

dr inż. Lidia Buda-Ożóg*
 dr inż. Wiesław Kubiszyn*
 dr inż. Grzegorz Oleniacz*
 dr inż. Izabela Skrzypczak*

Badania okresowe pionowości osi trójprzewodowego komina stalowego

Verticality periodical testing of axis of three-flue steel chimney

Streszczenie. Artykuł stanowi przykład badania odchylenia od pionu osi stalowego komina trójprzewodowego dwoma technikami pomiaru: klasyczną metodą wcięcia kąтового w przód oraz naziemnego skaningu laserowego. Opisano etapy doboru stanowisk skanera i punktów dostosowania oraz modelowania, opracowania i interpretacji pozyskanych danych.

Słowa kluczowe: komin stalowy, badania, pionowość.

Abstract. The article is an example of the study of deviation of the vertical axis of a three-flue steel chimney with two measurement techniques: the method of angular indentation and terrestrial laser scanning. The stages of the selection of the scanner positions and points of alignment and modeling of the data acquired are described.

Keywords: steel chimney, testing, verticality.

Wzrost wymagań dotyczących dokładności i szybkości przeprowadzenia pomiarów narzuca konieczność automatyzacji procesu pomiarowego i stosowania precyzyjnej aparatury. Wprowadzenie automatycznych technik pomiarowych musi zapewniać: zmniejszenie pracochłonności i czasu wykonywanych czynności; zmniejszenie liczebności zespołu pomiarowego; automatyczną rejestrację odczytów z urządzeń pomiarowych; sprawność prowadzonych pomiarów i niezawodność urządzeń; wiarygodność wyników w odniesieniu do ich kontroli oraz oceny błędów; ocenę stałości punktów układu odniesienia. Dokładność wyznaczenia parametrów konstrukcji zależy również od liczby punktów kontrolowanych, ich usytuowania i sposobu sygnalizacji tych punktów. Celem przedstawionych w artykule pomiarów, wykonanych metodą wcięć kątowych w przód i naziemnym skanerem laserowym, była analiza porównawcza otrzymanych wyników oraz ich odniesienie do zaleceń zawartych w PN-93/B-03201 [1] i PN-EN 1993-3-2 [2].

Opis badanego obiektu

Przedmiotem badań był trójprzewodowy komin stalowy wysokości 49 m. Z uwagi na wysokość przedmiotowy komin zaliczany jest do kominów średniowysokich, natomiast ze względu na system konstrukcyjny do wieloprzewodowych kominów z konstrukcją wsporczą [3], którą stanowi wieża trójkątna o krawężnikach z rur okrągłych, połączonych wzajemnie skratowaniem. Każdy z przewodów kominowych posadowiony jest na niezależnym fundamencie i połączony za pomocą odpowiednio ukształtowanej podpory ślizgowej z konstrukcją wsporczą. Przyjęte rozwiązanie konstrukcyjne podpory ślizgowej zapewnia swobodę pionowych odkształceń termicznych każdego z przewodów z jednoczesnym ograniczeniem możliwości przemieszczeń poziomych.

Opis pomiarów

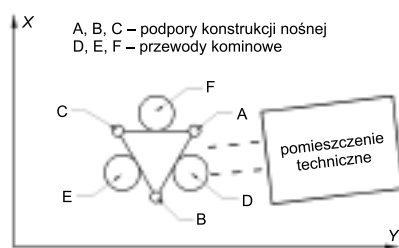
Pomiar pionowości osi komina wykonano metodą wcięć kątowych w przód i naziemnym skanerem laserowym.

• **Metoda wcięć kątowych w przód.** Pomiaru wcięć kątowych dokonano z trzech stanowisk. Obserwacji podlegały styczne w charakterystycznych przekrojach poszczególnych elementów komina

(rysunek) na czterech poziomach. Wyznaczenie pionowości osi przewodów komina wykonano tachimetrem South NTS-362R charakteryzującym się błędem

średnim pomiaru kierunku na poziomie 2" oraz błędem średnim pomiaru odległości 2 mm +2 ppm. Prace odbywały się w godzinach popołudniowych w warunkach niedużego nasłonecznienia, przy pochmurnym niebie. Ze względu na trudne warunki terenowe związane z lokalizacją obiektu (las od strony zachodniej i południowej w odległości ok. 30 m od obiektu) oraz skomplikowanie konstrukcji (wzajemne zasłanianie się poszczególnych elementów komina w zależności od umiejscowienia stanowisk pomiarowych), dobór i stabilizacja stanowisk pomiarowych oraz pomiar osnowy i przekrojów trwał ok. 5 h. W przyjętym dla obiektu lokalnym układzie współrzędnych wyrównano metodą ścisłą osnowę pomiarową i obserwacje wyznaczające wychylenia poszczególnych przekrojów. Wysokość przekrojów charakterystycznych określono metodą trygonometryczną na podstawie wykonanych pomiarów kątów pionowych.

• **Metoda naziemnego skaningu laserowego.** Przed przystąpieniem do pomiaru zaprojektowano rozmieszczenie stanowisk pomiarowych i punktów dostosowania niezbędnych do połączenia pojedynczych skanów. Punkty do-



Szkic sytuacyjny rozmieszczenia elementów podlegających pomiarowi

* Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

stosowania rozmieszczono tak, aby widoczne były z jak większej liczby stanowisk. Sześć kul referencyjnych ustawiono na ziemi oraz przytwierdzono za pomocą magnesów do konstrukcji wsporczej kominu. Z zaprojektowanych stanowisk skanowania widoczne były zawsze co najmniej 3 punkty referencyjne. Przed wykonaniem pomiaru pod uwagę wzięto również aspekt ekonomiczny związany z czasem, jaki trzeba poświęcić na wykonanie pojedynczego skanu, a w efekcie na pomiar całego obiektu. Dobrane parametry pozwoliły na ok. 5-minutowy pomiar jednego stanowiska z rozdzielczością skanowania 6 mm na 10 m. Skanowanie kominu z pięciu stanowisk przeprowadzono w ciągu ok. 0,5 h. W ramach badania naziemnym skanerem Faro Focus 3D, na każdym z 5 obranych stanowisk pozyskano chmurę punktów dla 120° horizontalnego zakresu pracy skanera (fotografia).



Chmura punktów pozyskana z jednego ze stanowisk skanera

Połączenie chmur punktów z poszczególnych stanowisk wykonano w oprogramowaniu FARO Scene. Identyfikacja punktów dostosowania na pojedynczych skanach odbywała się w sposób półautomatyczny. Przeciętna wartość błędu dla wszystkich wykonanych stanowisk wyniosła 1,4 mm. Błędy połączenia poszczególnych chmur punktów w jeden zbiór punktów 3D są poniżej błędu systematycznego wyznaczenia odległości wykorzystanego skanera. Oszacowane błędy pozwalają na pomiar odległości między dowolnymi punktami połączonej chmury z dokładnością mniejszą niż 2 mm. Proces modelowania wykonano w środowisku programu Auto CAD 2011. Połączona chmura punktów została przerzedzona i wyeksportowana do programu CAD, w którym możliwa była wektoryzacja poszczególnych przekrojów i pomiar ich wychylenia w stosunku do przekroju „0”.

Wyniki badań

Na podstawie przyjętej metodologii określono wychylenie osi poszczególnych elementów kominu od pionu. Otrzymane wartości są zbieżne z wynikami pomiarów uzyskanymi tradycyjną metodą klasyczną. Dopuszczalne poziome odchylenie dwupowłokowych przewodów kominowych wg PN-93/B-03201 [1] nie powinno przekraczać wartości $h/100$, co w przypadku analizowanego kominu wynosi 0,49 m. Jest to jedna wartość graniczna uwzględniająca zarówno wzbudzenie wirowe spowodowane działaniem wiatru, jak i wpływ jednostronnego nasłonecznienia kominu. Z uwagi na brak danych dotyczących prędkości wiatru i temperatury nasłonecznienia jednoznaczne porównanie pomierzonych i granicznych wartości przemieszczeń jest niemożliwe. Pomierzone przemieszczenia, zarówno przewodów kominowych,

jak i konstrukcji wsporczej, są zdecydowanie mniejsze od dopuszczalnych. Dokładniejsze zalecenia podaje PN-EN 1993-3-2 [2] w załączniku E, wg których graniczne odchylenie Δ_{gr} stalowej powłoki od pionu na dowolnym poziomie h nie powinno przekraczać wartości opisanych wzorem:

$$\Delta_{gr} = \frac{h}{100} \sqrt{1 + \frac{50}{h}}$$

dla analizowanych poziomów zestawionych w tabeli.

Wyniki pomiarów oraz graniczne wychylenia osi kominów Δ_{gr} wg [2]

Numer przekroju	Poziom przekroju pomiarowego [m]	Pomierzone odchylenie od pionu przewodów kominowych [cm]			Graniczne wychylenie wzgl. poziomu "0" – Δ_{gr}
0	0	0	0	0	0
2	19	0	10	2	3,6
3	29	0	8	2	4,8
4	39	0	14	5	5,9
5	49	5	17	5	7,0

Wnioski

W przypadku badanego kominu, naziemny skaner laserowy okazał się bardzo efektywnym narzędziem pomiarowym, umożliwiającym sprawne przeprowadzenie badań w dość trudnych warunkach terenowych. Czas potrzebny na wykonanie skanowania był prawie dziesięciokrotnie krótszy w porównaniu z czasem potrzebnym na wykonanie pomiaru tradycyjną metodą klasyczną. Natomiast czas poświęcony na finalne opracowanie wyników otrzymanych jedną i drugą z przedstawionych metod był taki sam.

W przypadku przewodów kominowych oznaczonych symbolami D i F warunek nieprzekroczenia odchylenia granicznego spełniony jest na każdym analizowanym poziomie pomiarowym. Natomiast w odniesieniu do przewodu kominowego E warunek nie jest spełniony w przypadku żadnej z analizowanych wysokości. Występuje wyraźne przekroczenie wartości granicznych: dla przekroju 2 o 6,4 cm, a dla wierzchołka kominu o 10 cm. W normie PN-EN 1993-3-2 [2] nie ma zaleceń dotyczących dopuszczalnych odchyżeń konstrukcji wsporczej kominów wieloprzewodowych. Analizując otrzymane wyniki pomiarów w odniesieniu do zaleceń normowych podanych w normie PN-93/B-03201 [1] i PN-EN 1993-3-2 [2], stwierdzono istotną rozbieżność w dopuszczalnych przemieszczeniach przewodów kominowych. W analizowanym przypadku, w myśl wymagań zawartych w PN-EN 1993-3-2 [2], przekroczone są dopuszczalne przemieszczenia wierzchołka kominu, natomiast w odniesieniu do PN-93/B-03201 [1] warunki są spełnione. Niejasność zaleceń normowych może prowadzić do skrajnie różnych interpretacji otrzymywanych wyników, a w konsekwencji do różnych działań naprawczych i wzmacniających.

Literatura

- [1] PN-93/B-03201. Konstrukcje stalowe. Kominu. Obliczenia i projektowanie.
- [2] PN-EN 1993-3-2. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 3-2: Wieże, maszty i kominu – Kominu.
- [3] Rykaluk K., Konstrukcje stalowe, kominu, wieże, maszty, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2005.