

mgr inż. Edyta Puniach\*

dr hab. inż. Rajmund Oruba, prof. AGH\*

# Zastosowanie skanerów laserowych w badaniach geometrii kominów przemysłowych

*Application of laser scanners for determining geometry of industrial chimneys*

**Streszczenie:** Artykuł dotyczy pomiarów geodezyjnych wewnętrznych elementów konstrukcyjnych w nowoczesnych, wieloprzewodowych kominach przemysłowych. Wyniki takich pomiarów stanowią cenne źródło informacji o stanie konstrukcji i mogą być wykorzystywane w diagnostyce tych obiektów. W artykule przedstawiono przykład zastosowania skaningu laserowego (TLS) do badania geometrii wewnętrznych stropów nośnych oraz przewodów spalin w kominie sześcioprzewodowym wysokości 150 m.

**Słowa kluczowe:** wieloprzewodowe kominy przemysłowe, skaningu laserowy (TLS).

**Abstract:** The paper concerns surveying of inner structures in modern, multi-flue industrial chimneys. The results of such measurements are a valuable source of information about the state of the constructions, and can be used in the diagnostics of these objects. The example of the application of terrestrial laser scanning (TLS) for determining deformation of the internal supporting floors and flues in six-flue chimney of 150 m is presented in the article.

**Keywords:** multi-flue industrial chimneys, terrestrial laser scanning (TLS).

Kominy wieloprzewodowe wymagają okresowej kontroli stanu technicznego, w tym także pomiarów ich geometrii. Dotychczasowe geodezyjne pomiary kominów przemysłowych ograniczały się do wyznaczania osiadania i wychyleń ich żelbetowych trzonów zewnętrznych. Natomiast badania geometrii stalowych lub żelbetowych wewnętrznych stropów nośnych oraz wewnętrznych przewodów spalin wieloprzewodowych kominów przemysłowych były pomijane w diagnostyce tych obiektów. Warto podkreślić, że wewnętrzne elementy konstrukcyjne kominów częściej ulegają deformacjom i uszkodzeniom niż zewnętrzne trzony żelbetowe, których stan techniczny jest systematycznie monitorowany. Odształcające się konstrukcje stropów mogą być przyczyną zmian położenia przewodów spalin, a także ich uszkodzeń [1].

Dobór techniki pomiarów geodezyjnych wewnętrznych konstrukcji nośnych w kominach wieloprzewodowych zależy od rozwiązań konstrukcyjnych badanych elementów [2]. Znaczne zapylenie wewnątrz kominów, ograniczona przestrzeń, drgania stropów oraz słabe oświetlenie znacznie utrudniają wykonywanie pomiarów. W arty-

kule przedstawiono próbę zastosowania skaningu laserowego umożliwiającą szybkie pozyskiwanie bardzo dużych zbiorów danych o geometrii wszystkich elementów nośnych wewnątrz kominów wieloprzewodowych.

## Ogólna charakterystyka skaningu laserowego

Skaning laserowy jest jedną z najnowocześniejszych i dynamicznie rozwijających się technik zdalnego pozyskiwania danych dotyczących geometrii obiektów [3]. Skanery laserowe należą do grupy aktywnych systemów teledetekcyjnych. Ich zasada działania polega na pomiarze odległości punktów pomiarowych od urządzenia. Promień lasera, wykorzystywany do pomiaru odległości, wysyłany jest przez skaner i odbijany przez lustro w zadanym kierunku. Powracająca, odbita od przeszkody, wiązka laserowa jest źródłem informacji o mierzonej odległości i kątach (pionowym i poziomym) jej odchylenia. Rejestrowana jest także intensywność odbicia powracającego sygnału świetlnego. Skaningu pozwala na bardzo szybkie wyznaczenie współrzędnych X, Y, Z bardzo dużych zbiorów punktów, nazywanych chmurami, które reprezentują powierzchnię badanego obiektu, a po odpowiednim przetworzeniu, umożliwiają wygenerowanie jego trójwymiarowego modelu [4]. Współrzed-

ne poszczególnych punktów wyznaczone są w stosunku do środka skanera (współrzędne biegunowe). Znając położenie urządzenia, można wyznaczyć współrzędne punktów w dowolnym układzie współrzędnych. Pomiar przebiega z szybkością od kilku tysięcy do kilkuset tysięcy punktów na sekundę, w zależności od typu skanera.

W przedstawionych badaniach zastosowano skaner Leica ScanStation C10 (fotografia 1). Jest to skaner impulsowy, pozwalający na rejestrację do 50 000 punktów na sekundę [5]. Charakteryzuje się zasięgiem do 300 m. Dokładność pojedynczego pomiaru położenia punktu wynosi  $\pm 6$  mm (na odległości do 50 m).



Fot. 1. Skaner laserowy Leica ScanStation C10 w trakcie pomiaru [Fot. E. Puniach]

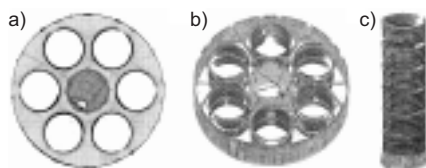
\* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

## Zastosowanie skanera laserowego do pomiarów geometrii elementów konstrukcyjnych w kominie

Przedmiotem badań był sześćo-przewodowy komin żelbetowy wysokości  $H = 150$  m, którego konstrukcję nośną stanowią dwa współśrodkowe cylindryczne trzony żelbetowe (fotografia 2). Trzon zewnętrzny ma średnicę 21,40 m, a trzon wewnętrzny 5,90 m. Wewnętrzne przewody spalin średnicy 5,0 m wykonano z kształtek ceramicznych grubości 12 cm. Przewody spalin podzielone są na segmenty wysokości 25 m, które spoczywają na stalowych stropach nośnych, opartych na trzonie zewnętrznym i wewnętrznym.

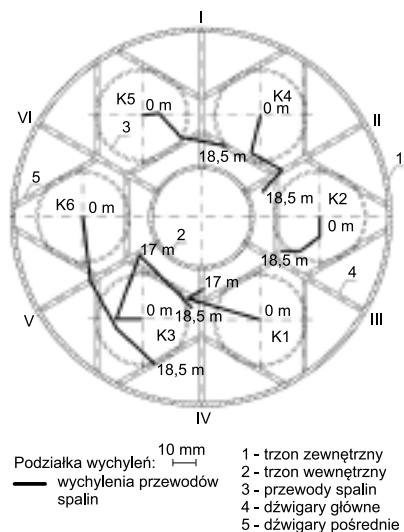
Skanowanie przeprowadzono na poziomie +125 m. Ze względu na ograniczoną widoczność wewnątrz obiektu pomiar wykonano z 14 stanowisk skanera. Miało to na celu zapewnienie jak najlepszej widoczności wszystkich szczegółów konstrukcji. Wzajemne połączenie i orientacja otrzymanych chmur punktów zostały zrealizowane przez zeskanowanie w sumie 42 tarcz HDS oraz Black&White, zamocowanych do konstrukcji i widocznych z kilku stanowisk urządzenia. Na podstawie wykonanego wyrównania obliczono parametry transformacji dla każdego stanowiska skanera. Średnia wartość wektora błędu wyniosła  $\pm 1$  mm, przy czym wartość maksymalna osiągnęła  $\pm 3$  mm ( $\pm 2$  mm w płaszczyźnie poziomej i  $\pm 1$  mm w płaszczyźnie pionowej). W wyniku połączenia i unifikacji pozyskanych zbiorów danych ze wszystkich stanowisk otrzymano chmurę punktów o rozdzielczości 5 mm, liczącą około 350 mln punktów, reprezentującą badany obiekt (fotografia 2).

W celu określenia wychylenia poszczególnych segmentów przewodów spalin wykonano przekroje chmury punktów płaszczyznami poziomymi (co 2 m). Wybrano z nich zbiory danych



Fot. 2. Chmury punktów reprezentujące badany komin: a) widok stropu na poziomie +145 m; b) fragment chmury punktów reprezentującej przewody spalin i strop na poziomie +145 m; c) chmura segmentu przewodu spalin

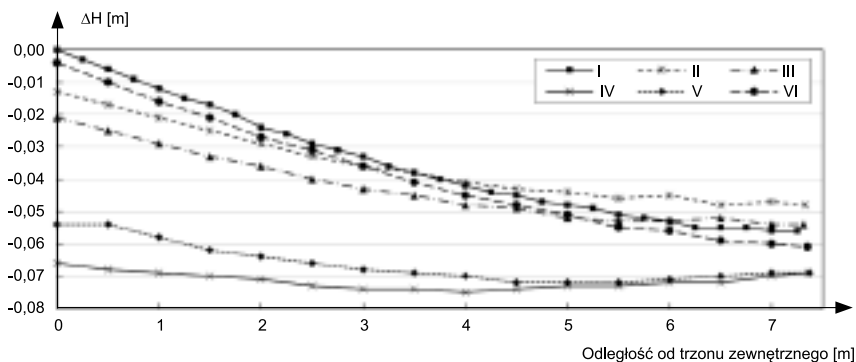
reprezentujące zewnętrzne powierzchnie przewodów. Następnie dokonano wpasowania okręgów (metodą najmniejszych kwadratów), określając współrzędne środka każdego z nich. Wychylenia wierzchołków przewodów spalin wynoszą 21 – 69 mm (rysunek 1). Średni błąd ich wyznaczenia to  $\pm 10$  mm. Wykonanie przekrojów pionowych przez chmurę punktów, wzdłuż stalowych dźwigarów głównych stropu nośnego, umożliwiło z kolei wyznaczenie kształtu ich osi (rysunek 2). Początek elementów (0,00 m) przyjmowano w miejscu podparcia konstrukcji na żelbetowym



Rys. 1. Wychylenia segmentów przewodów spalin, poziom +125 m

trzonie zewnętrznym. Ugięcie osi dźwigarów wynosi 9 – 57 mm. Odchylenie standardowe otrzymanych wartości mieści się w przedziale  $\pm(1 \div 3)$  mm.

Skanowanie charakteryzuje się mniejszą dokładnością w porównaniu z większością tradycyjnych technik pomiarów geodezyjnych, ale dzięki wysokiej rozdzielczości i bardzo dużej liczbie punktów pomiarowych pozwala na pozyskanie kom-



Rys. 2. Ugięcia stalowych dźwigarów stropu na poziomie +145 m (por. rys. 1)

pleksowej informacji o geometrii wszystkich elementów badanego obiektu. Jego zaletą jest również możliwość wykonania pomiaru przez jedną osobę.

## Podsumowanie

Skaning laserowy umożliwia szybką, kompleksową inwentaryzację nawet najbardziej skomplikowanych geometrycznie obiektów budowlanych. Wykonane badania wykazały przydatność zastosowania skanerów laserowych do okresowych pomiarów geometrii wewnętrznych elementów konstrukcyjnych w wieloprzewodowych kominach przemysłowych. Wyniki pomiarów skaningowych pozwalają na wytypowanie najbardziej zdeformowanych elementów konstrukcyjnych do szczegółowych pomiarów technikami bardziej precyzyjnymi. Skaning laserowy może być także stosowany do inwentaryzacji geometrycznej innych wielkogabarytowych obiektów budowlanych w elektrowniach, np. chłodni kominowych.

Badania wykonano w ramach grantu dziekańskiego WGGiŚ AGH nr 15.11.150.134.

## Literatura

- [1] Oruba R., Barycz S., Świerczek M., Darlak J., 2012. Uszkodzenia ceramicznych przewodów spalin w kominach wieloprzewodowych. Przegląd Budowlany, nr 5, 48 – 50.
- [2] Puniach E., Oruba R., 2013. Measurements of deformations of inner structures of multi-flue industrial chimneys. SGEM2013: GeoConference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing. Conference Proceedings, vol. 2, Albena, Bułgaria, 317–324.
- [3] Vosselmann G., Maas H., 2010. Airborne and terrestrial laser scanning. Whittles Publishing.
- [4] Lemmens M., 2011. Terrestrial Laser Scanning [w:] Geo-information. Technologies, Applications and the Environment. Springer, 101-121.
- [5] Leica Geosystems, Leica ScanStation C10. Product Specifications, Switzerland, 2012.