Adam CHARCHALIS

Gdynia Maritime University (Uniwersytet Morski w Gdyni)

MEASUREMENT AND DIAGNOSTIC SYSTEM FOR MARINE ENGINES

System pomiarowo-diagnostyczny dla maszyn i urządzeń okrętowych

Abstract: *The Scheduled Maintenance System allows ship-owners and operators to plan, carry out and document the maintenance and repair of equipment and mechanisms on board the ship at intervals in accordance with the class requirements imposed by the Classification Societies and the manufacturer of the equipment. In order to develop the research capabilities of the Faculty of Marine Engineering of Gdynia Maritime University, a Measurement and Diagnostic System has been developed to assess the technical condition of machinery and equipment in operation on board the ship. Modernization of measuring equipment, significantly expanded the research capabilities, which resulted in increasing the scope, improving quality, and speeding up the research and development work in the field of safety of operation and diagnostics of engine rooms and ship operation.*

Keywords: technical diagnostics, diesel engines, vessel power plants

Streszczenie: *Planowy System Utrzymania (PMS) pozwala armatorom i operatorom planować, wykonywać i dokumentować konserwację i naprawy urządzeń i mechanizmów na statku w odstępach zgodnych z wymaganiami klasy narzuconych przez Towarzystwa Klasyfikacyjne i producenta tych urządzeń. W celu rozwoju możliwości badawczych Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Morskiego w Gdyni w zakresie prawidłowego przeprowadzenia badań zgodnie z PMS opracowano System Pomiarowo-Diagnostyczny do oceny stanu technicznego maszyn i urządzeń będących w eksploatacji na statku. Modernizacja urządzeń pomiarowych znacznie rozszerzyła możliwości badawcze, co zaowocowało zwiększeniem zakresu, poprawą jakości i przyspieszeniem prowadzonych prac badawczo-rozwojowych w zakresie bezpieczeństwa eksploatacji i diagnostyki silowni okrętowych i eksploatacji statku.*

Słowa kluczowe: diagnostyka techniczna, silniki spalinowe, siłownie okrętowe

1. Introduction

In all cases of operation, the systematic approach to maintenance is based on a risk assessment and starts with the creation of a complete database on the hull, main engines and machinery and ancillary equipment. PMS on ships is mandatory under the International Safety Management (ISM) Code. An effective planned maintenance system not only helps to achieve the safety and environmental objectives set out in the ISM Code, but is also an investment in protecting the condition of machinery and equipment and optimising the management of maintenance processes [1, 2].

Internal combustion engines and auxiliary equipment on board ships operate under harsh conditions, which significantly change the characteristics of the equipment and may cause increased wear and even failure [3, 5].

On board, the engines operate in the conditions of permanent rocking with variable characteristics, in the environment of sea water and air saturated with aerosol and salt from sea water. These conditions cause systematic wear and tear of frictional associations of machine elements, corrosion and erosion. Therefore, continuous and systematic operational supervision and appropriate selection of measuring and diagnostic equipment is essential.

2. The Technical Diagnostic Laboratory

For a number of years, the issue of exploitation, including diagnostics of machines and equipment, has been the basic task of the research activity conducted at the Faculty of Mechanical Engineering of the Maritime University in Gdynia. The research base in this area is systematically enriched. Recently, the diagnostic set has been supplemented with the following measuring and diagnostic equipment for use on ships:

- electronic pressure indicator in the piston engine cylinder,
- Brüel & Kjaer Vibration analyzer and the vibration measurement and analysis system MarVib DC 750,
- FLIR E95 thermovision camera,
- acoustic emission measurement set,
- crankshaft deflection indicator for internal combustion engine,
- Hommel - Etamic W20 profilometer,
- Smartzoom 5 digital microscope.

In addition, the diagnostic system includes: industrial endoscope XLG3 from Everest, exhaust emission meter, analyzer of contaminants in oil, viscosity meters, acid and alkali number of oil, fuel calorific value and a device to control the operation and regulation of injectors.

2.1. Electronic Indicator of cylinder pressure curves analyzers

Indicators have been and are widely used in the diagnosis of marine engines. They are designed to measure the pressure in cylinders and, on this basis, to draw up indicator charts. The indicator in question, which has the possibility of continuous measurement and registration of pressure in the cylinder, is additionally equipped with a sensor for measuring pressure in the injection line and vibrations of the line. This allows to assess the technical condition of fuel equipment, i.e. injection pumps and injectors. This device is designed for measurement, visualization and digital recording of pressure changes in the cylinder, the course of fuel injection as a function of the crankshaft rotation angle at fixed engine operating conditions. For this purpose, the analyzer is equipped with three 12-bit (100 kHz) analogue-to-digital converter channels. The analyzer software shall be capable of accepting any measurement configuration of the abovementioned values. Therefore, the analyzer is suitable for the diagnosis of both high power marine and automotive engines.

Sampling is based on pulses from the angular axis in 0.1° OWK increments for a resolution of $n1600 \text{ min}^{-1}$. Runs are averaged over the number of engine cycles: 4, 16, 64 set by the operator.

The analyzer also serves as an automatic average calculator of the indicated (indexed or effective) pressure, automatic meter of basic parameters based on the recorded graph and measurement of engine speed. Fig.1. shows the pressures recorded in the cylinder using an indicator.

Fig. 1. Pressures recorded in cylinder with the use of indicator [9]

2.2. Vibroacoustics

Vibration signals carry a lot of information about the technical condition of the machine and form the basis for the use of signals in monitoring systems to analyze the trend in the technical condition of the machine. Spectral analysis of the signals makes it possible to identify the source of failure. Monitoring of vibration signals is useful for evaluation of bearing nodes, condition of shafts and friction clutches as well as evaluation of gearing condition and evaluation of shafts and blades in flow machines, i.e. turbocharger or ship's screw.

The vibration analyzer is a 6-channel recorder type 3050-A-60 Brüel & Kjaer. The set also includes an acoustic calibrator 4231 and a calibration inductor 4294. The set also includes a tachometer probe MM360, a set of microphones 4189-A-021 and an accelerometer 4515-B. Measurements and analyses are carried out using the computer program PULSE time (FFT analysis program, harmonic analysis, signal logger, etc.) [4].

In addition, the vibroacoustic evaluation system of the machines is equipped with a vibration measurement and analysis system and a data collection system MarVib DC 750 from Inter Marine. MarVib DC 750 is a measuring device designed for general vibration diagnostics of rotating machines. It is a universal measuring device acting as a meter, vibration analyzer, tachometer and balancing machine. It can be used for general vibration measurements, evaluation of machine condition according to standards, control of bearing wear, measurement of rotational speed and temperature, as well as to analyse the cause of machine malfunction and rotor balancing, e.g. fans.

2.3. Thermographic Camera

Thermography systems are widely used in industrial diagnostics to identify the thermal insulation of walls, to test electrical cables, to detect cracks in heating or cooling machine elements and to determine the heat distribution in machine elements or in media transfer cables. The use of a thermovision camera makes the process of controlling the thermal condition of the device easier, faster, more precise and does not depend on the distance and access from the place of measurement to the device [7, 8]. Fig. 2 shows the temperature measurement during the technological operation.

Fig. 2. Temperature measurement of a combustion engine turbocharger

The FLIR E95 portable thermovision camera is equipped with a 464x348 element detector. It has thermal sensitivity depending on the lens up to 0.03°C. It has 3 temperature ranges: from -20°C to 120°C, from 0°C to 650°C and from 300°C to 1950°C. The device has a built-in camera with a resolution of 5 Mpix, which enables the recording of images in the form of video.

2.4. Acoustic emission measurement method unit (AE)

AE method consists in detection and analysis of acoustic signal emitted by the material subjected to mechanical loads. The emitted elastic waves are the result of the release of energy at the place of damage. Therefore, energy is a phenomenon associated with the physical process taking place in or on materials. Acoustic emission occurs at plasticity deformation, cracking, phase and structural changes, corrosion, leakage and cracking of composite fibres [6].

The set of acoustic emission methods consists of signal recorder AE Node 1283USB, 75 kHz-1.1 MHz, preamplifier 26 dB and acoustic emission measurement sensor 100-450 kHz. The device is connected to a computer via USB and does not require additional power supply, which is important when working outdoors. The kit is equipped with dedicated software for data recording and analysis.

The kit allows for non-destructive testing and wear measurements of machine parts such as: fuel injectors, pumps, ship's hull plating, pressurized pipelines, pressure tanks, etc. The kit is also equipped with a dedicated software for data recording and analysis.

2.5. Crankshaft Deflection Indicator

The electronic crankshaft deflection indicator - LEMAG DI-5C - replaces the time-consuming, risky and unpleasant tasks of "manual" checking of the crankshaft

alignment of the engine. Thanks to its simplicity, the deviation indicator can be used regularly to control deviations and thus identify potential hazards in order to eliminate expensive failures. The LEMAG DI-5C can be combined with a set for measuring the ovality of the cylinder sleeve and comparing cylinder sleeve wear for diameters of 180–600 mm and stroke up to 870 mm. It can store 53 measurement reports (for engines up to 24 cylinders).

LEMAG DI-5C is equipped with a microprocessor that allows the user to print and retrieve measurement results.

It consists of a transmitter with different extension bars made of invar alloy, which ensures minimum thermal expansion and low measurement error.

2.6. Hommel – Etamic W20 Profilometer

It is a portable device designed for measuring roughness, corrugation and profile parameters. Its technical data are as follows:

- measuring range $\pm 300 \mu\text{m}$,
- maximum measuring sensor displacement 20 mm,
- sensor displacement length according to ISO/JIS: 1.5; 4.8; 15 mm; for MOTIF: 0.64; 3.2; 16 mm,
- the device enables the selection of four basic sections: 0.08 mm; 0.25 mm; 0.8 mm; 2.5 mm.

The W20 is equipped with a sensitive touch screen. Seven measurement programs and one for verification purposes are integrated together with four basic function keys.

Roughness tests with the W20 profile gauge in the exhaust valve seats of marine engines allow to assess the condition of the valve and pre-selection of valve regeneration technology. The measurement of the roughness of the engine valve clinging is presented in fig. 3

Fig. 3. Roughness measurement by W20 profilometer

2.7. Smartzoom 5 digital microscope

This is a precision industrial microscope for measurements with an accuracy of 10^{-3} mm. It is equipped with an optical system with 1000x zoom. The automated table has a movement range of 130 mm in the X-axis direction and 100 mm for the Y-axis.

The following methods of object illumination can be used for measurements:

- ring LED illumination built into the lens,
- LED co-axial illuminator,
- mixed lighting (simultaneous axial and ring lighting) with independent intensity control for each type,
- diode illuminator for the work area.

The microscope allows you to create both 2D and 3D images. A wide measuring area can be achieved by integrating a 2D image in the XY plane (fig. 4).

Fig. 4. Injection nozzle diameter measurement

3. Conclusions

Modernization of measurement equipment allowed for a significant increase in research capabilities in the field of diagnostics of engines and marine machines and equipment. This resulted in a broadening of the offer, improvement of quality, and acceleration of research and development works in the field of operational safety and diagnostics of marine equipment. The measurement and diagnostic system allows to carry out a wide range of tests, e.g:

- Diagnostic tests of operating engine systems, in particular the working system, turbocharging, fuel injection systems, oil system;

- Measurements with the use of indicator diagrams to evaluate the working process of the engine and the analysis of acoustic emissions, vibrations, thermovision to diagnose marine engines;
- Assessment of crankshaft deflection and quality of cylinder sleeves of main and auxiliary engines;
- Testing of engine components wear, i.e. exhaust valves, shaft ends, including measurements of geometry and surface roughness;

Inspection of surface condition, in particular of precision pairs with measuring microscopes.

4. References

1. Charchalis A.: Complex Measurement System for Enhancement of Capability for Marine Engines Diagnostics. Journal of Trans Nav, Gdynia 2013.
2. Charchalis A.: Diagnostics System of Marine Engines and Auxiliary Machinery. Journal of KONBIN 1(21), 2013.
3. Charchalis A.: Diagnostic and measurement system for marine engines. Journal of KONES, Vol. 19, No. 1, 2012.
4. Charchalis A., Szyfelbain M.: New methods of marine power plant diagnostics, Journal of KONES. Vol. 25, No. 1, Warsaw 2018.
5. Dereszewski M., Charchalis A., Polanowski S.: Evaluation of diagnostic information about marine engine work based on measurement of the angular speed discrete value. Journal of KONES, Vol. 19, No 2, 2012.
6. Dudzik K.: The possibility of application acoustic emission method for controlling friction stir welding of AW-5083 aluminium alloy sheets, In METAL 2017: 26th International Conference on Metallurgy and Materials. Ostrava: TANGER, 2017.
7. Minkina W., Rutkowski P., Wild W.: Podstawy pomiarów termowizyjnych, Metrologia pomiary termowizyjne, PAK 1/2000.
8. Molenda J., Charchalis A., Barylski A.: Research on Tool Temperature Dependence on Lapping Grains Size. Solid State Phenomena, Vol. 199, 2013.
9. Pawletko R., Polanowski S.: Influence of TDC determination methods on mean indicated pressure errors in marine diesel engines. Journal of KONES, Vol. 18, No. 2, 2011.

SYSTEM POMIAROWO-DIAGNOSTYCZNY DLA MASZYN I URZĄDZEŃ OKRĘTOWYCH

1. Wprowadzenie

We wszystkich przypadkach eksploatacji urządzeń okrętowych systematyczne podejście do utrzymania ruchu opiera się na ocenie ryzyka i rozpoczyna się od stworzenia kompletnej bazy danych o kadłubie, głównych silnikach i maszynach oraz urządzeniach pomocniczych. Planowy system utrzymania (PMS) na statkach jest obowiązkowy zgodnie z Międzynarodowym Kodeksem Zarządzania Bezpieczeństwem (ISM). Skuteczny planowany system konserwacji nie tylko pomaga osiągnąć cele bezpieczeństwa i ochrony środowiska określone w kodeksie ISM, ale jest również inwestycją w ochronę stanu maszyn i urządzeń oraz optymalizację zarządzania procesami konserwacji i napraw [1, 2].

Silniki spalinowe i urządzenia pomocnicze na statku działają w trudnych warunkach, które znacznie zmieniają właściwości sprzętu i mogą powodować zwiększone zużycie, a nawet awarię [3, 5]. Silniki pracują w warunkach ciągłego kołysania o zmiennej charakterystyce, w środowisku wody morskiej i powietrza nasyconego aerozolem z solą z wody morskiej. Warunki te powodują systematyczne zużycie elementów ciernych elementów maszyn, korozję i erozję. Dlatego niezbędny jest ciągły i systematyczny nadzór eksploatacyjny oraz odpowiedni dobór urządzeń pomiarowych i diagnostycznych.

2. Laboratorium Diagnostyki Technicznej

Problem eksploatacji, w tym diagnostyki maszyn i urządzeń, od wielu lat jest podstawowym zadaniem działalności badawczej prowadzonej na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Morskiego w Gdyni. Baza badawcza w tym zakresie jest systematycznie wzbogacana. W ostatnim czasie zestaw diagnostyczny został uzupełniony o następujący sprzęt pomiarowo-diagnostyczny do stosowania na statkach:

- elektroniczny wskaźnik ciśnienia w cylindrach silnika tłokowego,

- analizator drgań firmy Brüel & Kjaer oraz system pomiaru i analizy drgań MarVib DC 750,
- kamera termowizyjna FLIR E95,
- zestaw do pomiaru emisji akustycznej,
- wskaźnik ugięcia wału korbowego dla silnika spalinowego,
- profilomierz Hommla - Etamic W20,
- mikroskop cyfrowy Smartzoom 5.

Ponadto w skład systemu diagnostycznego wchodzi: endoskop przemysłowy XLG3 firmy Everest, miernik emisji spalin, analizator zanieczyszczeń w oleju, mierniki lepkości, liczby kwasowej i zasadowej oleju, wartości opałowej paliwa oraz urządzenie do kontroli pracy i regulacji wtryskiwaczy.

2.1. Elektroniczny indykator ciśnienia w cylindrze silnika

Indykatory były i są szeroko stosowane w diagnostyce silników okrętowych. Są one przeznaczone do pomiaru ciśnienia w cylindrach i na tej podstawie do sporządzania wykresów indykatorowych. Indykator, mający możliwość ciągłego pomiaru i rejestracji ciśnienia w cylindrze, wyposażony jest dodatkowo w czujnik do pomiaru ciśnienia w przewodzie wtryskowym oraz drgań przewodu. Pozwala to na ocenę stanu technicznego aparatury paliwowej, tj. pomp wtryskowych i wtryskiwaczy. Urządzenie przeznaczone jest do pomiaru, wizualizacji i cyfrowej rejestracji zmian ciśnienia w cylindrze, przebiegu wtrysku paliwa w funkcji kąta obrotu wału korbowego w stałych warunkach pracy silnika. W tym celu analizator wyposażony jest w trzy 12-bitowe (100 kHz) kanały analogowo-cyfrowe. Oprogramowanie analizatora jest w stanie zaakceptować każdą konfigurację pomiarową powyższych wartości. Dlatego analizator jest odpowiedni do diagnozowania zarówno silników okrętowych o dużej mocy, jak i silników samochodowych.

Pobieranie próbek odbywa się na podstawie impulsów z kąta obrotu wału korbowego w odstępach co $0,1^{\circ}$ OWK dla prędkości obrotowej do 1600 min^{-1} . Badania są uśredniane w stosunku do liczby cykli pracy silnika: 4, 16, 64 ustawianych przez operatora.

Analizator służy również jako automatyczny kalkulator średniego wskazanego (indykowanego lub efektywnego) ciśnienia oraz automatyczny miernik podstawowych parametrów pracy w oparciu o zarejestrowany wykres oraz pomiar prędkości obrotowej silnika. Rys. 1 przedstawia wartości ciśnień zarejestrowanych w cylindrze za pomocą indykatora.

Rys. 1. Ciśnienia rejestrowane w cylindrze za pomocą indykatora [9]

2.2. Wibroakustyka

Sygnały drganiowe niosą wiele informacji o stanie technicznym maszyny i stanowią podstawę do wykorzystania w systemach monitorowania sygnałów do analizy trendu zmian stanu technicznego maszyny. Analiza widmowa sygnałów umożliwia identyfikację źródła awarii. Monitorowanie sygnałów drgań jest użyteczne do oceny węzłów łożyskowych, stanu wałów i sprzęgieł ciernych oraz oceny stanu zazębienia przekładni i oceny wałów i łopatek w maszynach przepływowych, tj. turbosprężarkach czy śrubach okrętowych.

Analizator drgań to 6-kanalowy rejestrator typu 3050-A-60 Brüel & Kjaer. Zestaw zawiera również kalibrator akustyczny 4231 i wzbudnik kalibracji 4294, sondę obrotomierza MM360, zestaw mikrofonów 4189-A-021 i akcelerometr 4515-B. Pomiary i analizy są wykonywane przy użyciu programu komputerowego PULSE time (program analizy FFT, analiza harmoniczna, rejestrator sygnałów) [4].

Ponadto system oceny wibroakustycznej maszyn został wyposażony w system pomiaru i analizy drgań oraz system zbierania danych MarVib DC 750 firmy Inter Marine. MarVib DC 750 to urządzenie pomiarowe przeznaczone do ogólnej diagnostyki drgań maszyn wirujących. Jest to uniwersalne urządzenie pomiarowe działające jako miernik, analizator drgań, obrotomierz i wyważarka. Może być używany do ogólnych pomiarów drgań, oceny stanu maszyn zgodnie z normami, kontrolowania zużycia łożysk, pomiaru prędkości obrotowej i temperatury, a także do analizy przyczyny złego stanu maszyn i zrównoważenia wirników np. wentylatorów.

2.3. Kamera termowizyjna

Systemy termowizyjne są szeroko stosowane w diagnostyce przemysłowej do identyfikacji izolacji termicznej ścian, do badania przewodów elektrycznych, wykrywania pęknięć w elementach grzewczych lub chłodzących maszyn oraz do określania rozkładu ciepła w elementach maszyn, czy w przewodach przesyłowych mediów.

Zastosowanie kamery termowizyjnej sprawia, że proces kontroli stanu cieplnego urządzenia jest łatwiejszy, szybszy, bardziej precyzyjny i nie zależy od odległości i dostępu od miejsca pomiaru do urządzenia [7, 8].

Przenośna kamera termowizyjna FLIR E95 jest wyposażona w detektor 464x348. Ma czułość termiczną zależną od obiektywu wynoszącą do 0,03°C. Ma trzy zakresy temperatur: od -20°C do 120°C, od 0°C do 650°C i od 300°C do 1950°C. Urządzenie ma wbudowany aparat fotograficzny o rozdzielczości 5 Mpix, co umożliwia nagrywanie obrazu w formie wideo. Na rys. 2 przedstawiono pomiar temperatury podczas wykonywania operacji technologicznej.

Rys. 2. Pomiar temperatury turbosprężarki silnika spalinowego

2.4. Zestaw pomiarowy metodą emisji akustycznej (AE)

Metoda AE polega na detekcji i analizie sygnału akustycznego emitowanego przez materiał poddawany obciążeniom mechanicznym. Emitowane fale sprężyste są wynikiem uwalniania się energii w miejscu uszkodzenia. Zatem energia jest zjawiskiem związanym z procesem fizycznym zachodzącym w materiałach lub na ich powierzchni. Emisja akustyczna zachodzi podczas deformacji plastyczności, pękaniu, zmianach fazowych i strukturalnych, korozji, wyciekach i pękaniu włókien kompozytowych [6].

Zestaw metod emisji akustycznej składa się z rejestratora sygnału AE Node 1283USB, 75 kHz-1,1 MHz, przedwzmacniacza 26 dB i czujnika pomiaru emisji akustycznej 100-450 kHz. Urządzenie jest podłączone do komputera za pomocą USB i nie wymaga dodatkowego zasilania, co jest istotne podczas pracy na zewnątrz. Zestaw jest wyposażony w dedykowane oprogramowanie do rejestracji i analizy danych.

Zestaw pozwala na badania nieniszczące i pomiary zużycia części maszyn; takich jak: wtryskiwacze paliwa, pompy, poszycie kadłuba statku, rurociągi pracujące pod ciśnieniem, zbiorniki ciśnieniowe itp.

2.5. Wskaźnik ugięcia wału korbowego

Elektroniczny wskaźnik ugięcia wału korbowego LEMAG DI-5C zastępuje czasochłonne, ryzykowne i nieprzyjemne zadania „ręcznego” sprawdzania stanu ułożenia wału korbowego silnika. Dzięki swojej prostocie wskaźnik odchylenia może być regularnie używany do kontroli odchyśleń, a tym samym identyfikować potencjalne zagrożenia w celu wyeliminowania drogich w skutkach awarii. Urządzenie LEMAG DI-5C można łączyć z zestawem do pomiaru owalności tulei cylindrowej i porównywania zużycia tulei cylindrowej dla średnic 180–600 mm i skoku do 870 mm. Ma możliwość przechowywania 53 raportów z pomiarów (dla silników do 24 cylindrów).

LEMAG DI-5C jest wyposażony w mikroprocesor, który umożliwia użytkownikowi drukowanie i pobieranie wyników pomiarów. Składa się z przetwornika z różnymi prętami przedłużającymi ze stopu invar, co zapewnia minimalną rozszerzalność cieplną i mały błąd pomiaru.

2.6. Profilometr Hommel - Etamic W20

Jest to przenośne urządzenie przeznaczone do pomiarów chropowatości, falistości i parametrów profilu. Jego dane techniczne są następujące:

- zakres pomiarowy $\pm 300 \mu\text{m}$,
- maksymalne przesunięcie czujnika pomiarowego 20 mm,
- długość przesunięcia czujnika zgodnie z ISO/JIS: 1,5; 4,8; 15 mm; do MOTIF: 0,64; 3,2; 16 mm,
- przyrząd umożliwia wybór czterech podstawowych sekcji: 0,08 mm; 0,25 mm; 0,8 mm; 2,5 mm.

Urządzenie W20 jest wyposażone w czuły ekran dotykowy. Siedem programów pomiarowych i jeden do celów weryfikacji są wbudowane razem z czterema podstawowymi klawiszami funkcyjnymi.

Testy chropowatości profilometrem W20 w gniazdach zaworów wydechowych silników okrętowych pozwalają na ocenę stanu zaworu i wstępny wybór technologii regeneracji zaworów. Na rys. 3 przedstawiono pomiar chropowatości przyłgni zaworu silnika.

Rys. 3. Pomiar chropowatości przyłgni zaworu wydechowego za pomocą profilometru W20

2.7. Mikroskop cyfrowy Smartzoom 5

Jest to precyzyjny mikroskop przemysłowy do pomiarów z dokładnością do 10^{-3} mm. Jest on wyposażony w układ optyczny z 1000-krotnym zoomem. Zautomatyzowany stół ma zakres ruchu 130 mm w kierunku osi X i 100 mm dla osi Y.

Podczas wykonywania pomiarów można zastosować następujące metody oświetlenia obiektu:

- oświetlacz pierścieniowy LED wbudowany w obiektyw,
- oświetlacz współosiowy LED,
- mieszane oświetlenie (jednoczesne oświetlenie osiowe i pierścieniowe) z niezależną regulacją intensywności każdego typu,
- iluminator diodowy dla obszaru roboczego.

Mikroskop umożliwia wykonanie obrazów zarówno 2D, jak i 3D. Szeroki obszar pomiarowy można uzyskać w wyniku scalenia obrazu 2D w płaszczyźnie XY (rys. 4).

Rys. 4. Pomiar średnicy dyszy wtryskiwacza

3. Wnioski

Modernizacja sprzętu pomiarowego pozwoliła na znaczne zwiększenie możliwości badawczych w zakresie diagnostyki silników oraz maszyn i urządzeń okrętowych. Zaowocowało to poszerzeniem oferty, poprawą jakości oraz przyspieszeniem prowadzonych prac badawczo-rozwojowych w zakresie bezpieczeństwa eksploatacji i diagnostyki urządzeń okrętowych. System pomiarowo-diagnostyczny umożliwia przeprowadzenie szerokiej gamy testów, na przykład:

- testy diagnostyczne działających układów silnika, w szczególności układu roboczego, turbodoładowania, układów wtrysku paliwa, układu olejowego,
- pomiary z wykorzystaniem wykresów indykatorowych do oceny procesu roboczego silnika i analizy emisji akustycznej, drgań, termowizji do diagnostyki silników okrętowych,
- ocena ugięcia wału korbowego i jakości tulei cylindrowych silników głównych i pomocniczych,
- badanie zużycia elementów silnika tj.. zawory wydechowe, końce wałów, w tym pomiary geometrii i chropowatości powierzchni,
- badanie stanu powierzchni, w szczególności par precyzyjnych mikroskopami pomiarowymi.

4. Literatura

1. Charchalis A.: Complex Measurement System for Enhancement of Capability for Marine Engines Diagnostics. Journal of Trans Nav, Gdynia 2013.

2. Charchalis A.: Diagnostics System of Marine Engines and Auxiliary Machinery. Journal of KONBIN 1(21), 2013.
3. Charchalis A.: Diagnostic and measurement system for marine engines. Journal of KONES, Vol. 19, No. 1, 2012.
4. Charchalis A., Szyfelbain M.: New methods of marine power plant diagnostics, Journal of KONES. Vol. 25, No. 1, Warsaw 2018.
5. Dereszewski M., Charchalis A., Polanowski S.: Evaluation of diagnostic information about marine engine work based on measurement of the angular speed discrete value. Journal of KONES, Vol. 19, No 2, 2012.
6. Dudzik K.: The possibility of application acoustic emission method for controlling friction stir welding of AW-5083 aluminium alloy sheets, In METAL 2017: 26th International Conference on Metallurgy and Materials. Ostrava: TANGER, 2017.
7. Minkina W., Rutkowski P., Wild W.: Podstawy pomiarów termowizyjnych, Metrologia pomiary termowizyjne, PAK 1/2000.
8. Molenda J., Charchalis A., Barylski A.: Research on Tool Temperature Dependence on Lapping Grains Size. Solid State Phenomena, Vol. 199, 2013.
9. Pawletko R., Polanowski S.: Influence of TDC determination methods on mean indicated pressure errors in marine diesel engines. Journal of KONES, Vol. 18, No. 2, 2011.