wyniki pomiarów uzyskane z obu metod zostały uśrednione. Na ich podstawie obliczono wartości wychyleń oraz kąty skręcenia wieży. Do wykonania obliczeń przyjęto, pokazany na Rys. 2, kartezjański układ współrzędnych.

Wyniki oraz graficzną prezentację wychyleń oraz kątów skręcenia wieży dla poszczególnych serii przedstawiają tabele (Tab. 2 ÷ Tab. 5) i wykresy (Rys. 3 ÷ Rys. 6).

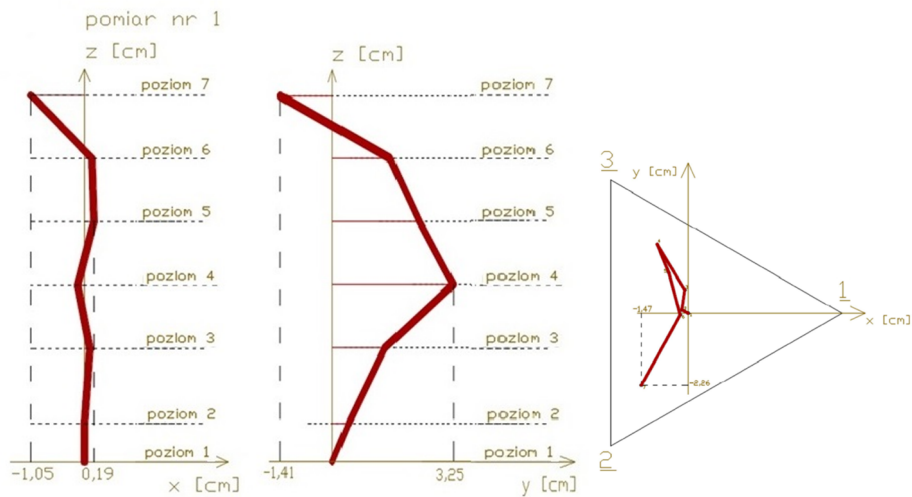
Dla pomiaru 1 (Rys. 3) największe wychylenie osi wieży w kierunku osi x wystąpiło dla poziomu 7 (-1,05 cm), natomiast względem osi y - dla poziomu 4 (+3,25 cm). Maksymalne wychylenie wypadkowe występuje dla poziomu 4 (+3,26 cm), a maksymalny kąt skręcenia wieży wystąpił na poziomie 7 i wyniósł $-0,80^{\circ}$.

Dla pomiaru 2 (Rys. 4) największe wychylenia osi wieży w kierunkach osi x i osi y wystąpiły dla poziomu 7 i wyniosły odpowiednio -1,47 cm oraz -2,26 cm. Maksymalne wychylenie wypadkowe wystąpiło dla poziomu 7 (+2,69 cm), a maksymalny kąt skręcenia wieży wystąpił również na poziomie 7 i wyniósł $-1,39^{\circ}$.

Tabela 2. Wyniki wychyleń i skręcenia wieży dla pomiaru 1

Table 2. Deflections and twisting of the tower for measurement 1

Poziom	Nr celu	2016.08.26 - pomiar 1				
		D	x	y	w	α
		[cm]				[°]
1	1.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2.1	0,00				
	3.1	0,00				
2	1.2	0,31	0,01	0,42	0,42	-0,03
	2.2	-0,32				
	3.2	-0,33				
3	1.3	2,01	0,11	1,41	1,42	0,21
	2.3	-0,01				
	3.3	-0,20				
4	1.4	3,05	-0,13	3,25	3,26	-0,09
	2.4	-1,95				
	3.4	-1,72				
5	1.5	1,66	0,19	2,35	2,36	-0,30
	2.5	-1,70				
	3.5	-2,02				
6	1.6	0,26	0,15	1,56	1,56	-0,57
	2.6	-1,94				
	3.6	-2,21				
7	1.7	-3,22	-1,05	-1,41	1,75	-0,80
	2.7	-2,02				
	3.7	-0,21				



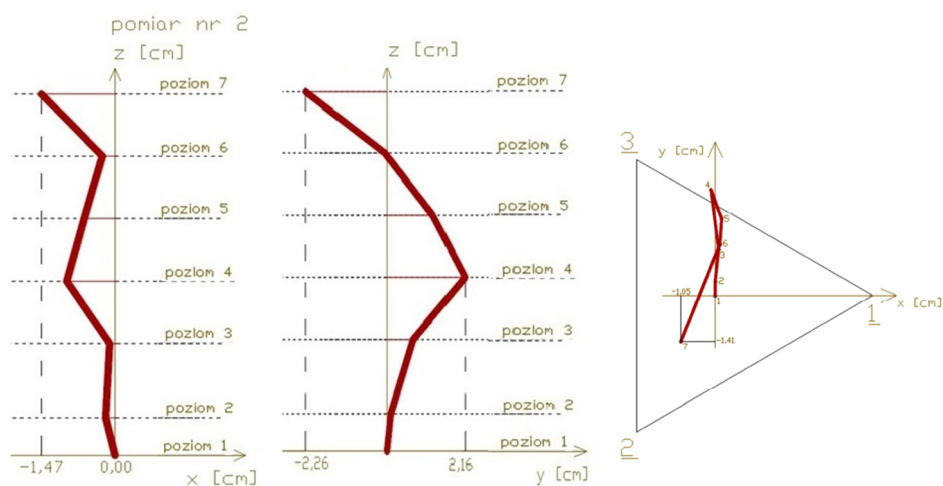
Rys. 3. Wykresy wychyleń wieży dla pomiaru 1

Fig. 3. Graphs of tower deflection in measurement 1

Tabela 3. Wyniki wychyleń i skręcenia wieży dla pomiaru 2

Table 3. Deflections and twisting of the tower for measurement 2

Poziom	Nr celu	2016.08.26 - pomiar 2				
		D	x	y	w	α
		[cm]				[°]
1	1.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2.1	0,00				
	3.1	0,00				
2	1.2	0,31	-0,19	0,10	0,22	-0,02
	2.2	-0,32				
	3.2	-0,33				
3	1.3	2,01	-0,10	0,73	0,74	0,12
	2.3	-0,01				
	3.3	-0,20				
4	1.4	3,05	-0,97	2,16	2,37	-0,05
	2.4	-1,95				
	3.4	-1,72				
5	1.5	1,66	-0,61	1,27	1,41	-0,62
	2.5	-1,70				
	3.5	-2,02				
6	1.6	0,26	-0,25	-0,06	0,26	-0,91
	2.6	-1,94				
	3.6	-2,21				
7	1.7	-3,22	-1,47	-2,26	2,69	-1,39
	2.7	-2,02				
	3.7	-0,21				



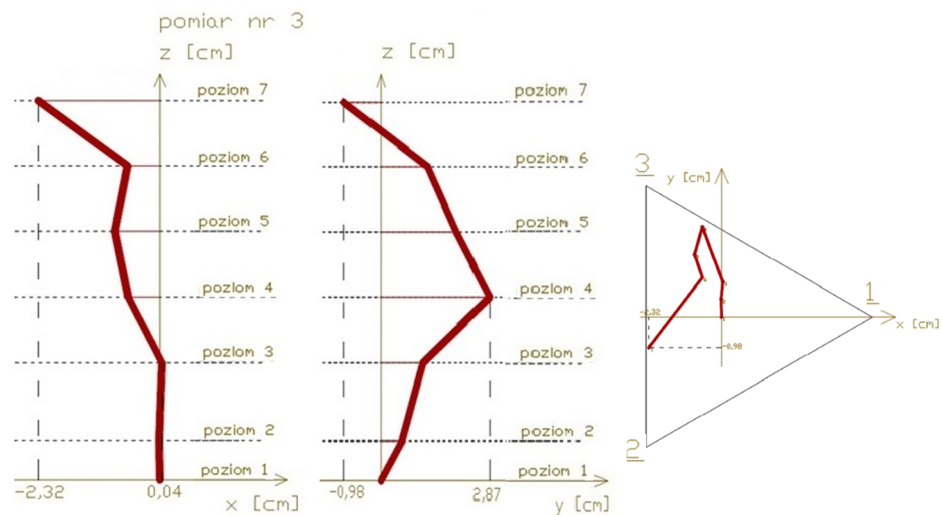
Rys. 4. Wykresy wychyleń wieży dla pomiaru 2

Fig. 4. Graphs of tower deflection in measurement 2

Tabela 4. Wyniki wychyleń i skręcenia wieży dla pomiaru 3

Table 4. Deflections and twisting of the tower for measurement 3

Poziom	Nr celu	2016.08.26 - pomiar 3					α [°]
		D	x	y	w		
		[cm]					
1	1.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	2.1	0,00					
	3.1	0,00					
2	1.2	0,31	-0,01	0,56	0,56	0,00	
	2.2	-0,32					
	3.2	-0,33					
3	1.3	2,01	0,04	1,11	1,11	0,20	
	2.3	-0,01					
	3.3	-0,20					
4	1.4	3,05	-0,61	2,87	2,93	-0,09	
	2.4	-1,95					
	3.4	-1,72					
5	1.5	1,66	-0,86	1,99	2,16	-0,49	
	2.5	-1,70					
	3.5	-2,02					
6	1.6	0,26	-0,62	1,24	1,38	-0,76	
	2.6	-1,94					
	3.6	-2,21					
7	1.7	-3,22	-2,32	-0,98	2,52	-1,16	
	2.7	-2,02					
	3.7	-0,21					



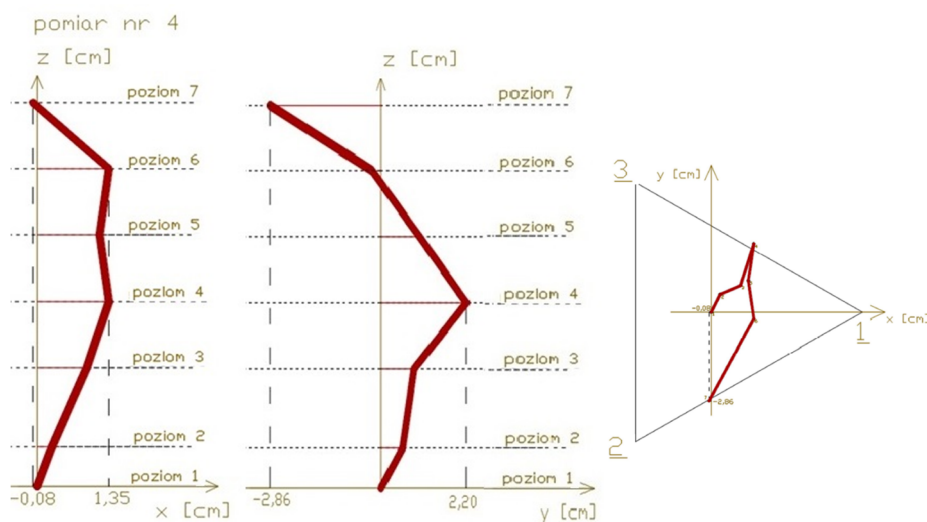
Rys. 5. Wykresy wychyleń wieży dla pomiaru 3

Fig. 5. Graphs of tower deflection in measurement 3

Tabela 5. Wyniki wychyleń i skręcenia wieży dla pomiaru 4

Table 5. Deflections and twisting of the tower for measurement 4

Poziom	Nr celu	2016.11.03 - pomiar 4				
		D	x	y	w	α
		[cm]				
1	1.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2.1	0,00				
	3.1	0,00				
2	1.2	0,31	0,28	0,56	0,62	0,09
	2.2	-0,32				
	3.2	-0,33				
3	1.3	2,01	0,93	0,85	1,26	0,29
	2.3	-0,01				
	3.3	-0,20				
4	1.4	3,05	1,35	2,20	2,58	0,09
	2.4	-1,95				
	3.4	-1,72				
5	1.5	1,66	1,18	1,00	1,54	-0,20
	2.5	-1,70				
	3.5	-2,02				
6	1.6	0,26	1,35	-0,22	1,37	-0,41
	2.6	-1,94				
	3.6	-2,21				
7	1.7	-3,22	-0,08	-2,86	2,86	-0,55
	2.7	-2,02				
	3.7	-0,21				



Rys. 6. Wykresy wychyleń wieży dla pomiaru 4

Fig. 6. Graphs of tower deflection in measurement 4

Dla pomiaru 3 (Rys. 5) największe wychylenie osi wieży w kierunku osi x wystąpiło dla poziomu 7 (-2,32 cm), a względem osi y - dla poziomu 4 (+2,87 cm). Maksymalne wychylenie wypadkowe zaobserwowano dla poziomu 4 (2,93 cm), a maksymalny kąt skręcenia wieży wystąpił na poziomie 7 i wyniósł $-1,16^{\circ}$.

Dla pomiaru 4 (Rys. 6) największe wychylenie osi wieży w kierunku osi x wystąpiło dla poziomu 6 i wyniosło 1,35 cm, a względem osi y - dla poziomu 7 i wyniosło -2,86 cm. Maksymalne wychylenie wypadkowe występuje dla poziomu 7 i wynosi 2,86 cm, a maksymalny kąt skręcenia wieży wystąpił na poziomie 7 i wyniósł $-0,55^{\circ}$.

Należy nadmienić, że wyznaczone wartości wychyleń i kątów skrętu wieży odniesione są do poziomu 1, znajdującego się na wysokości 3,35m nad poziomem posadowienia.

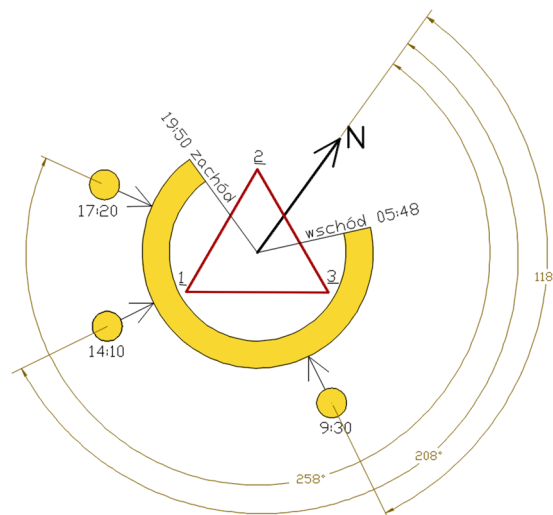
4. Analiza wyników badań

Na podstawie wyników badań zauważyć można, że przyjmując kryterium $L/1000$, maksymalne wartości wychyleń wypadkowych wieży są na granicy wychyleń dopuszczalnych. Rozpatrując wychylenie względem przyjętej osi y, widać zmianę kierunku wychylania się wieży dla poziomów wyższych niż 4 (w stosunku do poziomów niższych), a poziomy 4 i najwyższy (7) wykazują największe wartości wychyleń wypadkowych.

W celu przeprowadzenia analizy uzyskanych wyników, dla pomiarów wykonanych przy pełnym nasłonecznieniu (2016.08.26), niezbędne było ustalenie azymutów padania słońca na konstrukcję. Wartości te wyznaczono dla środkowego momentu trwania każdej z trzech serii pomiarowej. Azymuty te wyniosły odpowiednio: dla pomiaru nr 1 - 118° , dla pomiaru nr 2 - 208° , dla pomiaru nr 3 - 258° . Kierunki padania promieni słonecznych w stosunku do położenia wieży pokazano na Rys. 7. Z kątów tych wynika, że w trakcie pomiaru drugiego, w którym oddziaływanie słońca na konstrukcję jest największe, promienie słoneczne padają na ramię nr 1 wieży.

Dlatego w analizie wpływu nasłonecznienia na badaną wieżę przyjęto taki układ współrzędnych, którego jedna z osi (w analizowanym przypadku oś x) jest w przybliżeniu równoległa do padania promieni słonecznych w momencie maksymalnego ich oddziaływania. Położenie i orientację osi układu współrzędnych zastosowanego w badaniach przedstawiono na Rys. 2.

Zauważyć można, że wierzchołek wieży, wraz ze wzrostem temperatury konstrukcji, zmienia swoje położenie przeciwnie do kierunku osi x. Jego wychylenia w kolejnych pomiarach 1, 2, 3 wynoszą odpowiednio: -1,05 cm, -1,47 cm oraz -2,32 cm, co pokazuje, że bezwzględna zmiana wychylenia wierzchołka wieży spowodowana zmianą temperatury konstrukcji wynosi 1,27 cm. W pomiarze 4 (jesiennym) wartość wychylenia wierzchołka po osi x wynosiła 0,08 cm, więc wychylenie wierzchołka wieży dla pomiaru 3, względem pomiaru 4, wynosi 2,40 cm, co jest wychyleniem bliskim dopuszczalnego.



Rys. 7. Azymuty padania promieni słonecznych na wieżę

Fig. 7. Azimuth of the solar radiation on the tower

Zmiana temperatury konstrukcji wpłynęła również na zmianę kąta skrętu wieży. Maksymalne skręty w pomiarach 1,2,3 zanotowano dla poziomu 7 i wyniosły odpowiednio $-0,80^{\circ}$, $-1,39^{\circ}$, $-1,16^{\circ}$, natomiast skręt wieży dla pomiaru 4 (jesiennego) wyniósł $-0,55^{\circ}$. Kąt skrzywienia wieży dla pomiaru 2 ($-1,39^{\circ}$), w przeliczeniu na odległość kątową talerzyka poziomu 7, wynosi $2,52$ cm, natomiast odległość kątowna, obliczona na podstawie różnicy kątów skrzywienia pomiędzy pomiarami 2 i 4 ($-0,83^{\circ}$), wynosi $1,51$ cm.

5. Wnioski

Z przeprowadzonych badań wpływu nasłoneczniania na wieżę telekomunikacyjną wyciągnąć można następujące wnioski:

- 1) Uzyskane wartości wychyleń wypadkowych dla analizowanej wieży są bliskie wartościom dopuszczalnym (przyjmując kryterium $L/1000$).
- 2) Analiza wyników pomiarów wykazała istotny wpływ nasłonecznienia konstrukcji na zmianę wychylenia osi wieży.
- 3) Dla analizowanej wieży oddziaływanie promieni słonecznych nie wpłynęło znacząco na zmianę wartości maksymalnych wychyleń wypadkowych. Nie można jednak tego uogólnić na inne wieże tego typu.
- 4) Zmiana wychylenia wieży, spowodowana wpływem nasłonecznienia, w stosunku do pomiaru przeprowadzonego w warunkach optymalnych, wynosiła $2,40$ cm. Stanowi to około 80% wychylenia dopuszczalnego, zatem wychylenie wieży spowodowane czynnikiem nasłonecznienia powinno być uwzględniane na etapie ich projektowania.

- 5) Zaobserwowano istotny wpływ nasłonecznienia konstrukcji wieży na jej obrót względem osi. Największe wartości skręcania występują w wierzchołku wieży. Może to być efekt nierównomiernych zmian długości krawężników, które w różny sposób wystawione są na działanie promieni słonecznych.
- 6) Kontynuacja badań obejmować będzie analizy wpływu odchyień i skręceń wież, spowodowanych czynnikiem nasłonecznienia na jakość sygnału przesyłanego i odbieranego przez umieszczone na nich anteny.

Literatura

- [1] Hulimka J., Skwarek M., Dyrek M.: Błędy w projektowaniu, wykonawstwie i utrzymaniu wieży telekomunikacyjnej o wysokości 50 m. XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awaryjne budowle 2007”. Szczecin-Międzyzdroje, maj 2007, s. 585-592.
- [2] Instrukcja ER-01. Eksploatacja wież i masztów. Załącznik do zarządzenia nr 31 Prezesa Zarządu TP SA z dnia 30.06.1994 r., Warszawa 1994.
- [3] PN-ISO 1803:2001 Budownictwo - Tolerancje - Wyrażanie dokładności wymiarowej - Zasady i terminologia.
- [4] PN-EN 1993-3-1:2008 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 3-1: Wieże, maszty i kominy. Wieże i maszty.
- [5] Rykaluk K.: Konstrukcje stalowe. Kominy, wieże, maszty, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.
- [6] Wichtowski B.: Geometria stalowych wież i masztów radiowo-telewizyjnych na podstawie inspekcji okresowych. Budownictwo PN PS, nr 561/2002.
- [7] Wichtowski B.: Rektyfikacja stalowych wież antenowych na podstawie inspekcji okresowych, XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna, Szczecin-Międzyzdroje, maj 2007, s. 665-672.

STUDY OF THE TELECOMMUNICATION TOWER DEFORMATION EXPOSED TO SUNLIGHT

Summary

The research on behavior of the engineering structures by geodetic methods consists in determining the displacement of the structure with respect to the adopted reference system or determining the geometry of individual structural elements or the entire object. They give a view on the changes of structure between the times. Measurement of the tower objects geometry is done cyclically, determining its deviation from the theoretical geometry. Such measurements shall be performed under optimum conditions in which none additional force capable of distorting results shall be allowed on the structure. For telecommunication towers, the axle deviation from the vertical and the angles of rotation at the individual levels are usually tested.

The paper presents the survey results of the telecommunication tower geometry for the three states of its insolation which have been compared with the results obtained from the measurement in the conditions of total cloudiness.

Keywords: displacements measurement, dynamics of tower constructions

Przesłano do redakcji: 19.09.2017 r.

Przyjęto do druku: 15.12.2017 r.