

Wprowadzenie do zaawansowanych technik pomiarowych 3D stosowanych w wideoboroskopowych zdalnych badaniach wizualnych

Introduction to advanced 3D measurement techniques used in endoscope remote visual studies

Streszczenie

Postęp w wizualnych technikach pomiarowych powoduje, że współczesne wideobroskopy to coraz ważniejsze narzędzie badawcze w zestawie urządzeń pomiarowych inspektora NDT. O ile w przeszłości, w trakcie badania wizualnego, możliwe było wykrycie i zarejestrowanie wskazania, o tyle współczesne wideobroskopy są zdolne do pomiaru i trójwymiarowej analizy wykrytych nieciągłości. Wprowadzenie technologii 3D do Zdalnych Badań Wizualnych znacznie podnosi funkcjonalność współczesnych wideobroskopów przemysłowych. Sprzęt wyposażony w technologię pomiarów 3D znacznie poszerza zakres stosowalności badań wizualnych w badaniach NDT. Artykuł przedstawia możliwości badawcze oraz jakie oferuje wprowadzana technika pomiarowa.

Słowa kluczowe: badania, pomiar, 3D

Abstract

Advances in video measurement technology are making the remote video borescope an increasingly powerful tool in the inspector's toolbox. While in the past, inspectors could identify indications and capture images; today's advanced video borescopes can measure, map and analyze indications in 3D. The introduction of 3D measurement technology for Remote Visual Inspections significantly increases the functionality of modern industrial video borescopes. Devices equipped with a 3D measurement technology greatly expands the scope of application of visual research in the study of NDT. The article presents research capabilities and offered entered measuring technology.

Keywords: research , measurement, 3D

Wstęp

Podstawową metodą stosowaną w diagnostyce technicznej w zakresie badań nieniszczących są badania wizualne. Badania wizualne stosowane są na każdym etapie diagnostyki, również w procesie kontroli, czy badany obiekt spełnia wymagania stosownych przepisów, norm, warunków odbiorowych lub eksploatacyjnych. Wiele uszkodzeń urządzeń technicznych ujawnia się we wczesnej fazie w postaci widocznych zmian, jednak często dzieje się to we wnętrzu urządzeń, dokąd niestety nie ma bezpośrednio wglądu.

Postęp w wizualnych technikach pomiarowych powoduje, że współczesne wideobroskopy to coraz ważniejsze narzędzie badawcze w zestawie urządzeń pomiarowych inspektora NDT. O ile w przeszłości, w trakcie badania wizualnego, możliwe było wykrycie i zarejestrowanie wskazania, o tyle współczesne wideobroskopy są zdolne do pomiaru

i trójwymiarowej analizy wykrytych nieciągłości. Te nowe możliwości pozwalają badaniom wizualnym znacznie uzupełnić, a czasem nawet zastąpić, inne techniki badań niszczących.

Dokładność pomiaru – czy to takie ważne?

Badanie wizualne prowadzone w procesie eksploatacji urządzeń, oprócz wczesnego wykrywania uszkodzeń elementów energetycznych instalacji przemysłowych (zanim doprowadzą one do awarii), mają również na celu nadzór nad przebiegiem procesu. Stojąc przed problemem właściwego doboru badania endoskopowego dla danego problemu technicznego konieczne jest określenie warunków badania, w tym dostępności do badanego obiektu oraz ewentualnych punktów wprowadzenia sondy. Dobierając sondę pomiarową trzeba uwzględnić możliwość oświetlenia obszaru

Mgr Dariusz Mężyk – Instytut Energetyki Warszawa; **mgr Paweł Stasiak** – Everest Polska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: dariusz.mezyk@ien.com.pl

dla uzyskania obrazu dobrej jakości przy znanych długościach i średnicach sond jak i wybór obiektywów pomiarowych. Kontrola wizualna umożliwia stworzenie obrazu stanu faktycznego. Badanie trudnodostępnych powierzchni lub obiektów z tzw. pustkami, np. rurociągów, aparatury zawierającej rury, zabudowanych wewnątrz nie zawsze przedstawia łatwe zadanie. Czasem może ono dać się wykonać tylko za pomocą specjalistycznej aparatury, dostosowanej do danego konkretnego przypadku.

Większe możliwości rodzą większą odpowiedzialność. Rozwój technik pomiarowych umożliwia zarządzającym instalacjami podejmowanie szybszych i trafniejszych decyzji dotyczących ich eksploatacji na podstawie wyników pomiarów i analiz dostarczanych przez współczesne wideoboroskopy, dlatego tak ważne jest aby wyniki pomiarów były precyzyjne i dokładne.

W wypadku tradycyjnych metod pomiaru 2D, jak Stereo czy Cienia, możliwe były przypadki wykonania błędnego pomiaru, bez możliwości stwierdzenia tego faktu. Na płaskim obrazie 2D nie ma możliwości stwierdzenia czy kursory pomiarowe zostały umiejscowione w odpowiednim miejscu. W oparciu o płaski obraz 2D próba umiejscowienia kursora, np. na krawędzi łopatkki może prowadzić do jego przesunięcia, "zrzućcenia" na płaszczyznę w tle, lub w przypadku pomiaru głębokości brak możliwości odnalezienia najgłębszego obszaru.

Techniki pomiarowe 3D oferują możliwość podglądu trójwymiarowego modelu, tzw. chmury punktów, badanego obszaru pod dowolnym kątem. Pozwala to, na bieżąco, weryfikować poprawność położenia kursorów pomiarowych zapewniając maksymalną dokładność pomiaru i położenia punktów pomiarowych. Praktyka ta eliminuje błędy, nieświadomie popełniane przez operatora, przy pomiarach na płaskim obrazie, znacznie podnosząc dokładność i powtarzalność uzyskiwanych wyników.

Dostępne techniki pomiarowe 3D

Pomiar Fazowy 3D

Dostępny tylko na wideoboroskopach GE, Pomiar Fazowy 3D umożliwia prowadzenie badania i pomiarów przy użyciu tego samego obiektywu. Szerokie pole widzenia i pełnoekranowy obraz umożliwia inspekcję i pomiary, bez konieczności wymiany obiektywów pomiarowych na optyczne, znacznie skracając czas potrzebny na badanie i analizę wykrytych nieciągłości.

W trakcie badania wideoboroskopem z obiektywem pomiarowym 3D PM w każdej chwili możliwe jest zeskanowanie obszaru będącego w polu widzenia przyrządu. Uzyskane dane pozwalają wygenerować trójwymiarowy model powierzchni na którym można przeprowadzić pomiary. System 3D PM oferuje nowe rodzaje pomiaru, min. Profil Głębokości - przekrój poprzeczny - wizualizujący kształt i charakter obserwowanej powierzchni, dający inspektorowi możliwość podjęcia trafniejszej decyzji.

Pomiar Stereo 3D

Wprowadzony w 2015 roku, pomiar Stereo 3D jest najnowszą, dostępną komercyjnie, trójwymiarową techniką pomiarową oferowaną w wideoboroskopach przemysłowych. Jest ona rozwinięciem klasycznej techniki stereo, opartej na analizie porównawczej dwóch obrazów tego samego elementu obserwowanego pod różnymi kątami. Zaawansowana analiza numeryczna uzyskanych obrazów pozwala na wygenerowanie modelu 3D całego obszaru znajdującego się w polu widzenia boroskopu, w oparciu o zapisane zdjęcie. Chmura punktów 3D z zaznaczonymi na niej punktami po-

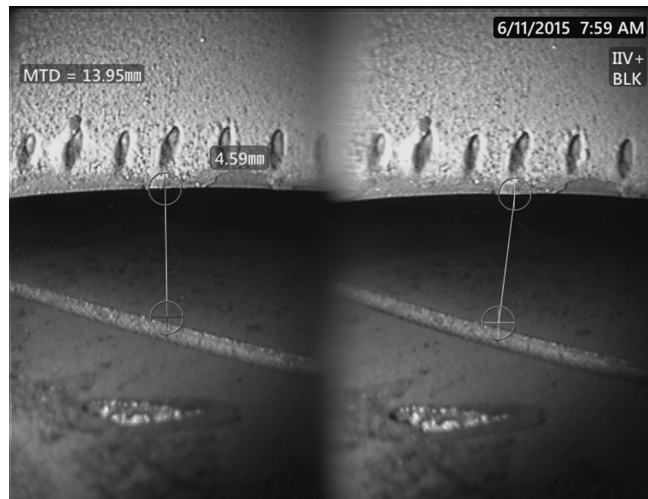
miarowymi eliminuje ich błędne ustawienie i zapewnia poprawność pomiaru.

Każda z powyższych metod, oprócz niezaprzeczalnych zalet ma również swoje ograniczenia, w wypadku metody stereo jest to zmniejszenie pola widzenia, w przypadku Pomiaru Fazowego konieczność zapewnienia nieruchomego obrazu na czas skanowania powierzchni. Metody te uzupełniając się wzajemnie zapewniają bardzo szerokie spektrum zastosowań technik pomiarowych z obrazowaniem 3D.

Przewaga technologii 3D

Możliwość generowania i podglądu modelu 3D, w trakcie pomiaru, daje możliwość jednoznacznej weryfikacji poprawności umiejscowienia punktów pomiarowych.

Na rysunku 1 pokazano próbę pomiaru luzu wierzchołkowego (clearance) łopatkki przy pomocy pomiaru długości. Inspektor ustawił górny punkt pomiarowy na widocznej krawędzi łopatkki, a drugi na powierzchni. Odległość łopatkki od powierzchni jest właśnie tzw. luzem wierzchołkowym (prześwitem) który jest krytycznym parametrem wymagającym dokładnej kontroli w trakcie całego okresu eksploatacji turbiny. Dysponując tylko obrazem 2D, jak ten prezentowany na rysunku 1 inspektor nie ma żadnej możliwości weryfikacji poprawności uzyskanych wyników.



Rys. 1. Pomiar luzu wierzchołkowego łopatkki przy pomocy pomiaru długości

Fig. 1. Gauging the tip blades with a length measurement

Dopiero zastosowanie metody 3D, prezentowanej na rysunku 2 umożliwia sprawdzenie poprawności umiejscowienia punktów pomiarowych oraz uzyskanych wyników.

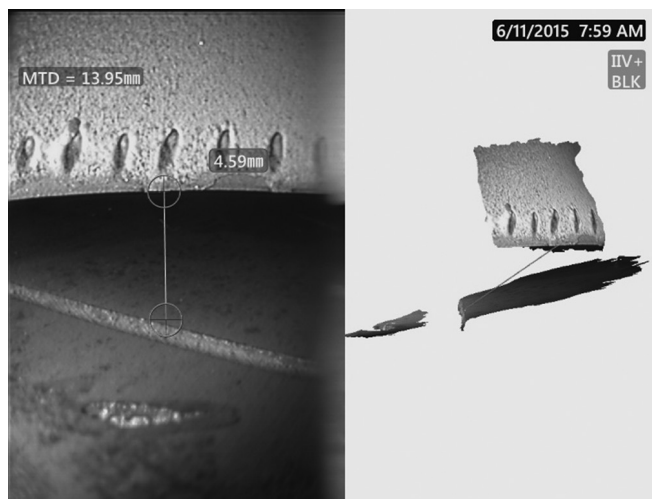
Ten sam pomiar Stereo, ale w wersji 3D, pokazuje nieprawidłowe umiejscowienie punktów pomiarowych. W lewej części obrazu umiejscowienie punktów pomiarowych jak na rysunku 1, natomiast w prawej ich położenie pokazane na trójwymiarowym modelu wygenerowanym przez system z pomiarem Stereo 3D.

Dzięki możliwości podglądu położenia punktów pomiarowych na modelu 3D natychmiast widać, że dokonany pomiar nie jest właściwy. Odległość krawędzi łopatkki od obudowy powinna być mierzona wzdłuż prostopadłej do płaszczyzny stycznej do obudowy w miejscu pomiaru. Wielkość zmierzona przy pomocy pomiaru długości, zwłaszcza w metodzie 2D, tego nie zapewnia, co jest możliwe do zweryfikowania dzięki zastosowaniu Technologii Pomiarowej 3D.

Kolejną korzyścią wynikającą bezpośrednio z wprowadzenia modelowania 3D w zdalnych badaniach wizualnych jest pojawienie się nowych typów pomiarów. Przykładem takiego pomiaru jest Profil Głębokości. Prostopadły przekrój

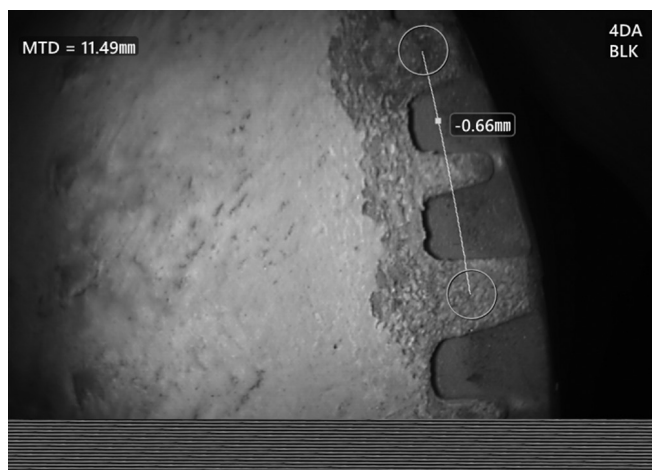
badanego obszaru znacznie przyspieszający analizę kształtu znajdującego się w polu widzenia wideobroskopu.

Przykłady takiego obrazowania przedstawiają rysunki 3÷5.



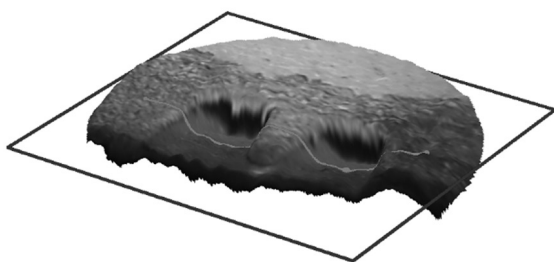
Rys. 2. Pomiar luzu wierzchołkowego łopatki przy pomocy pomiaru długości z zastosowaniem techniki 3D

Fig. 2. Measuring tip clearance blades by measuring the length of 3D technique



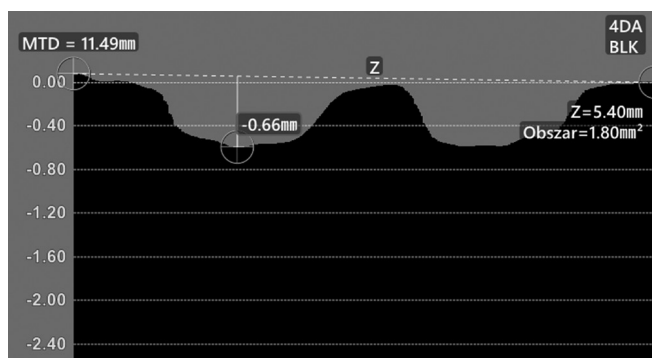
Rys. 3. Pomiar profilu głębokości

Fig. 3. Measuring the depth profile



Rys. 4. Profil głębokości – przekrój

Fig. 4. Profile depth – a sectional view



Rys. 5. Profil głębokości – widok 3D

Fig. 5. Profile depth – 3D view

Wybór odpowiedniego typu pomiaru

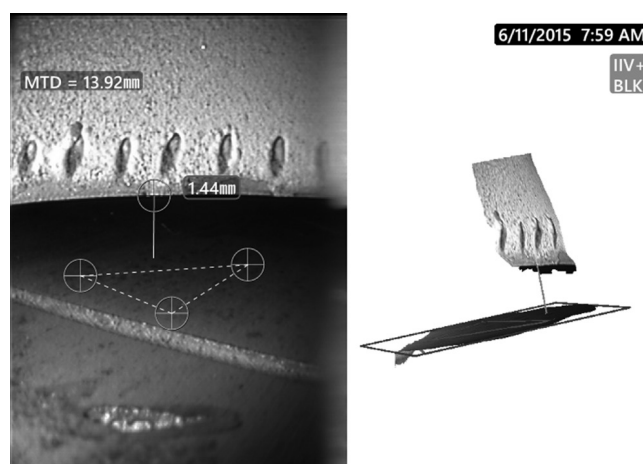
Dana wielkość może być zmierzona na różne sposoby, jednak wybór odpowiedniego typu pomiaru pozwala znacznie ograniczyć systematyczne błędy pomiarowe wynikające najczęściej z błędnego umiejscowienia kursorów przez operatora.

Inspektor prowadzący badania ma do wyboru następujące typy pomiaru:

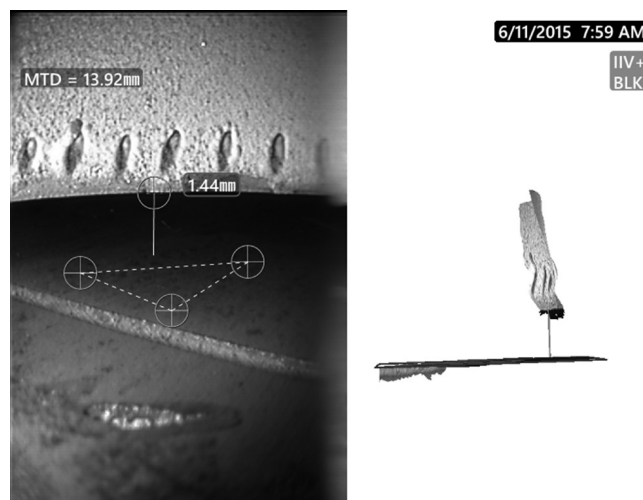
- Długość – prosty pomiar odległości pomiędzy dwoma punktami,
- Punkt do linii – pomiar odległości punktu od linii przechodzącej przez 2 punkty,
- Głębokość – odległość punktu od płaszczyzny wyznaczonej przez 3 punkty,
- Obszar – pole powierzchni ograniczonej łamaną, wyznaczoną przez punkty,
- Wielosegmentowe – długość łamanej wyznaczonej przez punkty,
- Profil głębokości – przekrój w płaszczyźnie prostopadłej przechodzącej przez dwa punkty na powierzchni badanej.

Wybór błędnego typu pomiaru prowadzi do niewłaściwych wyników. Pomiar zaprezentowany wcześniej jest tego doskonałym przykładem. Kluczowym warunkiem dla poprawności tego pomiaru jest zapewnienie prostopadłości odcinka łączącego powierzchnię obudowy z krawędzią łopatki.

Wybór pomiaru typu Głębokość, czyli odległości punktu od płaszczyzny zdefiniowanej przez trzy punkty pomiarowe jest tutaj jedynym, właściwym wyborem. Poprawność tego rozwiązania prezentują rysunki 6 i 7.



Rys. 6. Pomiar typu Głębokość – wizualizacja położenia znaczników
Fig. 6. Measurement type Depth – visualization of the position of the markers



Rys. 7. Pomiar typu Głębokość – prawidłowe położenie znaczników
Fig. 7. Depth Measurement type – the correct position of the markers

Podsumowanie

Obserwacja wnętrza obiektu, a następnie analiza zarejestrowanego obrazu umożliwi dokładne zlokalizowanie wady, a wykorzystanie możliwości techniki 3D, dokładne i jednoznaczne zwiarytowanie bez konieczności demontażu obiektu, a zatem nie występuje niszczące oddziaływanie oprzyrządowania na badany obiekt.

Wprowadzenie technologii 3D do Zdalnych Badań Wizualnych znacznie podnosi funkcjonalność współczesnych wideoboroskopów przemysłowych. Sprzęt wyposażony w technologię pomiarów 3D znacznie poszerza zakres stosowalności badań wizualnych w badaniach NDT. Możliwość weryfikowalnych i powtarzalnych pomiarów może stanowić samodzielną podstawę do podjęcia decyzji o dalszej eksploatacji silnika lotniczego, turbiny gazowej. Niniejszy materiał to zaledwie wstęp do zagadnienia nowego podejścia techniki pomiarów 3D w badaniach wizualnych, mający uświadomić zmiany zachodzące w tej metodzie badań nieniszczących.

Literatura

- [1] Mężyk D.: Zastosowanie endoskopii przemysłowej w procesie badań wizualnych jako metody diagnostyki obiektów przemysłowych, Dozór Techniczny 2010/3
- [2] Menu Directed Inspection for the Visual IQ GE- June 2014
- [3] Ślania J., Szymański A., Rawiński Ł.: Szkolenie personelu badań nieniszczących w sektorze Utrzymania Ruchu Kolei, Przegląd Spawalnictwa, 12, 2015
- [4] Bęczkowski R., Gucwa M.: Kwalifikowanie napawania warstw trudnościeralnych pracujących w warunkach przemysłu cementowego, Przegląd Spawalnictwa, 9, 2015