



Diagnostyka zmian współosiowości łożysk silnika okrętowego

ELIZA JARYSZ-KAMIŃSKA

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny,
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, Instytut Technologii Mechanicznej,
70-310 Szczecin, Al. Piastów 19

Streszczenie. W artykule zostało przedstawione zagadnienie pomiaru współosiowości elementów okrętowego układu napędowego na przykładzie pomiarów współosiowości gniazd łożysk głównych ośmiocylindrowego silnika okrętowego. Pomiary te zostały zrealizowane z wykorzystaniem urządzenia optycznego i urządzenia laserowego. W artykule dokonano analizy porównawczej wyników w celu dokonania wyboru wyposażenia, które umożliwi podjęcie decyzji o możliwości dalszej eksploatacji silnika.

Słowa kluczowe: okrętowy układ napędowy, współosiowość, osiowanie

Symbole UKD: 621.43

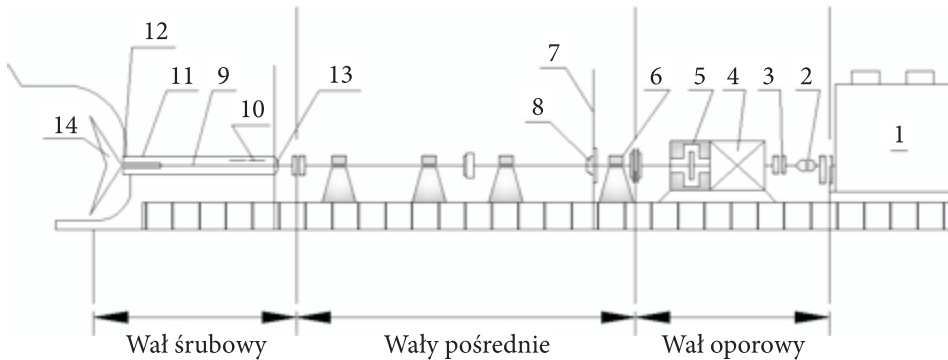
1. Wprowadzenie

Diagnostyka stanu elementów układu napędowego ma przede wszystkim za zadanie zapewnienie prawidłowej jego eksploatacji. Jej celem nadrzędnym jest możliwość wykonywania manewrów w każdej sytuacji na morzu. Brak możliwości manewrowania może prowadzić do kolizji z innymi jednostkami, wejścia na mieliznę czy nawet niemożliwości reagowania na warunki atmosferyczne poprzez brak zdolności manewrowej.

Dokładne ustawienie sprzęgniętych ze sobą elementów układu napędowego statku jest jednym z najważniejszych warunków długoletniej i bezawaryjnej pracy. Istotne jest odpowiednie ustawienie współpracujących ze sobą elementów układu napędowego jednostki pływającej polegające na dokładnym ustawieniu współosiowości wałów zespołów wchodzących w skład jego maszyn.

W skład okrętowego układu napędowego (rys. 1) wchodzi następujące elementy:

- 1 — silnik główny,
- 2 — sprzęgło rozłączne,
- 3 — sprzęgło stałe,
- 4 — przekładnia redukcyjna,
- 5 — łożysko oporowe (wzdłużne),
- 6 — łożysko nośne (poprzeczne),
- 7 — gródź wodoszczelna,
- 8 — dławica grodziowa,
- 9 — pochwa wału śrubowego,
- 10 — przednie łożysko (rufowe) wału śrubowego
- 11 — tylne łożysko (rufowe) wału śrubowego,
- 12 — dławica rufowa pochwy wału
- 13 — dławica przednia pochwy wału,
- 14 — śruba napędowa.



Rys. 1. Schemat okrętowego układu napędowego

W artykule zostały przedstawione wyniki pomiarów zrealizowanych w trakcie prac remontowych jednostki pływającej przeprowadzanych w jednej ze szczecińskich stoczní remontowych.

2. Współosiowość elementów

Osiowanie jest procesem mającym na celu takie ustawienie dwu lub większej ilości maszyn, aby osie wałów tych maszyn podczas ich pracy w temperaturze roboczej stanowiły jedną linię prostą [4]. Mimo stałego rozwoju technologii, brakuje stosowanych powszechnie w przemyśle okrętowym systemów pomiarowych służących do

kontroli współosiowości. Budowa systemu diagnostycznego parametrów współosiowości elementów układu napędowego typu on-line jest skomplikowana ze względu na złożoność struktury kadłuba czy oddziaływania statyczne i dynamiczne połączeń wałów. Dążenia do nieinwazyjnego diagnozowania parametrów współosiowości elementów okrętowych układów napędowych w postaci samodzielnych systemów pomiarowych prezentowane są w publikacji S. Belaka [1].

Jako [2, 3] podstawowe źródła odchyłek wzajemnego położenia współpracujących elementów podaje się najczęściej:

- błędy powstałe w trakcie produkcji,
- zmiany wywołane przez rozszerzalność cieplną,
- błędy powstałe w trakcie montażu wynikające z technologii prac bądź klasy urządzeń pomiarowych,
- odkształcenia kadłuba,
- błędy wywołane zużyciem elementów.

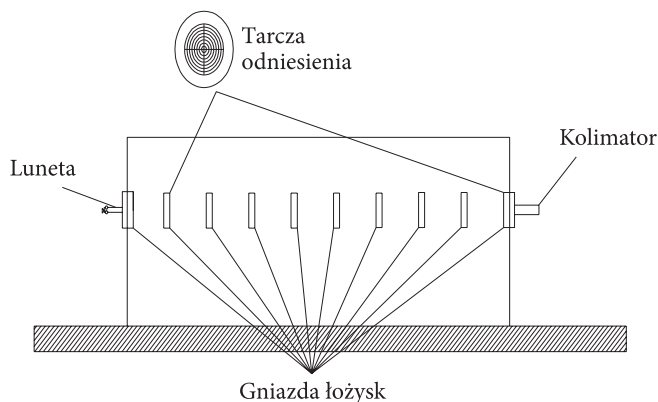
Czynniki takie jak zwiększone drgania maszyn, prowadzące do odkształcenia powierzchni kadłuba i fundamentów maszyn czy zwiększone zużycie łożysk, większe zużycie uszczelnień, znacznie szybsze zużycie sprzęgła prowadzą do eksploatacyjnego zużycia układu napędowego, który w bezpośredni sposób wpływa na pracę silnika i jego wskaźniki techniczno-ekonomiczne. Towarzyszą temu takie zmiany jak [5]: wydłużenie okresu zwłoki zapłonu, pogorszenie cech manewrowych, zmiany oporów tarcia, wzrost zużycia oleju i inne, których efektem jest stopniowe obniżanie mocy i sprawności silnika.

3. Pomiary współosiowości łożysk silnika

W trakcie prac remontowych dokonano demontażu silnika w celu podjęcia decyzji o jego dalszej eksploatacji. Po przetoczeniu łożysk ośmiocylindrowego silnika dokonano pomiarów kontrolnych gniazd głównych łożysk przy wykorzystaniu dwóch przyrządów pomiarowych. W celu analizy możliwości dopuszczenia danego silnika do dalszej eksploatacji pomiarów dokonano zarówno kolimatorem jak i urządzeniem laserowym typu Boraling Ultra firmy Prüftechnik.

3.1. Pomiary przy wykorzystaniu optycznego przyrządu pomiarowego

Przy pomiarze współosiowości gniazd łożysk silnika okrętowego od strony koła łańcuchowego zamocowano lunetę, a od strony rozrządu kolimator, na kolejnych łożyskach mocowano kolejno krążki pomiarowe. Schemat pomiaru współosiowości gniazd silnika przedstawiono na rysunku 2. Pomiarów dokonano na dziewięciu gniazdach, w których montowano kolejno krążki pomiarowe wraz z tarczami pomiarowymi, w dziesiątym gnieździe zostało zamontowane urządzenie pomiarowe w postaci kolimatora.



Rys. 2. Schemat pomiaru współosiowości przy wykorzystaniu kolimatora

W trakcie pomiarów uzyskano następujące wyniki przedstawione w tabeli 1.

TABELA 1

Wyniki pomiarów [mm] uzyskane przy wykorzystaniu kolimatora

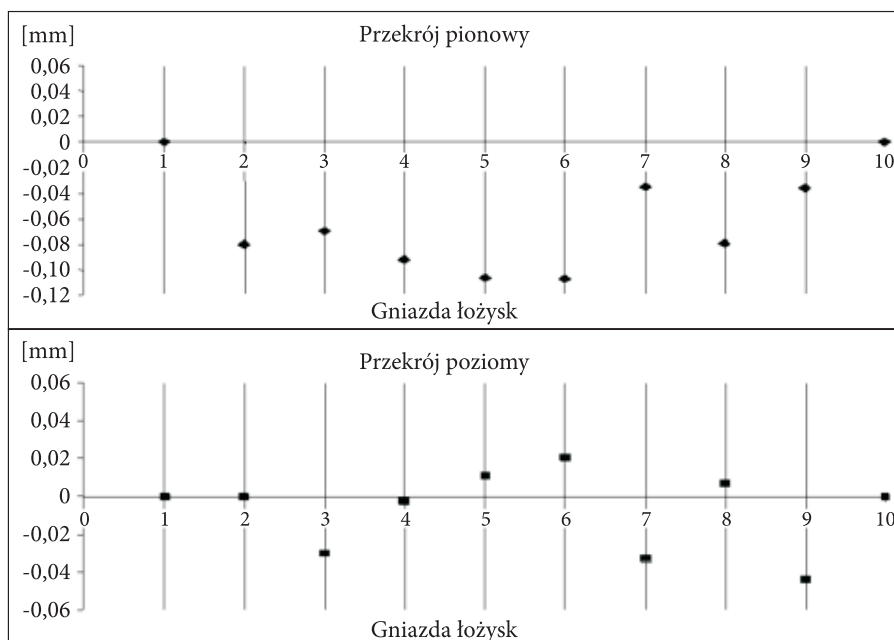
Łożysko	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dół	0,05	0,09	0,11	0,13	0,11	0,12	0,09	0,05	0,06	Kolimator
Góra										
Prawo	0,04	0,05		0,02	0,03	0,08	0,05	0,04	0,04	
Lewo			0,01							

W celu potwierdzenia uzyskanych przy wykorzystaniu urządzenia optycznego wyników pomiarów dokonano pomiarów porównawczych przy wykorzystaniu urządzenia laserowego firmy Prüftechnik.

3.2. Pomiary z wykorzystaniem laserowego przyrządu pomiarowego

Do przeprowadzenia pomiarów wykorzystano urządzenie laserowe Boring Ultra firmy Prüftechnik. Urządzenie to pozwala nie tylko na określenie błędu kształtu, ale także rzeczywisty pomiar środka otworu. Jedną jednostkę pomiarową urządzenia (emitującą promień) zamontowano w gnieździe łożyska od strony koła zamachowego, drugą podłączoną do wyświetlacza instalowano kolejno na dziesięciu gniazdach łożysk, gdzie dokonywano pomiarów.

Uzyskane wyniki, wygenerowane przez oprogramowanie urządzenia, przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Wyniki pomiarów uzyskane w trakcie osiowania silnika laserem

4. Analiza wyników uzyskanych przy wykorzystaniu wybranych przyrządów pomiarowych

Wyniki przeprowadzonych pomiarów mieszczą się w wymaganych przez dział jakości i armatora tolerancjach wykonania i dokładnościach zawartych w specyfikacji technicznej związanej z procesem montażu okrętowych układów napędowych. Dokładności wykorzystywanych przyrządów pomiarowych są wystarczające w istniejących w trakcie prac warunkach technicznych.

Wybrane statystyki uzyskanych wyników pomiarowych przedstawiono w tabeli 2. Zestawienie to zawiera miary zróżnicowania (odchylenie standardowe, wariancja próbki), wartość średnią i błąd standardowy (definiowany jako odchylenie standardowe od wartości średniej). Statystyki opisowe wyznaczono na podstawie 18 wyników pomiarów uzyskanych z wykorzystaniem kolimatora (tab. 1) i 56 wyników uzyskanych łącznie na kolejnych gniazdach z zastosowaniem urządzenia laserowego. Na każdym kolejnym gnieździe dokonywano 5 lub 6 pomiarów w zależności od dokonywanego przez operatora ustawienia końcówki pomiarowej.

Niska wartość wariancji jak i odchylenia standardowego wskazuje na niewielki rozrzut zmiennych i rozkład danych zbliżony do normalnego. Błędy standardowe uzyskanych wyników różnią się o rząd wielkości i przedstawiają się następująco:

0,008914 mm dla pomiarów współosiowości przy wykorzystaniu kolimatora i 0,000528 mm dla pomiarów przeprowadzanych przy wykorzystaniu urządzenia laserowego.

TABELA 2

Zestawienie wybranych statystyk wykonywanych pomiarów

	Osiowanie przy wykorzystaniu kolimatora	Osiowanie przy wykorzystaniu Boraling Ultra
Średnia	0,065882	0,000352
Błąd standardowy	0,008914	0,000528
Odchylenie standardowe	0,036752	0,003881
Wariancja próbki	0,001351	1,51E-05
Poziom ufności 99%	0,0316	0,0014

5. Pomiary przy wykorzystaniu urządzeń optycznych bądź laserowych

Zastosowanie wyposażenia pomiarowego do konkretnych zadań pomiarowych zależy jest zarówno od wymagań technologicznych procesu produkcyjnego, właściwości mierzonych elementów, cech użytkowych samego wyposażenia czy doświadczenia personelu wykonującego pomiar. Możliwe jest wykorzystanie różnego rodzaju wyposażenia pomiarowego do pomiarów elementów układu napędowego. W artykule omówione zostało zastosowanie wyposażenia optycznego i laserowego na przykładzie dwóch wybranych z tych grup przyrządów pomiarowych. Jakże są więc różnice w zastosowaniu tego rodzaju wyposażenia pomiarowego? Oto kilka różnic, jakie mogą być wyznacznikiem doboru wyposażenia do tego rodzaju pomiarów:

- oba urządzenia umożliwiają pomiary elementów wielkogabarytowych,
- urządzenie laserowe umożliwia jednoczesny pomiar w położeniu poziomym i pionowym, a urządzenie optyczne daje możliwość jednoczesnego monitorowania tylko w jednym położeniu,
- wyższa dokładność ustawienia elementów przy wykorzystaniu urządzenia laserowego,
- czas wykonywania pomiarów dla obu przyrządów jest porównywalny,
- czas przygotowawczy do wykonania pomiaru dla kolimatora obejmuje wykonania krawków pomiarowych, co wymaga zarówno wykonania projektu jak i zlecenia jego wykonania, co generuje zwiększoną pracochłonność takiego procesu pomiarowego,

- konieczność wykonania oprzyrządowania dodatkowego dla kolimatora uniemożliwia wykonanie pomiaru bezpośrednio po wpłynięciu na nie zlecenia,
- wykorzystanie szklanych szkiełek pomiarowych przy pomiarze z wykorzystaniem kolimatora powoduje zagrożenia nietrwałości elementów oraz ich podatności na uszkodzenia,
- urządzenie laserowe pozwala na szybką interpretację danych przez system, daje również możliwość pokazania przestrzennego obrazu obiektu mierzonego w przejrzystej i zrozumiałej formie graficznej,
- w przypadku pomiarów w warunkach zanieczyszczenia otoczenia (pyły, spawanie) może nastąpić przerwanie wiązki lasera, co wiąże się z koniecznością powtórzenia pomiaru.

6. Podsumowanie

Jakie kryterium powinno być głównym wyznacznikiem doboru wyposażenia pomiarowego w danym systemie pomiarowym? Czy powinna być to szybkość i prostota pomiaru, uniwersalność bądź możliwość pomiaru dowolnej wielkości, dokładność czy tylko względy ekonomiczne związane z kosztami wykonania takiego pomiaru? Na tego rodzaju pytania odpowiedzi szukają wszyscy wykonawcy pomiarów. Jednak w zależności od charakteru działalności przedsiębiorstwa, doświadczenia personelu i możliwości finansowych wybierane są różne rozwiązania dla tego samego rodzaju pomiarów. Dlatego należy tu rozważyć, czy różnego rodzaju wyposażenie pomiarowe może być używane zamiennie do tego samego rodzaju pomiarów. Przyrząd optyczny jest prosty i łatwy w montażu, zaletą jest również to, że jest mniej wrażliwy na zakłócenia zewnętrzne, z jakimi mamy do czynienia w przemyśle okrętowym, niż wyposażenie laserowe. Niewątpliwą zaletą laserowego wyposażenia pomiarowego jest możliwość szybkiego montażu końcówek pomiarowych, ich obecność w zestawie i brak konieczności tworzenia wyposażenia dodatkowego, jak i możliwość zapisywania danych i szybkiej ich analizy z możliwością graficznego przedstawienia. Wyniki uzyskane podczas pomiarów przy wykorzystaniu obu przyrządów pomiarowych (kolimator, przyrząd laserowy) wykazują identyczne błędy kształtu gniazd łożysk silnika w przekroju poprzecznym (błędy owalności) jak i brak współosiowości kolejnych gniazd łożysk, jednak z różną dokładnością. W oparciu o wymaganą dokładność pomiarów w procesach montażu poszczególnych składowych elementów układu napędowego oba przyrządy pozwalają na osiągnięcie zadanych wartości i spełniają stawiane im wymagania technologiczne. Pomiarzy wykonane przy wykorzystaniu zarówno przyrządu optycznego jak i laserowego wskazują brak możliwości dalszej eksploatacji danego osmiocylinowego silnika okrętowego.

Artykuł wpłynął do redakcji 3.11.2009 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w listopadzie 2009 r.

LITERATURA

- [1] S. BELAK, *System model for ship hull motions and deformations determining in the sailing conditions*, OCEANS '04 MTTs/IEEE TECHNO-OCEAN, 2, 9-12 Nov. 2004.
- [2] S. BIAŁAS, *Technologia budowy maszyn: pomiary, tolerancje i pasowania, zamienności*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1972.
- [3] Z. DĄBROWSKI, *Wały maszynowe*, PWN, Warszawa, 1999.
- [4] Prüftechnik Wibrem, *Osiowanie prostsze niż myślisz*, 2005.
- [5] J. K. WŁODARSKI, *Stany eksploatacyjne okrętowych silników spalinowych*, Wydawnictwo Uczelniane Wyższej Szkoły Morskiej, Gdynia, 2001.

E. JARYSZ-KAMIŃSKA

Diagnostics of changes in concentricity of bearings of marine engine

Abstract. The problem of line concentricity of components in a propulsion system on the example of alignment seating bearings of eight-cylinder engines has been presented in this paper. The measurement has been done with two kinds of equipment: optical instrument and laser instrument. The paper shows comparing analysis, the goal of which is to choose measuring equipment for making decision of further engine exploitation.

Keywords: propulsion system, concentricity, shaft alignment

Universal Decimal Classification: 621.43