

Tomasz OWERKO, Przemysław KURAS, Łukasz ORTYL, Rafał KOCIERZ

AGH AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, KATEDRA GEODEZJI INŻYNIERYJNEJ I BUDOWNICTWA
Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Wykorzystanie skaningu laserowego do wyznaczania deformacji stalowych wież telekomunikacyjnych

Dr inż. Tomasz OWERKO

Tomasz Owerko jest adiunktem w Katedrze Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH w Krakowie. W pracach badawczych zajmuje się interferometrią radarową, GNSS, TLS, batymetrią, monitoringiem strukturalnym. W dorobku naukowym ma udział w kilku grantach naukowych, jest współautorem trzech monografii oraz licznych artykułów naukowych prezentowanych na konferencjach krajowych i międzynarodowych.

e-mail: owerko@agh.edu.pl



Dr inż. Łukasz ORTYL

Łukasz Ortyl jest adiunktem w Katedrze Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W ramach działalności naukowo-badawczej zajmuje się zastosowaniem metod bezinwazyjnych (georadar, lokalizatory sieci przewodów, termografia, skaniny laserowe, naziemna interferometria radarowa) w zagadnieniach geodezyjnej inwentaryzacji stanu obiektów naturalnych i inżynierskich.

e-mail: ortyl@agh.edu.pl



Dr inż. Przemysław KURAS

Przemysław Kuras jest asystentem w Katedrze Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Jego zainteresowania naukowo-badawcze skupiają się wokół geodezyjnych pomiarów przemieszczeń i odkształceń. W szczególności zajmuje się pomiarami przemieszczeń dynamicznych obiektów budowlanych przy użyciu różnych metod, m.in. naziemnej interferometrii radarowej.

e-mail: kuras@agh.edu.pl



Mgr inż. Rafał KOCIERZ

Rafał Kocierz jest asystentem w Katedrze Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W ramach działalności naukowo-badawczej zajmuje się wpływem oddziaływań czynników atmosferycznych na deformacje obiektów budowlanych (zapory, chłodnie kominowe, kominy) oraz precyzyjnymi pomiarami geodezyjnymi w metrologii przemysłowej.

e-mail: kocierz@agh.edu.pl



Streszczenie

W artykule przedstawiono zastosowanie techniki skaningu laserowego do pomiaru deformacji obiektów wieżowych. Kontrola warunków geometrycznych stalowych wież telekomunikacyjnych zapewnia ich poprawne funkcjonowanie. Technika skaningu laserowego daje nowe możliwości pomiarowe w odniesieniu do dotychczas stosowanych metod. Jej użyteczność została wykazana na przykładzie wybranego pomiaru.

Słowa kluczowe: skaniny laserowe, wieże telekomunikacyjne, pomiary deformacji.

Use of laser scanning for determining deformation of steel telecommunication towers

Abstract

The paper presents use of laser scanning technique for measuring the deformation of tower structures. This technique provides new possibilities of structure measurement in relation to the existing methods. The correct operation of steel telecommunication towers is ensured by controlling their geometric conditions. The standards and instructions specifying the permissible deformation of structures [1, 2] are referenced in the paper. On this basis, the ability of using a laser scanner for measuring the telecommunication tower shape is discussed. Due to the high resolution, the measurement is made in a global manner, and not only in a few selected cross-sections [3, 4]. In addition, the principle of the laser scanner operation is briefly described. Its usefulness is demonstrated on the example of a trihedral tower measurement (Fig. 1). The measured object is represented by a point cloud (Fig. 2), which can be shown using horizontal cross-sections (Fig. 3). In order to calculate the tower core inclination (Tab. 2), the location of steel angles of the core was determined. It was determined at all considered levels as intersections of the lines approximating the external planes of angles (Fig. 4). Whereas the tower core torsion was calculated based on the directions of three core sides at all the analyzed levels (Tabs. 3, 4).

Keywords: laser scanning, telecommunication towers, deformation measurements.

1. Wprowadzenie

Wieże telekomunikacyjne podczas użytkowania podlegają deformacjom, które mogą zakłócić ich prawidłowe funkcjonowanie. Ze względu na konieczność zapewnienia ciągłej łączności obiekty te podlegają kontroli, zabiegom regulacyjnym oraz naprawom w trakcie eksploatacji. Normy budowlane [1] oraz przepisy branżowe [2] zawierają wytyczne dotyczące zachowania warunków geometrycznych, które zapewniają poprawne działanie tego typu obiektów.

Wśród metod pozwalających na ocenę deformacji obiektów wieżowych szczególne znaczenie mają pomiary geodezyjne. Pomiary te, zapewniające wysoką dokładność, umożliwiają wyznaczenie rzeczywistego kształtu obiektów w oparciu o pomiary terenowe. Klasyczne techniki pomiarowe wymagają jednak znacznego nakładu pracy i dają informacje ograniczoną do wybranych punktów obiektu. Nowoczesna technika pomiarowa, jaką jest skaniny laserowe, pozwala na uzyskanie pełnej informacji o aktualnym położeniu budowli.

Skanery laserowe stanowią użyteczne narzędzie w pomiarach różnych obiektów budowlanych [3]. Wśród ich zastosowań na szczególną uwagę zasługuje możliwość prowadzenia pomiarów przemieszczeń i odkształceń [4]. W porównaniu z technikami klasycznymi skaniny laserowe zapewnia bardzo wysoką szczegółowość pomiaru, dzięki czemu może poprawić jakość opracowań wykonywanych w ramach kontroli stalowych obiektów wieżowych.

2. Wymogi dotyczące kontroli wież

Wśród wież telekomunikacyjnych najczęściej spotykane są konstrukcje stalowe posiadające trzon trójścienny lub czterościenne. Wśród elementów ustroju nośnego tych obiektów znajdują się pręty krawężnikowe, czyli pionowe (lub nieznacznie pochylone) belki znajdujące się w narożnikach obiektu. Na podstawie kształtu krawężników prowadzi się analizy dotyczące geometrycznej poprawności położenia wież.

Jednym z podstawowych źródeł informacji na temat prawidłowego funkcjonowania wież telekomunikacyjnych jest instrukcja branżowa poświęcona eksploatacji wież i masztów [2]. Wyróżnia ona dwie klasy wad wież i masztów:

- I – poważne wady, wymagające niezwłocznej naprawy,
- II - wady wpływające na stan konstrukcji, wymagające naprawy w przeciągu roku, chyba że specjalistyczna analiza wykaże bezpieczeństwo konstrukcji.

Wśród podstawowych parametrów geometrycznych zapewniających poprawność funkcjonowania znajdują się: odchylenie osi trzonu od pionu oraz skręcenie trzonu. Zapisy instrukcji określają wartości granicznych odchylenia osi trzonu wieży od pionu. Przekroczenie wartości a kwalifikuje odchylenie jako wadę I klasy, natomiast poniżej wartości a odchylenie jest traktowane jako wada II klasy. Z kolei skręcenie trzonu φ jest odnoszone do średniego przemieszczenia d [5] prętów krawężnikowych na danym poziomie. W przypadku gdy skręcenie, wyrażone poprzez średnie przemieszczenie, przekracza wartość d , jest ono traktowane jako wada I klasy, natomiast poniżej tego poziomu wada jest kwalifikowana do klasy II.

Analogiczne parametry znajdują się w normie budowlanej [1]. Wartości odchyłek montażu podzespołów zostały określone jako:

- dopuszczalne odchylenie wieży od pionu: a_{dop} ,
- dopuszczalne skręcenie przekroju trzonu: φ_{dop} na całej wysokości oraz $\varphi_{i-j, dop}$ na odcinku 3 m, między poziomami i i j .

Wartości dopuszczalnych odchyłek, określone według wyżej wymienionych przepisów, zestawiono w tab. 1. Wielkość L oznacza rozpatrywaną długość pomiarową (dla całej konstrukcji chodzi o wysokość wieży).

Tab. 1. Wartości odchyłek ustawienia trzonu wieży
Tab. 1. The displacement values of the tower core setup

	Wada klasy I [2]	Wada klasy II [2]	Wartości dopuszczalne [1]
Odchylenie wieży od pionu	$a > L/750$	$L/1000 < a \leq L/750$	$a_{dop} = L/1000$
- np. dla wieży 40-metrowej	$a > 53,3$ mm	$40,0$ mm $< a \leq 53,3$ mm	$a_{dop} = 40,0$ mm
Skręcenie przekroju trzonu	$d > L/1000$	$L/2000 < d \leq L/1000$	$\varphi_{dop} = 5^\circ$, $\varphi_{i-j, dop} = 0,5^\circ$
- np. dla wieży 40-metrowej (trzon trójścienny o podstawie 3,5 m)	$d > 40,0$ mm, $\varphi > 1,13^\circ$	$20,0$ mm $< d \leq 40,0$ mm, $0,57^\circ < \varphi \leq 1,13^\circ$ (względem środka geometrycznego podstawy)	$\varphi_{dop} = 5^\circ$, $\varphi_{i-j, dop} = 0,5^\circ$

W szczególnych przypadkach wartość skręcenia trzonu φ nie może przekraczać wartości $0,2^\circ$ ze względu na charakterystykę anten telekomunikacyjnych [6].

Pośród rodzajów wad wież znajdujących się w zestawieniu [2] szczególną uwagę należy zwrócić na geometryczne wady stałowych elementów konstrukcyjnych. Wśród nich znajdują się:

- wygięcie (osi) pręta, którego wartość graniczna, rozgraniczająca wady I i II klasy, wynosi $L/500$,
- plastyczne odkształcenie lokalne ścianki, którego wartość dopuszczalna wynosi 2 mm na długości 1000 mm.

Wielkości te, podobnie jak wyżej wymienione wartości odchyłek ustawienia trzonu wieży, można wyznaczać przy użyciu geodezyjnych technik pomiarowych, a w szczególności techniki skaningu laserowego.

3. Technika skaningu laserowego

Skaning laserowy stanowi nowoczesną technikę pozyskiwania danych przestrzennych i jest związany z pojęciem inżynierii odwrotnej [3], której celem jest geometryczne odtworzenie powierzchni badanego obiektu poprzez jego modelowanie. Skaning laserowy pozwala na uzyskanie współrzędnych X , Y , Z dużych zbiorów punktów, nazywanych chmurami, reprezentujących po-

wierzchnię mierzonych obiektów, np. budowlanych. Dodatkową informacją jest intensywność odbicia wiązki lasera od obiektu.

Działanie skanera laserowego opiera się na wyznaczeniu przestrzennego położenia punktów na podstawie pomiaru współrzędnych biegunowych, czyli odległości, azymutu i kąta pionowego do punktów obiektu. Promień lasera, wykorzystywany do pomiaru odległości, jest wysyłany przez skaner a następnie odbijany przez lustro obracające się wokół osi poziomej z określoną prędkością. Jednocześnie, w trakcie pomiaru instrument obraca się wokół swojej pionowej osi głównej. W ten sposób pozyskiwane są współrzędne od kilku do kilkuset tysięcy punktów na sekundę, w zależności od typu skanera. W zaprezentowanych badaniach wykorzystano skaner impulsowy Leica C10 (rys. 1), który pozwala na pomiar do 50 000 punktów na sekundę. Skaner impulsowy, w porównaniu ze skanerami fazowymi i optycznymi, zapewnia wysoki zasięg pomiaru, który zależy od albedo, czyli stosunku promieniowania odbitego do padającego. Dla użytego skanera zasięg jest określony jako 300 m (przy 90-procentowym albedo) albo 134 m (przy albedo równym 18%). Pomiar odległości odbywa się na podstawie pomiaru czasu pomiędzy wysłaniem impulsu a jego powrotem.



Rys. 1. Skaner laserowy Leica C10 podczas pomiaru wieży stalowej
Fig. 1. Leica C10 laser scanner during steel tower measurements

Dokładność pomiaru pozycji pojedynczego punktu (uwzględniająca dokładność pomiaru odległości i kątów) wynosi 6 mm, natomiast odchylenie standardowe wpasowania powierzchni modelu w pomierzoną chmurę punktów określane jest na poziomie 2 mm.

Użyty skaner pozwala na ustawienie gęstości siatki pokrywającej badany obiekt. Definiuje się ją dla określonej odległości, np. 100 m, dlatego nie jest możliwe zeskanowanie całego obiektu z jednakową rozdzielczością [7]. Rozdzielczość nie ma wpływu na uzyskaną dokładność pomiaru.

Dzięki bardzo gęstemu pokryciu powierzchni mierzonego obiektu, technika skaningu laserowego pozwala na szczegółowe zobrazowanie jego powierzchni. Na podstawie współrzędnych punktów stanowiących chmurę (o liczebności rzędu kilku milionów) możliwe jest modelowanie kształtu obiektu w dowolnym miejscu. Ten fakt ma szczególne znaczenie w świetle wymogu sprawdzania skręcenia przekroju trzonu masztu co 3 m [1]. Położenie krawężników masztu można wyznaczyć poprzez matematyczną aproksymację prostej poziomej w zbiór punktów reprezentujących dany poziom, począwszy od poziomu odniesienia, względem którego wyznaczane jest położenie krawężników na dowolnym wyższym poziomie.

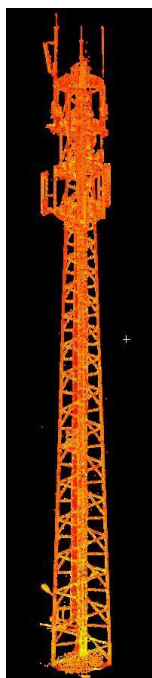
Podobnie w przypadku wyznaczenia odchylenia wieży od pionu, zadanie to jest możliwe do zrealizowania na dowolnym poziomie względem poziomu odniesienia. Ponadto, określenie położenia elementów konstrukcyjnych wieży (np. belek stalowych) jest możliwe poprzez wpasowanie modeli geometrycznych w odpowiednio wyselekcjonowaną chmurę punktów. Uzyskane w ten sposób odchyłki chmury punktów względem wyaproksymowanego modelu dają informację o odkształceniach elementów konstrukcyjnych i mogą służyć do szczegółowych analiz obiektu.

4. Wyznaczenie deformacji kształtu wieży

Przedmiotem pomiaru była wieża o wysokości 45 m, stanowiąca bazową stację przekąźnikową (BTS). Obserwowana konstrukcja posiada trójścienny trzon o podstawie 3 m zwężający się ku górze.

Aby zapewnić jak najlepszą widoczność obserwowanego obiektu i uniknąć wzajemnego przesłaniania elementów konstrukcji, wieża została zeskanowana z pięciu stanowisk. Wzajemne powiązanie zostało zrealizowane na podstawie pomiaru 7 tarcz HDS (6- oraz 3-calowych), które pozostawały nieruchome podczas trwania pomiaru i były widoczne z wielu stanowisk skanera. Na podstawie wyrównania dla każdego stanowiska skanera obliczono parametry transformacji, tj. trzy parametry translacji oraz jeden parametr obrotu wokół osi pionowej. Parametry obrotu wokół osi OX i OY zostały założone na podstawie danych z kompensatora, którego zadaniem jest zapewnienie poziomości osi OX i OY . Na wszystkich stanowiskach skaner był spoziomowany, a wychylenie osi głównej nie przekraczało zakresu działania kompensatora. Średnia wartość wektora błędów dla tarcz HDS wyniosła 3,1 mm (1,4 mm w płaszczyźnie poziomej oraz 2,4 mm dla wysokości). Maksymalna wartość wektora błędów osiągnęła 7 mm (odpowiednio 3 mm w płaszczyźnie poziomej oraz 6 mm w płaszczyźnie pionowej).

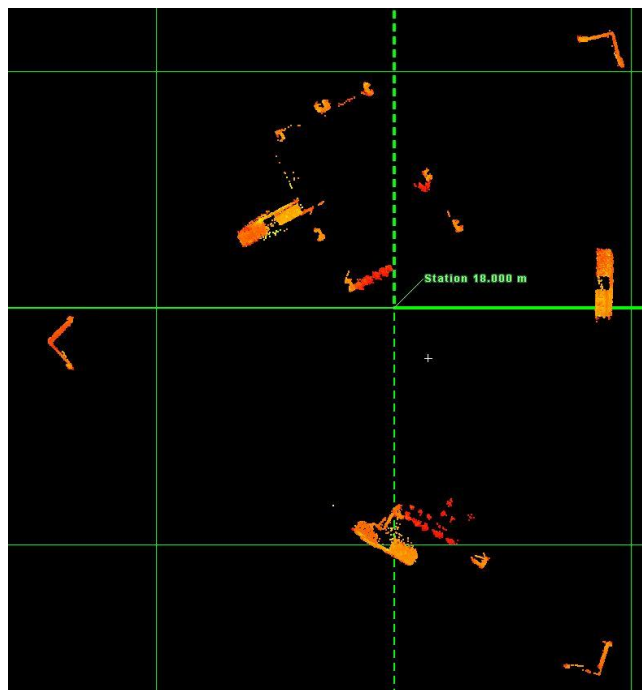
W wyniku połączenia zbiorów punktów zeskanowanych ze wszystkich stanowisk, otrzymano chmurę punktów reprezentującą obiekt (rys. 2). Ustawione parametry skanowania pozwoliły na uzyskanie rozdzielczości pomiaru na poziomie wynoszącym średnio ok. 4 mm. Wartość ta nie wpływa na dokładność pomiaru – możliwe jest skanowanie z rozdzielczością nawet 1 mm przy niezmienniej dokładności pomiaru pojedynczego punktu (rzędu 6 mm).



Rys. 2. Skaner laserowy Leica C10 podczas pomiaru wieży stalowej
Fig. 2. Leica C10 laser scanner during steel tower measurements

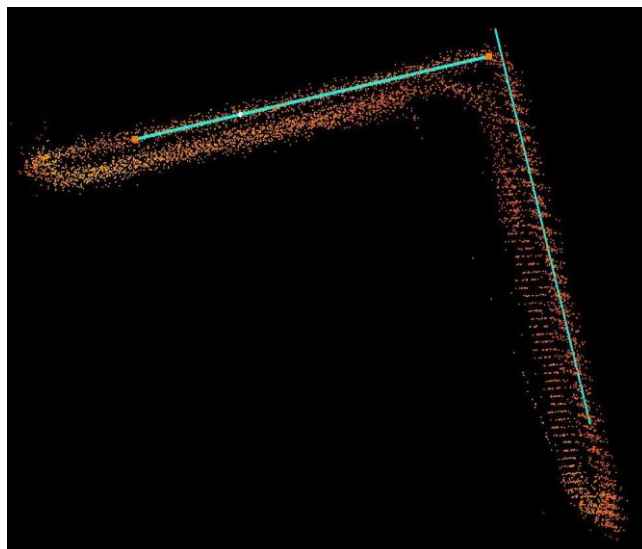
Po wykonaniu procesu połączenia chmur punktów (zwanego rejestracją) możliwe było wykonanie przekrojów płaszczyzną poziomą na określonych poziomach wzdłuż osi pionowej. Aby

obliczyć określone w normie [1] parametry wychyleń oraz skręceń konstrukcji wieży, zaprojektowano przekroje płaszczyzną poziomą rozmieszczone co 3 metry. Przykładowy przekrój (na wysokości 18 m) przedstawiono na rys. 3. Wyraźnie widoczne są przekroje przez krawężniki wieży (po lewej stronie oraz w prawym górnym i prawym dolnym narożniku).



Rys. 3. Przekrój płaszczyzną poziomą przez chmurę punktów reprezentującą wieżę
Fig. 3. The horizontal cross-section of a point cloud representing the tower

Kształt trzonu wieży opisano poprzez identyfikację położenia belek stalowych, stanowiących krawężniki wieży. Wykorzystane zostały zbiory punktów reprezentujących powierzchnię belek stalowych (kątowników). Dzięki wykonaniu skanowania z wielu stanowisk, możliwe było zobrazowanie powierzchni tych belek (kątowników) zarówno od strony zewnętrznej, jak i wewnętrznej. W celu wyznaczenia parametrów kształtu wieży na wybranych poziomach, w zewnętrzne powierzchnie krawężników dokonano wpasowania prostych (rys. 4). Odpowiednie oprogramowanie umożliwia przeprowadzenie tego procesu w sposób automatyczny, z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów.



Rys. 4. Wpasowanie linii odzwierciedlających zewnętrzną płaszczyznę kątownika
Fig. 4. Fitting the lines representing the angle external plane

Konstrukcja stalowa mimo swojej sztywności deformuje się w zakresie wychyleń ze względu na: zmęczenie materiału, błędy montażowe, czynniki atmosferyczne i błędy wykonania elementów prefabrykowanych. Dlatego, aby w pełni odzwierciedlić aktualny stan geometryczny konstrukcji, dane pomiarowe zostały opracowane w zakresie wychyleń i skręceń poszczególnych segmentów oraz w zakresie wychyleń i skręceń całego obiektu.

W celu obliczenia wychyleń masztu wyznaczono położenie krawężników trzonu na wszystkich rozpatrywanych poziomach jako punkty przecięcia linii, zgodnie z rys. 4. Linie na rys. 4 nie przecinają się, gdyż tak zostały wyestymowane na podstawie dostępnej chmury punktów. Nie jest możliwe automatyczne wygenerowanie linii przecinających się.

Następnie w trójkąty, utworzone dla wszystkich poziomów przez punkty przecięcia linii, wpisano okręgi. Lokalne wychylenia kolejnych 3-metrowych segmentów wzdłuż osi X i Y (ΔX_{lok} , ΔY_{lok}) oraz ich wychylenia względem podstawy wieży (ΔX_{glob} , ΔY_{glob}) wyznaczono analizując zmiany położenia środków okręgów. Wartości te zebrano w tab. 2. Zgodnie z [2], poziom odniesienia oznaczony jest jako „0” i znajduje się u dołu tabeli. Analizy wykonano dla 8 poziomów. Na wyższych poziomach elementy konstrukcyjne oraz anteny zasłoniły znaczną część krawężników, przez co dalsze analizy byłyby niepełne. Wychylenia wypadkowe ΔXY_{glob} dla wszystkich segmentów powyżej segmentu 2-3 przekraczają wartości a , co kwalifikuje je do wad klasy I [2].

Wartości a obliczono na podstawie wysokości rozpatrywanych poziomów. Wychylenia lokalne oznaczają wychylenia j -tego poziomu względem poziomu i -tego, natomiast wychylenia globalne to wychylenia poziomu j -tego względem referencyjnego.

Tab. 2. Wyznaczone wartości wychyleń trzonu wieży
Tab. 2. The determined values of the tower core inclination

Nr segmentu, $i-j$	ΔX_{lok} [mm]	ΔY_{lok} [mm]	ΔX_{glob} [mm]	ΔY_{glob} [mm]	ΔXY_{glob} [mm]	a [mm]
7-8	-5,9	-3,1	8,1	-33,1	34,1	32,0
6-7	-4,4	-5,7	14,0	-30,0	33,1	28,0
5-6	6,6	0,1	18,4	-24,3	30,5	24,0
4-5	1,6	-9,7	11,8	-24,4	27,1	20,0
3-4	5,0	-6,5	10,2	-14,7	17,9	16,0
2-3	2,7	-3,9	5,2	-8,2	9,7	12,0
1-2	0,6	-3,2	2,5	-4,3	5,0	8,0
0-1	1,9	-1,1	1,9	-1,1	2,2	4,0

Przekrój badanej wieży ma kształt trójkąta, którego każdy bok ma określony kierunek. Kierunki, wyznaczone w lokalnym układzie współrzędnych, zebrano w tab. 3. Dla j -tego przekroju można porównać kierunki boków trójkąta z odpowiadającymi im kierunkami boków na poziomie i -tym. Na tej podstawie wyznaczono skręcenia 3-metrowych segmentów trzonu według wzoru:

$$\varphi_{i-j} = k_j - k_i, \quad (1)$$

gdzie: k_i , k_j – kierunki krawędzi trzonu na sąsiednich poziomach i , j .

Wartości skręceń segmentów φ_{i-j} dla wszystkich krawędzi oraz ich wartość średnią zamieszczono w tab. 4.

Tab. 3. Wyznaczone azymuty boków trzonu wieży
Tab. 3. The determined azimuths of the tower core sides

Nr poziomu, i	k_i krawędzi 1 [°]	k_i krawędzi 2 [°]	k_i krawędzi 3 [°]
8	91,59	331,74	211,72
7	91,27	331,44	211,28
6	91,03	331,15	211,16
5	90,95	331,09	211,01
4	91,24	331,31	211,17
3	91,44	331,49	211,46
2	91,50	331,45	211,46
1	91,50	331,48	211,48
0	91,37	331,38	211,38

Tab. 4. Wyznaczone wartości skręcenia segmentów trzonu wieży
Tab. 4. The determined values of the tower core segments torsion

Nr segmentu, $i-j$	φ_{i-j} krawędzi 1 [°]	φ_{i-j} krawędzi 2 [°]	φ_{i-j} krawędzi 3 [°]	φ_{i-j} średnie [°]
7-8	0,32	0,29	0,44	0,35
6-7	0,24	0,30	0,12	0,22
5-6	0,07	0,06	0,15	0,09
4-5	-0,29	-0,22	-0,16	-0,23
3-4	-0,19	-0,18	-0,28	-0,22
2-3	-0,06	0,04	0,00	-0,01
1-2	0,00	-0,03	-0,02	-0,02
0-1	0,12	0,10	0,10	0,11
			$\Sigma =$	0,30

W analizowanym przypadku skręcenie najwyższego poziomu (nr 8) względem podstawy wieży (poziomu „0”), obliczone jako suma lokalnych skręceń średnich, wyniosło 0,30°. Na podstawie wyników zamieszczonych w tab. 4 można stwierdzić, że badana wieża spełnia wymogi stawiane przez normę [1]. Na niektórych poziomach wartość skręcenia trzonu φ_i przekracza jednak $\pm 0,2^\circ$. Dla szczególnych typów wież telekomunikacyjnych takie wartości skręceń mogą wpływać niekorzystnie na ich poprawne funkcjonowanie [6].

5. Podsumowanie

Konieczność prowadzenia okresowych kontroli kształtu wież telekomunikacyjnych, określona w normach budowlanych i przepisach branżowych, skłania do poszukiwania metod pomiarowych wnoszących bogatszą informację na temat badanych obiektów. Nowoczesna technika skaningu laserowego dzięki wysokiej rozdzielczości pomiaru pozwala na pozyskiwanie pełnej informacji o stanie obiektu.

Interpretacja wyników pomiaru przykładowej wieży telekomunikacyjnej pozwala stwierdzić, że skaningu laserowego umożliwia wyznaczenie parametrów określających ustawienie trzonu wieży, zdefiniowanych w istniejących przepisach. Właściwe przetworzenie dużej ilości danych pomiarowych pozwala również na uzyskanie znacznie bogatszej informacji na temat obiektu w porównaniu z dotychczas stosowanymi metodami.

Badania wykonano w ramach realizacji badań statutowych AGH nr 11.11.150.005.

6. Literatura

- [1] Polska Norma PN-B-03204:2002. Konstrukcje stalowe – Wieże i maszty – Projektowanie i wykonanie.
- [2] Telekomunikacja Polska S.A., Instrukcja ER-01. Eksploatacja wież i masztów, Załącznik do Zarządzenia nr 31 Prezesa Zarządu TP S.A. z dn. 30.06.1994, Warszawa, 1994.
- [3] Tang P., Huber D., Akinci B., Lipman R., Lytle A.: Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques, Automation in Construction, nr 19, 2010.
- [4] Kamiński W., Bojarowski K., Dumalski A., Mroczkowski K., Trystuła J.: Ocena możliwości wykorzystania skanera laserowego ScanStation firmy Leica w badaniu deformacji obiektów budowlanych, Czasopismo Techniczne, nr 19/2008.
- [5] Wichtowski B., Filoniuk B.: Skręcenie trzonu wież antenowych w świetle pomiarów geodezyjnych, XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awary Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 26-29.05.2009.
- [6] Rykaluk K.: Konstrukcje stalowe. Kominy, wieże, maszty, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2007.
- [7] Ćmielewski B., Mąkowski K.: Porównanie geodezyjnych metod klasycznych oraz technologii HDS do określenia odkształceń kratowej konstrukcji masztu, Wiadomości Konserwatorskie, nr 26/2009.

otrzymano / received: 19.09.2012

przyjęto do druku / accepted: 01.11.2012

artykuł recenzowany / revised paper