

Bartłomiej Ćmielewski*
Krzysztof Mąkolski**

Porównanie geodezyjnych metod klasycznych oraz technologii HDS do określenia odkształceń kratowej konstrukcji masztu

Comparison of classic geodetic methods and HDS technology for determination of strains in truss construction mast

1. Wprowadzenie

Rozwój sieci teleinformatycznych, a co za tym idzie ich technologii, wpływa na coraz większe zapotrzebowanie na obiekty wysmukłe. Ze względu na niebezpieczeństwa, jakie wiążą się z deformacjami takich konstrukcji, niezbędna jest stała kontrola ich usytuowania [2,4]. Wyniki będące efektem pomiarów kontrolnych muszą być rzetelnym i pewnym źródłem informacji o odchyłkach, aby móc stwierdzić wystąpienie stanu zagrożenia [1]. Od wyników tych prac zależą w znacznej mierze działania podejmowane z użytkowaniem konstrukcji.

Realizacja tych prac może przebiegać przy użyciu wielu metod i różnego sprzętu. Na podstawie pomiaru odchyłek usytuowania masztu porównano dokładności i skuteczności trzech metod. Pierwsza – metoda tradycyjna, polegająca na pomiarze kierunków; druga – metoda zmodyfikowana, wykorzystująca bezlustrowy pomiar odległości oraz trzecia – przy użyciu naziemnego skanera laserowego. Pierwsze dwie wykonano przy użyciu tachymetru elektronicznego, natomiast trzecia za pomocą skanera laserowego 3D.

2. Opis obiektu badań

Przedmiot badań znajduje się w okolicy Wrocławia w rejonie Wzgórz Trzebnicko-Ostrzeszowskich (Kocie Góry). Maszt zbudowany jest z trój-

1. Introduction

Development of telephone and informatics networks, and what follows it, their technology, influences on more and more bigger demand for tall objects. Due to the dangers accompanying deformations of such constructions it is necessary to keep control over the location thereof [2, 4]. The results obtained in supervisory measurements must be a reliable and sure source of information about any deviations, to enable us to find out the occurrence of the state of endangerment [1]. The actions undertaken when using such constructions depend to considerable extent on the results of these works.

Realization of these works may be executed with the use of many methods and various equipment. Precision and effectiveness of three methods were compared on the basis of measurement of deviations of the location of the mast. The first – a traditional method, consisting in measurement of directions; the second – a method modified, using measurements of distance without a reflector and the third – with the use of a terrestrial laser scanner. Two first were made with the use of electronic tachymeter, whereas the third method with the use of a 3D laser scanner.

2. Description of the object of investigations

The object of investigations is situated in the neighborhood of Wrocław in the region of Trzebnicko-Ostrzeszowskie Hills (Kocie Góry). The mast



Rys. 1. Widok ogólny obiektu badań
Fig 1. A general view of the mast

kątnej kratownicy o boku 0,60 m, zmontowanej z okrągłych rur o średnicy 30mm. Wysokość masztu wynosi 60,0 m. Jest on zabezpieczony czterema kompletami lin odciągowych, zawieszonymi odpowiednio na 12, 24, 42 oraz 60 metrze konstrukcji (rys. 1).

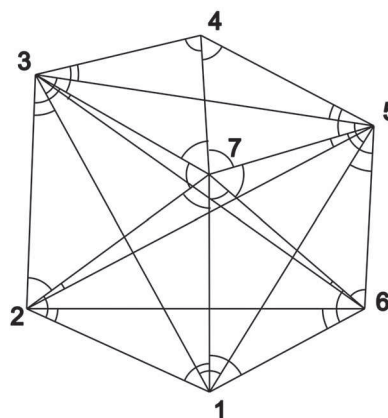
3. Omówienie wyników obserwacji osnowy pomiarowej

Osnowę pomiarową, stanowiącą podstawę dla określenia przestrzennego usytuowania masztu, stanowi 7 punktów, z których 6 rozmieszczonych zostało wokół masztu, a siódmy w pobliżu obiektu w celu wzmocnienia konstrukcji tej osnowy. Szkic osnowy pomiarowej przedstawiono na rys 2.

Pomiar osnowy, jak również i pomiary konstrukcji masztu zrealizowano tachymetrem elektronicznym firmy Leica TCRP 1203 o parametrach pomiarowych:

- powiększenie lunety: 30×,
- dokładność pomiaru kierunku: 3'' – 10^{cc},
- dokładność pomiaru odległości z lustrem: 1mm + 1,5 mm/km,
- dokładność pomiaru odległości bez lustra: 2 mm + 2 mm/km
- zasięg na lustro: do 3000m,
- zasięg w pomiarze bezlustrowym: do 300m.
- zastosowany w pomiarze bezlustrowym laser posiadał wiązkę o barwie czerwonej.

Czas wykonania pomiaru wynosił około 7 godzin. Po pomiarach terenowych obliczono osnowę pomiarową w kilku różnych kombinacjach. Warianty te różniły się między sobą wyborem poszczególnych obserwacji oraz ich ilością. Celem tego zabiegu było porównanie rezultatów uzyskanych dla sieci kątowej, sieci liniowej oraz kombinacji kątowo-liniowej (rys. 3). Dokładniejszym rozwiązaniem okazało się użycie sieci liniowej. Następnie przeprowadzono symulacje z zawężoną



Rys. 2. Szkic osnowy pomiarowej masztu
Fig. 2. A sketch of a measurement network

is built from the triangular truss of the side length 0.60 m, assembled from round pipes of 30 mm in diameter. The height of the mast is 60.0 m. It is secured with four sets of stay ropes, attached respectively at the height of 12, 24, 42 and 60 meter of its construction (fig. 1).

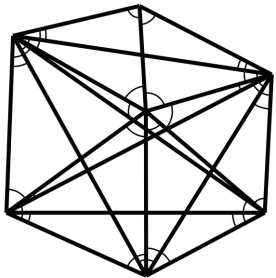
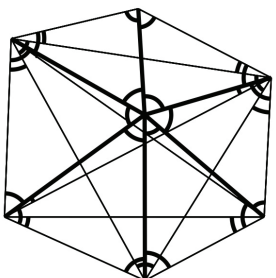
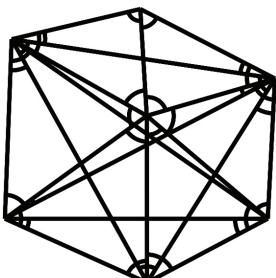
3. Discussion of the results of the observation of the measurement matrix

The measurement matrix making up the basis for determination of the spatial location of the mast consists of 7 points, out of which 6 were disposed around the mast, and the seventh near the object in order to make the construction of this matrix firmer. The draft of the measuring matrix has been introduced in fig. 2.

The measurements of the matrix and the measurements of the construction of the mast were realized with the use of electronic tachymeter of the firm Leica TCRP 1203 having the following measuring parameters:

- magnification of the telescope: 30×,
- precision of the measurement of the direction: 3'' – 10^{cc},
- precision of the measurement of distance with a reflector: 1mm + 1.5 mm/km,
- precision of the measurement of distance without a reflector: 2mm + 2 mm/km
- range to the reflector: up to 3000 m,
- range in the measurement without a reflector: up to 300 m.
- the laser applied in the measurement without a reflector had the beam of red color.

The time of the realization of a measurement was about 7 hours. The measuring matrix was calculated in several different combinations after the field measurements had been accomplished. These variants differed from each other in the choice of individual observations and their number. The objective of such proceeding was to compare the results obtained for angular network, for linear network and for a combination of an-

| Sieć liniowa | Sieć kąтова | Sieć kątowno-liniowa |
|---|---|---|
| Linear network | Angular network | Linear-angular network |
|  |  |  |

Rys. 3. Warianty rozwiązania osnowy
Fig. 3. Variant solutions for measurement network

ilością obserwacji, co mogłoby wynikać z możliwych, występujących w terenie przeszkód.

Oprócz wspomnianych wcześniej wariantów rozwiązania osnowy pomiarowej, wykonano również obliczenia dla osnowy w kształcie rozety (nie posiadającej przekątnych) oraz dla osnowy w kształcie trójkąta (nie posiadającego punktu centralnego).

Biorąc pod uwagę wszystkie przedstawione warianty symulacyjne, widoczne jest, że dużo dokładniejsze wyniki otrzymuje się w przypadku wykorzystania do obliczeń obserwacji liniowych. Błędy położenia punktu wahają się tu w zakresie od 0,2 mm do 0,4 mm (tab. 1). Natomiast przy rozwiązaniu kątowym błędy mieszczą się w między 0,6mm, a 1,0 mm (tab. 1, tab. 2). Zestawiając wartości współrzędnych punktów osnowy, uzyskanych w poszczególnych wersjach, można stwierdzić, że ich maksymalne różnice nie przekraczają 0,7 mm (tab. 2).

4. Pomiar odkształceń masztu metodą trygonometryczną

Pomiary konstrukcji wykonano na pięciu poziomach – przy podstawie, na trzech poziomach pośrednich oraz na szczycie, celując na środek rury konstrukcji masztu. Do pomiarów metodą trygonometryczną użyto tachymetru elektronicznego firmy Leica TCRP1203. Oprócz obserwacji kierunków mierzono również odległości wykorzystując pomiar bezlusterkowy. Po wykonaniu obserwacji połowych obliczenie współrzędnych punktów kontrolowanych konstrukcji masztu przeprowadzono również w kilku wariantach. W tym przypadku najlepsze wyniki uzyskano wykorzystując do obliczeń tylko obserwacje kierunków ze wszystkich punktów osnowy pomiarowej. Dla sprawdzenia poprawności wyznaczania współrzędnych punktów kontrolowanych, w warunkach ograniczonej dostępności do obiektu, wykonano obli-

gular-linear network. (fig. 3). The use of the linear network turned out to be a more precise solution. Then simulations were conducted with the restricted number of observations, which might happen as the result of possible obstacles occurring in the field.

In addition to the earlier mentioned variants of solution of the measurement matrix, the calculations were also made for the matrix in the shape of a rosette (not possessing diagonals) and for the matrix in the shape of a triangle (without the central point).

Taking under consideration all the presented simulating variants, it becomes evident that a lot more precise results are obtained in the case of using linear observations to the calculations. Here the errors of the bearings of a point oscillate within the range from 0.2 mm to 0.4 mm (table 1). However, errors for the angular solution are within the range between 0.6 mm and 1.0 mm (table 1, table 2). When comparing the values of the co-ordinates of the points of the matrix obtained in individual versions, one can state that their maximum differences do not exceed 0.7 mm (table 2).

4. Measurements of the strains of the mast by the trigonometric method

Measurements of the construction were executed at 5 levels – near the base of the mast, at three intermediate levels and at the top, taking aim at the centre of the mast construction pipe. For measurements by the trigonometric method an electronic tachymeter of the firm Leica TCRP1203 was used. In addition to the observation of directions, the distances were also measured using the measurement without reflector. Having accomplished the observations in the field, the calculation of the co-ordinates of the controlled points of the mast construction were also calculated in several variants. In this case the best results were obtained by using to the calculations only the observations of directions from all the points of the measuring matrix. In order to prove the correctness of the determination of co-ordinates of the points controlled, in the conditions of restricted accessibility to

Tab. 1. Błędy położenia punktów osnowy w zależności od rozwiązania osnowy
Errors of location of network points for each measurement network solution

| Numer punktu Point No | Obserwacje liniowe Linear observations | | | Obserwacje kątowe Angular observations | | | Obserwacje liniowo-kątowe Linear-angular observations | | |
|------------------------------------|---|------|------|---|------|------|--|------|------|
| | mx | my | mp | mx | my | mp | mx | my | mp |
| | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| 2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 1,0 | 0,8 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 |
| 3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 1,3 | 0,8 | 1,5 | 0,2 | 0,2 | 0,3 |
| 4 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 1,1 | 1,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| 5 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 1,2 | 0,6 | 1,3 | 0,2 | 0,1 | 0,2 |
| 6 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 1,0 | 0,9 | 1,4 | 0,3 | 0,1 | 0,3 |
| Wartości średnie Average values | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,9 | 0,8 | 1,3 | 0,2 | 0,1 | 0,3 |

Tab. 2. Różnice współrzędnych uzyskanych pomiędzy poszczególnymi rozwiązaniami osnowy
Variation of coordinates obtained from individual measurement network solutions

| Numer punktu Point No | Obserwacje liniowe Linear observations | | Obserwacje kątowe Angular observations | | | | Obserwacje liniowo-kątowe Linear-angular observations | | | |
|------------------------------------|---|----------|---|----------|------|------|--|----------|------|------|
| | X | Y | X | Y | dx | dy | X | Y | dx | dy |
| | [m] | [m] | [m] | [m] | [mm] | [mm] | [m] | [m] | [mm] | [mm] |
| 2 | 129.1390 | 37.6931 | 129.1397 | 37.6926 | 0,70 | 0,50 | 129.1390 | 37.6931 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | 208.9867 | 40.4602 | 208.9872 | 40.4605 | 0,50 | 0,30 | 208.9867 | 40.4602 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 222.4355 | 97.3992 | 222.4354 | 97.3981 | 0,10 | 1,10 | 222.4355 | 97.3990 | 0,00 | 0,20 |
| 5 | 191.0073 | 156.9385 | 191.0074 | 156.9379 | 0,10 | 0,60 | 191.0074 | 156.9385 | 0,10 | 0,00 |
| 6 | 128.3436 | 153.5445 | 128.3445 | 153.5449 | 0,90 | 0,40 | 128.3437 | 153.5445 | 0,10 | 0,00 |
| Wartości średnie Average values | | | | | 0,46 | 0,58 | | | 0,04 | 0,04 |

gdzie dx, dy – różnice pomiędzy współrzędnymi z obserwacji liniowych a poszczególnych rozwiązań.
 wherein: dx, dy – differences between the coordinates obtained from linear observations for individual solutions.

czenia współrzędnych. Wykorzystano w tym celu obserwacje kierunków tylko z trzech wybranych stanowisk oraz obserwacje odległości z trzech innych punktów osnowy. Przeprowadzono też obliczenia dla wcięć kątowno-liniowych zrealizowanych z dwóch stanowisk.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że pomiar metodą kierunkową (tab. 3) daje najlepsze rezultaty (0,9 mm ÷ 1,4 mm), dla porównania przy pomiarze bezlustrowym uzyskane błędy wahały się od 3,3 mm do 3,9 mm. W przypadku gdy w terenie występują utrudnienia związane z właściwym rozmieszczeniem osnowy pomiarowej poprawne wyniki można także uzyskać z pomiaru biegunowego (1,3 mm ÷ 2,0 mm). Sposób ten można stosować przy wykonywaniu rektyfikacji [3] przestrzennego usytuowania obiektów wysmukłych.

Uzyskiwane wyniki dla innych obiektów będą różne ze względu na specyfikę konstrukcji. Dla obiektów zbudowanych z rur dokładność będzie determinować średnica rury a w przypadku konstrukcji z kątowników identyfikacja krawędzi.

the object, the calculations of co-ordinates were made. The observations of directions used in this purpose were those taken from only three chosen positions together with the observations of distance from three other points of the matrix. Calculations were also conducted for angular-linear intersections realized from two measurement positions.

The results of the analyses that were carried out show that measurement by direction method (table 3) gives the best results (0.9 mm ÷ 1.4 mm); compare this with the errors from 3.3 to 3.9 mm that occurred for the measurement without a reflector. In the case when there occur difficulties in correct positioning of the measurement matrix in the field, one can also get correct results from the polar measurement (from 1.3 mm to 2.0 mm). One can use this way for executing an adjustment [3] of the spatial location of tall objects.

The results obtained for different objects will be different because of the specificity of the constructions. For the objects built from pipes the pipe diameter will determine precision and in the case of

Tab. 3. Zestawienie współrzędnych (X, Y) osi rur na poszczególnych poziomach wraz z ich błędami – pomiar metodą kierunkową
Coordinates (X, Y) of the axes of the pipes at individual levels with their errors – measurements using the direction method

| Numer punktu <i>Point number</i> | X wyr. | Y wyr. | mx | my | mp |
|--|----------|----------|------|------|------|
| | [m] | [m] | [mm] | [mm] | [mm] |
| 1A | 164.0358 | 106.3311 | 0.8 | 0.7 | 1.1 |
| 1B | 164.0612 | 105.7351 | 0.6 | 0.6 | 0.9 |
| 1C | 164.5643 | 106.0584 | 0.8 | 0.6 | 1.0 |
| 2A | 163.9777 | 106.2176 | 0.7 | 0.7 | 1.0 |
| 2B | 164.0378 | 105.6218 | 0.6 | 0.7 | 1.0 |
| 2C | 164.5217 | 105.9707 | 1.0 | 0.9 | 1.4 |
| 3A | 163.9343 | 106.0885 | 0.7 | 0.7 | 1.0 |
| 3B | 164.0185 | 105.4932 | 0.8 | 0.8 | 1.1 |
| 3C | 164.4861 | 105.8621 | 0.9 | 0.7 | 1.1 |
| 4A | 163.8668 | 105.9995 | 0.9 | 1.0 | 1.4 |
| 4B | 163.9806 | 105.4112 | 0.8 | 0.8 | 1.1 |
| 4C | 164.4325 | 105.8084 | 1.0 | 0.9 | 1.3 |
| 5A | 163.8045 | 105.9194 | 0.8 | 0.6 | 1.0 |
| 5B | 163.9341 | 105.3391 | 0.7 | 0.8 | 1.0 |
| 5C | 164.3725 | 105.7372 | 0.8 | 0.8 | 1.2 |
| Wartości przeciętne <i>Average values</i> | | | 0.8 | 0.8 | 1.1 |

Dla sprawdzenia poprawności uzyskanych wyników przeprowadzono analizę w oparciu o wzory (1, 2).

the construction made from angle sections the identification of the edges will determine it.

The analysis was conducted to prove correctness of the obtained results, on the basis of the formulae (1, 2).

$$M_p = r \times m_p \leq R \times P \quad (1)$$

gdzie: M_p – błąd graniczny wyznaczenia przemieszczenia,
 P – graniczne przemieszczenie określone dla danego obiektu w projekcie technicznym lub w odpowiednich przepisach techniczno-eksploatacyjnych,
 R – parametr określający jaką częścią granicznego przemieszczenia (P) może być błąd graniczny jego wyznaczenia (M_p),
 m_p – błąd średni wyznaczenia przemieszczenia,
 r – współczynnik, którego wartość zależy od wymaganego prawdopodobieństwa poprawności wyników oraz od stopnia przypadkowości błędów pomiarów służących do wyznaczenia przemieszczenia.

wherein: M_p – the boundary error of determining the dislocation,
 P – the boundary dislocation as determined for the given object in the technical design or in respective technical – exploitation regulations,
 R – the parameter defining what part of the boundary dislocation of (P) can be the boundary error of determining thereof (M_p),
 m_p – the average error of determining the dislocation,
 r – the coefficient whose value depends on the required probability of correctness of the results and on the extent of randomness of the errors of measurements used to determine the dislocation.

$$a \leq h/1000 \quad (2)$$

gdzie: a – dopuszczalne wychylenie masztu (przemieszczenie graniczne),
 h – wysokość masztu.

wherein: a – admissible deflection of the mast (boundary dislocation),
 h – the height of the mast.

Przyjmując rzeczywistą wysokość masztu: $h = 60,00$ m, a parametr $R = 0,1$ oraz zakładając duże prawdopodobieństwo poprawności uzyskanych wyników, na poziomie ufności $P = 0,997$ (parametr $r = 3$), otrzymamy wartość błędu średniego wyznaczenia przemieszczenia równą 1,8 mm. Ana-

Accepting the actual height of the mast: $h = 60.00$ m, and the parameter $R = 0.1$ and assuming large probability of correctness of the results obtained, at the level of confidence $P = 0.997$ (parameter $r = 3$), the obtained value of the average error of determining the dislocation will be 1.8 mm.

lizując uzyskane wyniki z poszczególnych wariantów można stwierdzić, że kryterium dokładnościowe jest spełnione tylko w przypadku metody pomiaru kierunków. W przypadku kombinacji kątowo-linowej oraz pomiarów liniowych uzyskane błędy dwukrotnie przekraczały zakładane dokładności. Wynika z tego, że w przypadkach wystąpienia dużych trudności w poprawnym założeniu osnowy pomiarowej można wykorzystać, w prowadzonych obserwacjach obiektów wysmukłych, również i pomiary odległości wykonane sposobem bezlustrowym.

5. Pomiar odkształceń masztu przy użyciu naziemnego skanera laserowego

Maszt pomierzono również za pomocą naziemnego skanera laserowego ScanStation (rys. 4), charakteryzującego się następującymi danymi technicznymi:

- dokładność pomiaru kierunków: 60 mikroradianów – 40^{cc},
- dokładność pomiaru odległości: 4 mm,
- dokładność pomiaru pojedynczego punktu w przestrzeni trójwymiarowej: 6 mm,
- wbudowany kompensator o rozdzielczości: 1^{''},
- metoda pomiaru impulsowa wykorzystująca laser o widzialnej wiązce w kolorze zielonym,
- wielkość plamki lasera przy odległości 50m – 5 mm,
- maksymalna zadana rozdzielczość skanowania w poziomie i pionie: 1 mm,
- zakres pola widzenia skanera w pionie 270 stopni, w poziomie 360 stopni,
- zasięg skanera: 300 m przy 90% albedo; 134 m przy 18% albedo.

Pomiary zrealizowano z trzech stanowisk przy założonej rozdzielczości na obiekcie 2mm w płaszczyźnie poziomej oraz 4mm w płaszczyźnie pionowej. Czas trwania sesji pomiarowej na jednym stanowisku wyniósł około 2 godzin. Pomierzono około 3 000 000 punktów.

Opracowanie pomiarów terenowych przeprowadzono stosując oprogramowanie firm Leica oraz Bentley. Umożliwiły one obliczenie odchyłek usytuowania oraz pozwoliły na przedstawienie dowolnych wymiarów i przekrojów elementów konstrukcji (rys. 5, 6).



Rys. 4. Pomiary instrumentem Leica ScanStation
Fig. 4. Measurements with Leica ScanStation

By analyzing the obtained results from the individual variants one can state that the criterion of accuracy is met only in the case of the method of direction measurement. In the case of the angular-linear combination and linear measurement the obtained errors twofold exceeded the set precision. Due to this, if there occur large difficulties in the correct establishing the measuring matrix, one can also use the distance measurements made without a reflector in the observations of tall objects.

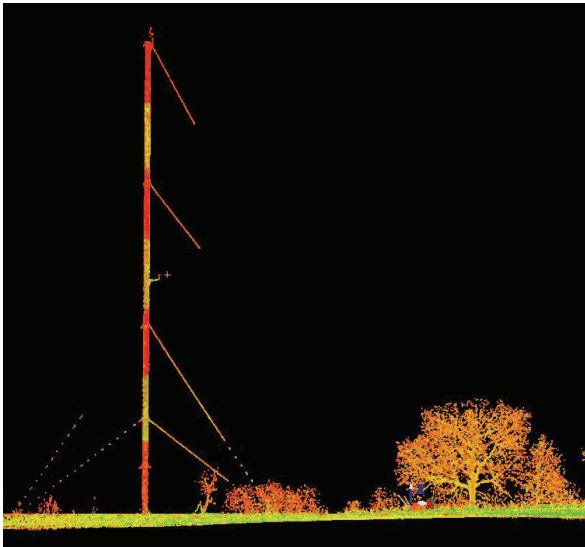
5. Measurement of strains of the mast with the use of the terrestrial laser scanner

The mast was also measured using the terrestrial laser scanner ScanStation (fig. 4), which features the following technical parameters:

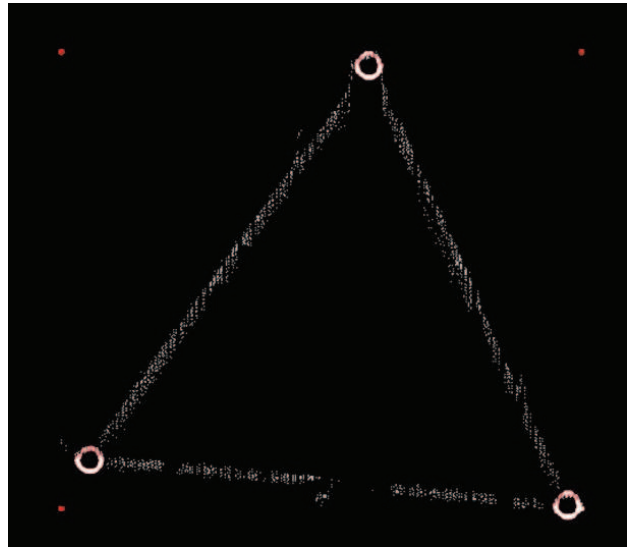
- precision of the direction measurement: 60 microradian – 40^{cc},
- precision of the distance measurement: 4 mm,
- precision of the measurement of a single point in the three-dimensional space: 6 mm,
- built-in compensator of resolution: 1^{''},
- impulse laser method of measurement using a laser with the visible beam in green color,
- the size of the spot of the laser beam at the distance 50 m – 5 mm,
- maximum set resolution of scanning, horizontal and vertical: 1 mm,
- the range of the visual field of the scanner: vertical 270 degrees, horizontal 360 degrees,
- the range of the scanner: 300 m for albedo 90%; 134 m for albedo 18%.

Measurements were carried out from three positions at the set resolution on the object 2 mm in horizontal plane and 4 mm in vertical plane. The time of duration of the measuring session at one position was about 2 hours. About 3,000,000 points were measured.

The results of field measurements were numerically processed with the use of software of the firm Leica and Bentley. This software made possible the calculation of the deviations of the location and allowed to present any dimensions and cross-sections of the elements of construction (fig. 5, 6).



Rys. 5. Chmura punktów przedstawiająca konstrukcję masztu uzyskana z pomiaru skanerem laserowym Leica ScanStation
 Fig. 5. A point cloud representing the mast construction achieved by measurements with a laser scanner Leica ScanStation



Rys. 6. Wpasowanie rur konstrukcyjnych masztu w chmurę punktów na wybranym poziomie
 Fig. 6. Superposition of the construction pipes of the mast into the point cloud at a chosen level

6. Porównanie wyników wychyleń konstrukcji masztu

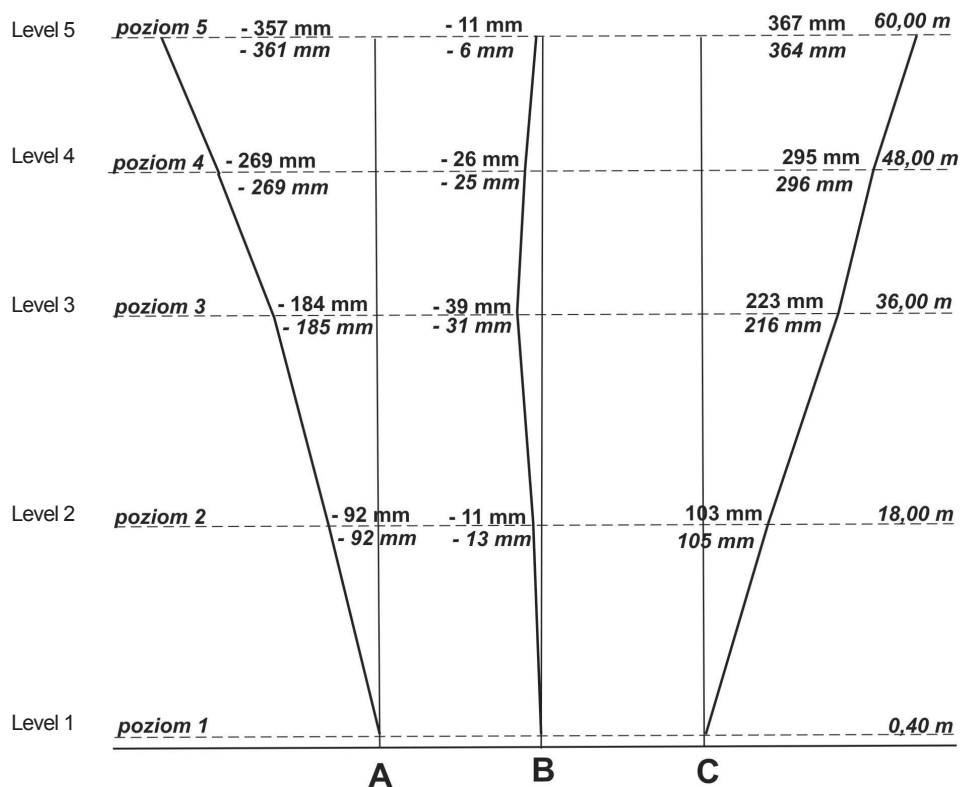
W celu kontroli efektywności wykorzystanych metod pomiarowych zestawiono wielkości odchyłek, które były bezpośrednim wynikiem obliczeń przeprowadzonych na bazie współrzędnych punktów kontrolnych. Obliczeniom podlegały zarówno deformacje osi masztu w rzutach bocznych (rys. 7) jak i w rzucie z góry (rys. 8). Ze względu na znikome wartości różnic wychyleń osiągniętych z obu metod pomiaru – metodzie klasycznej – kierunkowej jak i przy użyciu naziemnego skanera laserowego (rys. 7), przebieg osi konstrukcji zobrażowano na wykresie jedną linią. W przyjętej skali różnice byłyby niewidoczne. Różnice wartości wychyleń na poszczególnych poziomach wahają się od 1 mm do 8 mm. Spowodowane może być to złymi warunkami atmosferycznymi w dniu pomiarów (duża zmienność kierunku wiatru oraz jego natężenia), a także czasem trwania obserwacji. Wysoce przekracza to obliczone wcześniej kryterium dokładnościowe (1,8 mm), jednak w stosunku do obliczonego dopuszczalnego wychYLENIA masztu ($a = 60$ mm,) oraz uzyskanych z pomiarów wartości przemieszczenia konstrukcji (rys. 7), jest wartością niewielką.

Reasumując dane, otrzymane przy użyciu naziemnego skanera laserowego, mogą więc z powodzeniem być wykorzystane do podejmowania decyzji związanych z bieżącą eksploatacją obiektów wysmukłych oraz ich ewentualną rektyfikacją.

6. Comparison of the results of deflection of the mast construction

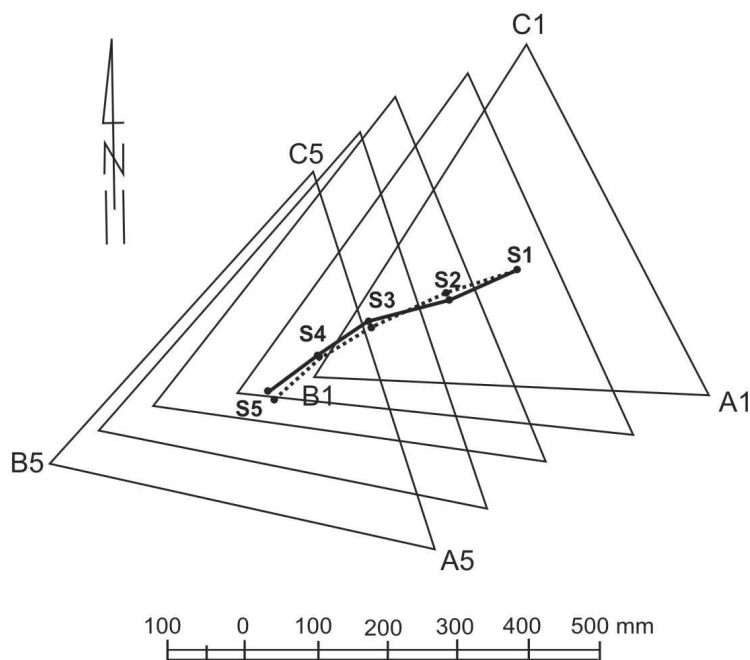
In order to control the efficiency of the used measuring methods the magnitude of the deviations which were a direct result of calculations carried out on the basis of co-ordinates of control points have been set together. The calculations included both deformations of the axis of the mast in end views (fig. 7) and in top view (fig. 8). Because of the minimum values of differences in deflection found in both methods of the measurement - the classic, direction method – and the method with the use of a terrestrial laser scanner, the course of the axis of the construction was pictured (fig. 7) on the graph with one line. The differences would be invisible in the applied scale. The differences of the values of deflections at individual levels oscillate from 1 mm to 8 mm. This could have been caused by bad weather condition on the day of measurements (large changeability of the direction and the strength of the wind), and also by the time of duration of the observation. This extremely exceeds the calculated earlier accuracy criterion (1.8 mm), however, in the relation to the calculated admissible deflection of the mast ($a = 60$ mm) and the values of dislocation of construction obtained from measurements (fig. 7), it is still a little value.

Recapitulating, the data received with the use of a terrestrial laser scanner can now be successfully used for making decisions connected with the current exploitation of tall objects and their possible adjustment.



- 357 mm - the values of deflection obtained from geodetic measurements
 - 361 mm - wartości odchylenia otrzymane z pomiarów geodezyjnych
 - 361 mm - the values of deflection obtained from laser scanning
 - 361 mm - wartości odchylenia otrzymane ze skaningu laserowego

Rys. 7. Odchylenia osi masztu – rzuty z boku od poszczególnych krawędzi masztu
 Fig. 7. Side views of deflections of the axis of the mast



————— wartości odchylenia otrzymane z pomiarów geodezyjnych
 the values of deflection obtained from geodetic measurements
 - - - - - wartości odchylenia otrzymane ze skaningu laserowego
 the values of deflection obtained from laser scanning

Rys. 8. Odchylenia osi masztu – rzut z góry
 Fig. 8. Deflections of the axis of the mast – a top view

7. Wnioski

1. Wykorzystując do obserwacji obiektów wysmukłych metodę przy użyciu naziemnego skanera laserowego otrzymujemy porównywalne do metod geodezyjnych wartości wychyleń ich konstrukcji
2. Stosując technologię HDS mamy możliwość pozyskiwania informacji o całej konstrukcji, a nie tylko o jej wybranych elementach zmierzonych metodami klasycznymi.
3. Wyniki pomiarów otrzymane przy użyciu naziemnego skanera laserowego są wystarczająco dokładne dla podjęcia decyzji, co do dalszej eksploatacji badanych obiektów.

7. Conclusions

1. With the use of the method based on a terrestrial laser scanner the observation of tall objects gives values of deflection of the construction of the object comparable to obtained by geodetic methods.
2. By applying the HDS technology we have the possibility of obtaining information about the whole construction, and not only about its chosen units as measured by classic methods.
3. The results of measurements received with the use of the terrestrial laser scanner are sufficiently precise for making decisions concerning further exploitation of the studied objects.

Literatura • References

- [1] Jankowska B., *Błąd wzoru na wyznaczanie przemieszczeń masztu 3-ściennego wg instrukcji ER-01*, Zeszyty Naukowe, Budownictwo, Politechnika Zielonogórska, 2001, z. 127 (35), s. 111-119.
- [2] Wichtowski B., *Geometria stalowych wież i masztów radiowo-telewizyjnych na podstawie inspekcji okresowych*, Budownictwo PN PS, 2002, nr 561/2002, s. 37-51.
- [3] Wichtowski B., *Rektyfikacja stalowych wież antenowych na podstawie inspekcji okresowych*, XXII Konferencja naukowo-techniczna, Szczecin – Międzyzdroje, 23 – 26 maja 2007, s. 665-672.
- [4] Instrukcja ER – 01, *Eksploatacja wież i masztów*, Telekomunikacja Polska SA, Warszawa 1994.

* Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D, Politechnika Wroclawska, Wroclaw, Polska
Laboratory of 3D Scanning and Modeling, Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

** Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław, Polska
Institute of Geodesy and Geoinformatics, Wrocław University of Environmental and Life, Wrocław, Poland

Streszczenie

Kratownicowa konstrukcja, taka jak maszt, ma często skomplikowaną przestrzenną budowę. Istnieje kilka metod, by określić jej odchylenia i wypaczenia. Niniejszy artykuł przedstawia porównanie dokładności i efektywności wybranych metod pomiaru. Odchylenie i wypaczenie przedstawionego obiektu zostały wyznaczone przy pomocy metod z zastosowaniem elektronicznego tachymetru Leica TCRP1203: tradycyjnej – z pomiarem kierunku, zmodyfikowanej – przy zastosowaniu pomiaru odległości bez reflektora i techniki z użyciem lasera skanującego Leica ScanStation.

Abstract

A truss construction, such as a mast, has often complicated spatial composition. There are several methods to determine its deflections and distortions. This article presents the comparison of precision and efficiency of chosen measurement methods. Deflection and distortion of presented object was determined by methods with the use of an electronic tachymeter Leica TCRP1203: traditional – direction measurements, modified – which uses measurement of distances without a reflector and the technique of laser scanning using Leica ScanStation apparatus.