

ESTIMATION OF OPERATING WEAR OF THE CYLINDER LINERS OF MARINE DIESEL ENGINES OF MAIN PROPULSION

Jan Monieta

*Maritime University Szczecin
Institute of Marine Power Plant Operation
Wały Chrobrego 2
70-500 Szczecin,
phone: +48 91 48-09-415; 48-09-479
fax: +48 91 480-95-75
e-mail: jmonieta@am.szczecin.pl*

Abstract

The paper presents the results of operational investigations of wear of cylinder liners of the piston marine diesel engines type Sulzer 6RLB66, employed as main propulsion of ships. These cylinder liners underwent frequent sudden and gradual failures also intense wear. So, fault states of engines and breaks in exploitation of ships.

There have been carried investigations of wear of cylinder lines it engines in real and differentiated operational conditions. These investigated engines was supplied a residual fuels and they worked with variable rotary speed and loads, depending on region of swimming and shipping tasks. The estimation of wear have been carried at employment of passive experiment, mainly a metric method, on base of record of measurement executed by crew and serving firms in engine documentation and deck computers.

OCENA EKSPLOATACYJNEGO ZUŻYCIA TULEI CYLINDROWYCH OKRĘTOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH NAPĘDU GŁÓWNEGO

Streszczenie

Referat zawiera wyniki badań eksploatacyjnych zużycia tulei cylindrowych tłokowych okrętowych silników spalinowych typu Sulzer 6RLB66, zastosowanych jako napęd główny statków morskich. Tuleje te ulegały częstym uszkodzeniom nagłym i stopniowym oraz intensywnemu zużyciu. Miały miejsce, więc stany niezdatności silników i przerwy w eksploatacji statków.

Prowadzono badania zużycia tulei cylindrowych tych silników w rzeczywistych i zróżnicowanych warunkach eksploatacji. Badane silniki były zasilane paliwami pozostałościowymi i pracowały ze zmiennymi prędkościami obrotowymi oraz obciążeniami, w zależności od regionu pływania i zadań przewozowych. Ocenę zużycia przeprowadzono przy zastosowaniu biernego eksperymentu, głównie metodą metryczną, na podstawie zapisów pomiarów wykonanych przez załogę oraz firmy obsługujące w dokumentacji maszynowe i komputerach pokładowych.

1. Wstęp

W pracy postanowiono dokonać analizy zużycia tulei cylindrowych silnika 6RLB66 i określenia przyczyn nadmiernej intensyfikacji zużycia tych podzespołów. Nadmierne zużycie tego węzła sprzyja uszkodzeniom nagłym. Nagłe i stopniowe osiągnięcie stanu niezdatności, eliminujące tuleje z eksploatacji, stwarzają niekiedy poważne kłopoty eksploatacyjne [1, 5, 6]. Wymagają one wyłączenia silnika z eksploatacji i poddania go odnowie polegającej na wymianie niezdatnego podzespołu, elementu lub eksploataowaniu silnika w stanie niepełnej zdatności z obniżoną prędkością obrotową i/lub wyłączonym z pracy cylindrem. Uszkodzenia te powodują znaczny wzrost kosztów eksploatacji statku,

spowodowanych przez koszty zakupu nowej części wymiennej, koszty sprowadzenia tej części, a także przedłużenie przestoju statku (wyłączenie z eksploatacji) i koszty robocizny [1, 3].

Podejmowano próby zmiany konstrukcji i technologii wykonania tulei, lecz problem nie został zadowolająco rozwiązany [4].

W badaniach postawiono tezę, która brzmi następująco: zużycie tulei cylindrowej nie jest istotnie zależne od czasu pracy.

2. Metoda badań

W badanym silniku 6RLB66 stwierdzono wiele rozległych nagłych i stopniowych uszkodzeń tłoków i tulei cylindrowych, które zakończyły się ich wymianą [5, 6, 8]. Uszkodzenia takie były sygnalizowane wzrostem temperatury wody chłodzącej, stukami w cylindrze, spadkiem ciśnienia sprężania i/lub spalania, przeciekami wody chłodzącej do wewnątrz cylindra przez pęknięcia w tulei cylindrowej, przeciekami wody z tłoka i rur teleskopowych. Niektóre uszkodzenia i pęknięcia stwierdzono dopiero w czasie przeglądów okresowych tulei cylindrowych (40% próby). W czasie przeprowadzania diagnostyki bezdemontażowej i pomiarów po demontażu stwierdzono nadmierne zużycie tulei cylindrowych.

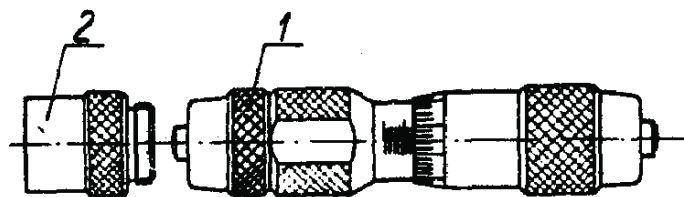
Do badań eksploatacyjnych przyjęto informacje o 37 nadmiernie zużytych i/lub uszkodzonych tulejach cylindrowych z jednego silnika i jednocześnie statku. Wyodrębniono trzy stany niezawodnościowe silnika RLB, ze względu na stan tulei cylindrowej: stan pełnej zdatności, stan zdatności częściowej przy obniżonych parametrach silnika w celu doprowadzenia statku do dogodnego miejsca naprawy i stan niezdatności w chwili stwierdzenia uszkodzenia danego elementu eliminującego go z dalszej eksploatacji.

Badane silniki przystosowano do spalania paliw pozostałościowych, nawet najniższej jakości. Paliwa te charakteryzują się wysoką lepkością (do 700 cST w 15°C), wymagające ich podgrzewania przed wtryskiem, dużą zawartością siarki (do 5%) oraz dużą zawartością zanieczyszczeń. Po spalaniu takich paliw pozostaje dużo popiołu, przedostającego się do powierzchni współpracy pomiędzy tuleją i pierścieniem tłokowe.

3. Techniki pomiarowe

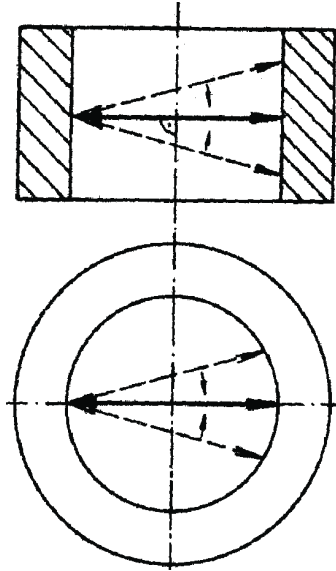
Pomiary zużycia tulei cylindrowej dokonywane były, gdy tuleja znajdowała się w bloku cylindrowym. Aby możliwe było porównanie pomiarów przeprowadzano je w tych samych miejscach. Pomiary wykonywano w kierunku wzdłużnym jak i poprzecznym do osi silnika.

Pomiarów średnic wewnętrznych tulei cylindrowych dokonywano za pomocą średnicówki mikrometrycznej (rys. 1) o działce elementarnej $\pm 0,01$ mm. Aby było możliwe porównywanie wyników, używano szablonu mierniczego, który pozwalał na pomiar w tych samych punktach pomiarowych [9, 10]. Pomiary wykonywały załogi maszynowe statku oraz firmy przeprowadzające obsługi.



Rys. 1. Średnicówka mikrometryczna: 1 – końcówka, 2 – przedłużacz
Fig. 1. Inside micrometer: 1 – tip, 1 – extension rod

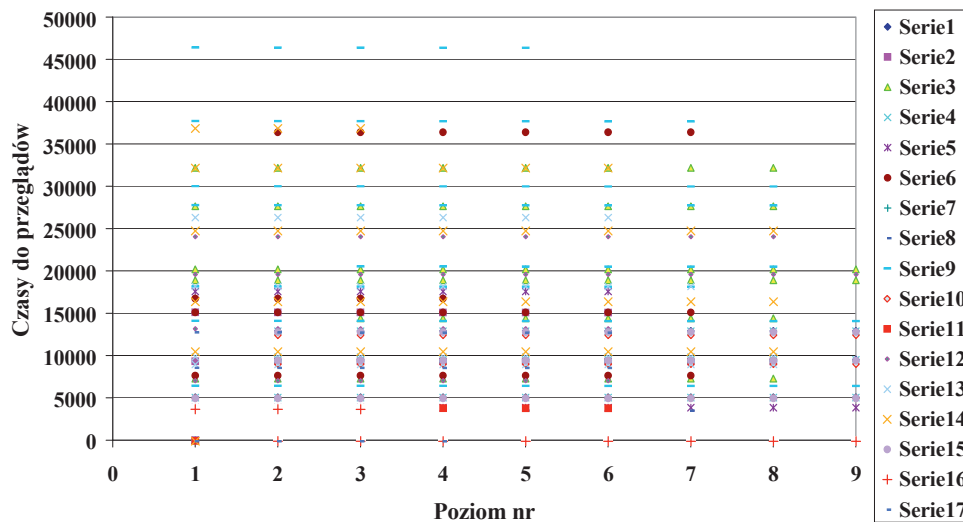
W pierwszej kolejności sprawdzano czy mierzony wymiar mieścił się w zakresie pomiarowym średnicówki [2]. Jeżeli się nie mieścił to odkręcano końcówkę 1, na jej miejsce wkręcano przedłużacz 2 o odpowiedniej długości, a w niego wkręcano końcówkę 1. Następnie oczyszczano i osuszano powierzchnię tulei. Pomiaru dokonywano przez ustawienie średnicówki tak, aby w przekroju wzdłużnym tulei znaleźć odległość najmniejszą, a w poprzecznym największą (rys. 2).



Rys. 2. Schemat ustawienia średnicówki mikrometrycznej w otworze tulei cylindrowej
 Fig. 2. Scheme alignment of inside micrometer in hole of cylinder line

Jednakże takie ustawienie średnicówki jest utrudnione, a wynik pomiaru jest niejednoznaczny, co zwiększa błąd pomiaru, podobnie jak brak sprzęgła zapewniającego stały nacisk [2].

Na rys. 3 przedstawiono punkty, które obrazują przebieg czasu do obsługi poszczególnych tulei cylindrowych i poziomy pomiarowe, w których tuleje były mierzone. Wykresy sporządzono dla dwóch kierunków pomiaru: D – R – wzdłuż osi silnika, L – P – poprzecznie do osi silnika.



Rys. 3. Czasy pracy do obsługi tulei cylindrowych
 Fig. 3. The time works for maintenances of cylinder liners

Z rys. 3 wynika, że pomiary dokonywane na tulejach cylindrowych nie były przeprowadzane na wszystkich poziomach pomiarowych. W poziomach powyżej 6. dokonano mniej pomiarów niż w 1 - 5. Utrudnieniem w ocenie zużycia jest również to, że nie wszystkie badane elementy były mierzone na początku eksploatacji i po wystąpieniu uszkodzenia.

Przykładową powierzchnię wewnętrzną eksploatowanej tulei cylindrowej, którą wymieniono z powodu pęknięć w okolicach okien dolotowych i kropłowego wycieku wody z tych pęknięć po 4 792 godzinach pracy, przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Widok powierzchni wewnętrznej patologicznie zużytej i uszkodzonej tulei cylindrowej silnika 6RLB66 w okolicy okien dolotowych

Fig. 4. View of inside surface of pathological wear and damaged of cylinder liners of engine 6RLB66 in parts of scavenge ports

Na rys. 4 widać, że w rejonie okien dolotowych występuje zużycie ściernie. Na powierzchni tarcia są widoczne pionowe rysy, równomiernie rozłożone na obwodzie, świadczące o zużyciu ściernym powierzchni [12, 13]. Powierzchnia tarcia jest matowa. Widoczne są ślady osadów pozostałych po spalaniu paliwa i oleju. Przyczyną mogła być wadliwa praca zaworu wtryskowego, który został wymieniony. Przy wzroście średnicy kropeł wtryskiwanego paliwa, występuje osiadanie kropeł paliwa na gładzi cylindra. W ten sposób wzrasta ilość niezupełnie spalonych cząstek paliwa, które stanowią główny składnik nagarów w komorze spalania. Widoczne są także ślady mikrozatarć, prawdopodobnie spowodowane pogorszeniem się warunków smarowania, na skutek przedmuchu spalin.

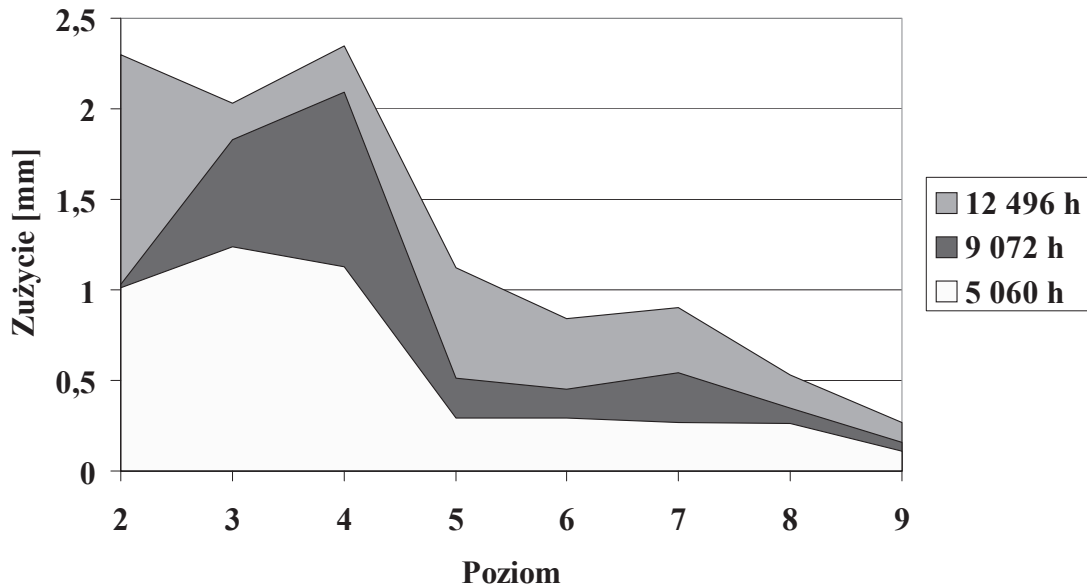
4. Przykładowe wyniki badań zużycia

Na rys. 5 i 6 przedstawiono przykładowe warstwowe wykresy zużycia tulei cylindrowych w płaszczyznach pomiarowych prostopadłych do osi podłużnej tulei. Pomiary dokonywano w dwóch kierunkach: D – R – wzdłuż osi silnika, L – P – poprzecznie do osi silnika.

Z rys. 5 i 6 wynika, że większe zużycie wystąpiło w kierunku wzdłużnym do osi silnika. Na rysunkach tych przedstawiono wykres zużycia tulei cylindrowej, która uległa uszkodzeniu po 12 496 godzinach pracy. Po 9 072 godzinach nastąpiło pęknięcie głowicy, a także wymieniono wtryskiwacz, który był najprawdopodobniej powodem większego zużycia do drugiej obsługi. Stwierdzono również lokalne zatarcie płaszcza tłoka, zużycie pierścieni przeciwzatarciowych, zużycie rowków olejowych na płaszczu i początki pęknięć między

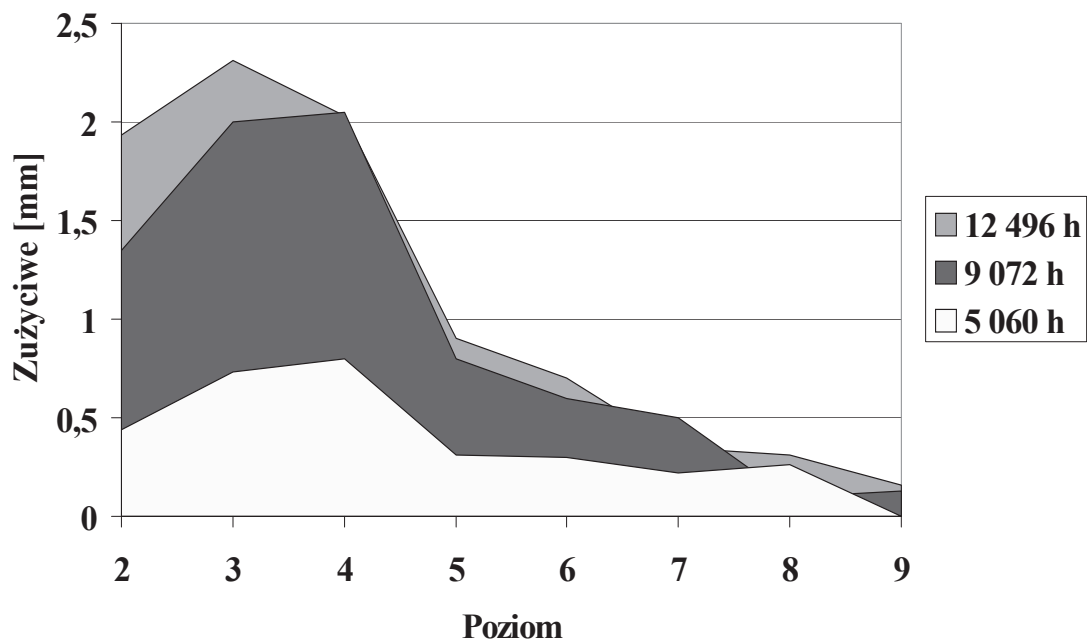
pierwszym a drugim rowkiem pierścieniowym. Wraz z uszkodzeniem tulei uszkodzony został tłok.

Rysunki 7 i 8 przedstawiają uśrednione zużycie na 1 000 godzin pracy, czternastu badanych tulei cylindrowych w dwóch kierunkach i dziewięciu poziomach pomiarowych.



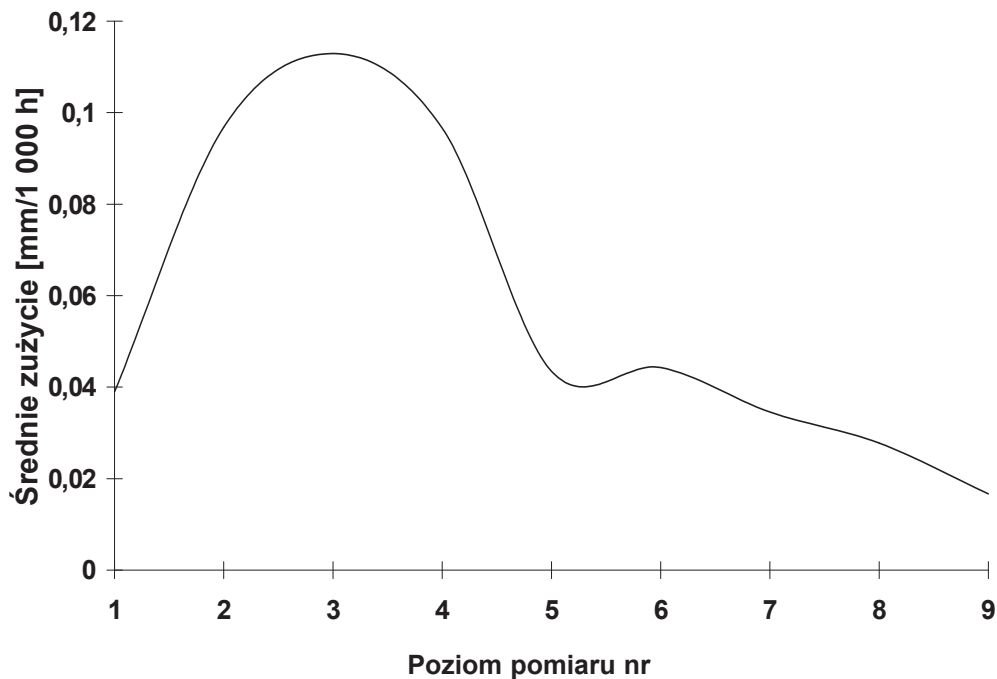
Rys. 5. Wykres warstwowy zużycia ścianki przykładowej tulei cylindrowej silnika 6RLB66 w kierunku D – R (dziob – rufa)

Fig. 5. The stratified graph wears of wall exemplary cylinder liner of engine 6RLB66 in the direction D – R (bow – stern)



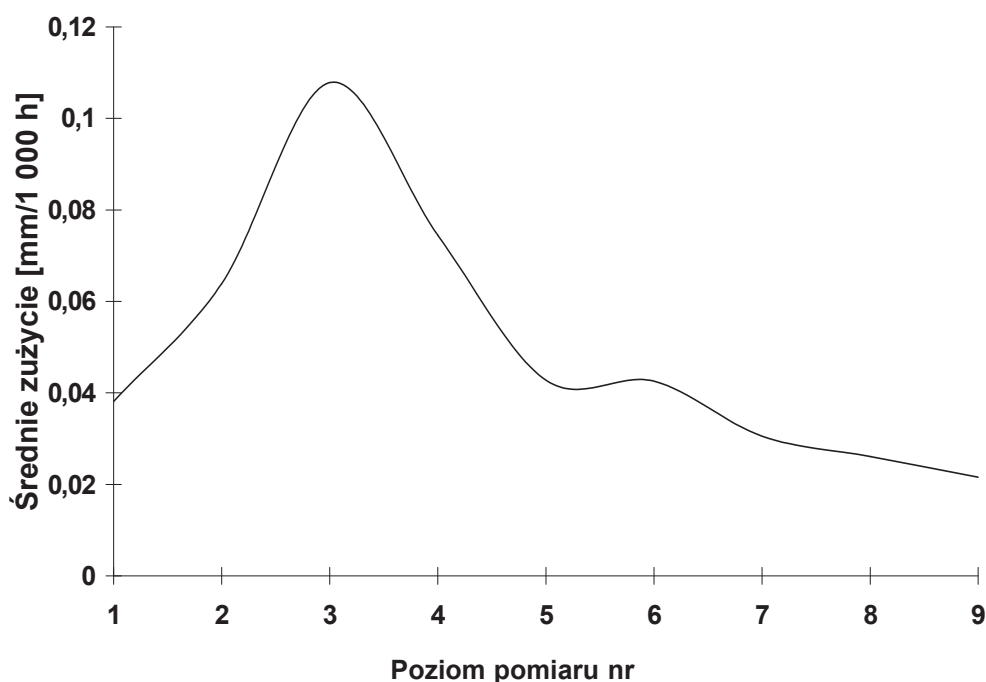
Rys. 6. Wykres warstwowy zużycia ścianki przykładowej tulei cylindrowej silnika 6RLB66 w kierunku L – P (lewa burta – prawa burta)

Fig. 6. The stratified graph wears of wall exemplary cylinder liner of engine 6RLB66 in the direction L – P (port side – starboard side)



Rys. 7. Uśrednione zużycie 14 tulei cylindrowych na 1 000 godzin pracy w kierunku wzdłużnym do osi silnika 6RLB66

Fig. 7. Averaging wear of 14 cylinder liners on 1 000 working hours in the direction along pivot of engine 6RLB66



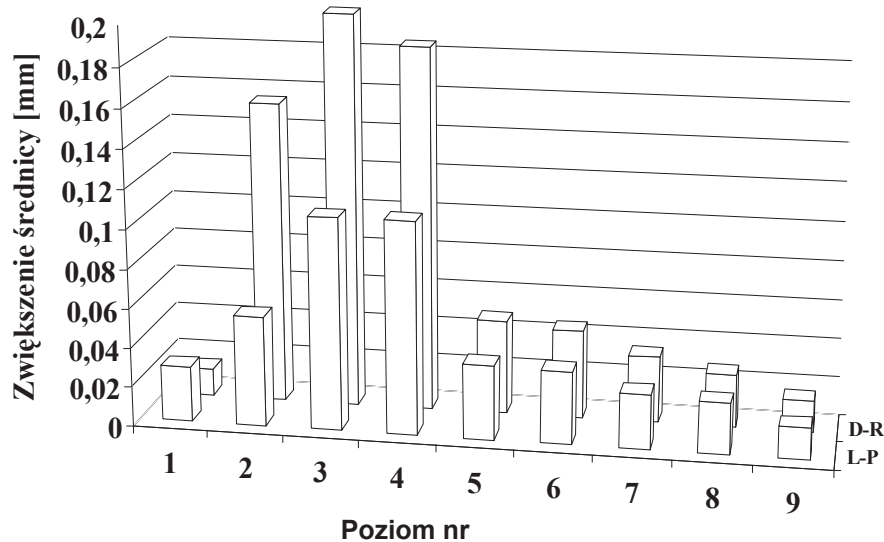
Rys. 8. Uśrednione zużycie czternastu tulei cylindrowych na 1 000 godzin pracy w kierunku poprzecznym do osi silnika 6RLB66

Fig. 8. Averaging wear of 14 cylinder liners on 1 000 working hours in traverse direction for crosswise pivot of engine 6RLB66

Z rys. 7 i 8 wynika, że największe zużycie tulei występowało na trzecim poziomie oraz ogólnie większe zużycie pojawiało się w górnej części tulei, gdzie wyższe są temperatury

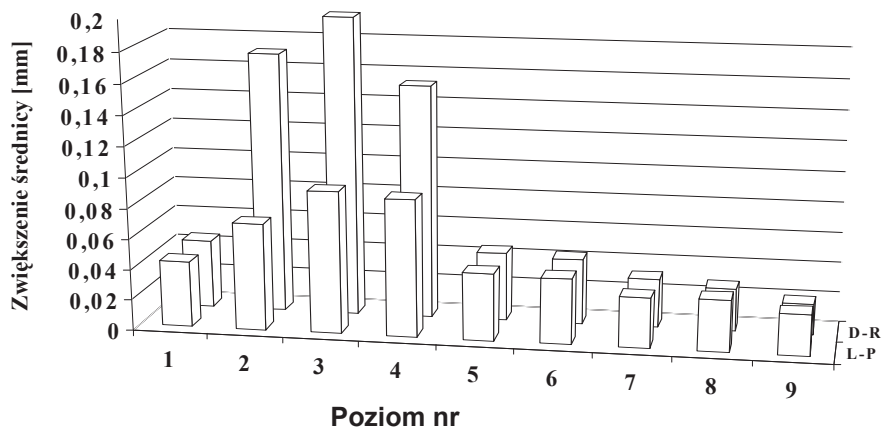
w pobliżu komory spalania. Na tych poziomach zużycie jest większe od oczekiwanych wartości [11].

Na rys. 9 i 10 przedstawiono przykładowe zróżnicowanie zużycia tulei w dwóch płaszczyznach wzajemnie prostopadłych. Wykres sporządzono dla średniego zużycia na 1 000 godzin pracy tulei.



Rys. 9. Średnie zwiększenie średnicy tulei cylindrowych w poszczególnych poziomach pomiarowych oraz dwóch kierunkach pomiaru na 1000 h pracy: D – R, L – P

Fig. 9. Average increase of inside diameters of cylinder liner in each measuring levels and two measuring directions on 1 000 h working hours: D – R, L – P



Rys. 10. Średnie zwiększenie średnicy tulei cylindrowej w poszczególnych poziomach pomiarowych oraz dwóch kierunkach pomiaru na 1000 h pracy: D – R, L – P

Fig. 10. Average increase of inside diameters of cylinder liner in each measuring levels and two measuring directions on 1 000 h working hours: D – R, L – P

Z rysunków 9 i 10 wynika, że większe zużycie wystąpiło wzdłuż osi silnika, co może być spowodowane oscylacyjnym ruchem tłoka, wywołanym drganiami skrętnymi i wzdłużnymi wału, kołysaniem wzdłużnym statku itp. Na nielicznych tulejach stwierdzono, że w płaszczyźnie poprzecznej do osi silnika obserwuje się większe zużycie, tak zwaną beczkowatość, która jest spowodowana oddziaływaniem tłoka na tuleję oraz asymetrią obciążenia gazowego i cieplnego spowodowaną położeniem okien wylotowych.

5. Podsumowanie

W około 39% zdarzeń tłoki i tuleje cylindrowe uszkadzały się w przedziale czasu od 3 500 do 10 000 godzin. Powodem uszkodzeń w tym czasie było zużycie i zwiększony luz w węzle tribologicznym oraz możliwość przedmuchu spalin wzdłuż tulei cylindrowej. Następowo w ten sposób zwiększenie temperatury i możliwość pojawienia się lokalnego zużycia adhezyjnego. Na uszkodzonej powierzchni tworzyła się mikroskopowa siatka pęknięć powierzchniowych, które przy długotrwałym oddziaływaniu przekształcały się w głębokie pęknięcia zmęczeniowe.

Największe zużycie występowało w górnej części tulei cylindrowej, do czwartego poziomu pomiarowego, co jest wynikiem wyższej temperatury w okolicach komory spalania.

Nietypowe jest to, że w większości przypadków stwierdzono zwiększone zużycie tulei cylindrowej wzdłuż osi silnika. Może to świadczyć o oscylacyjnym ruchu tłoka, spowodowanym drganiami skrętnymi i wzdłużnymi wału.

Postawiona na samym początku teza została potwierdzona, ponieważ z badań wynika, że trwałość tulei jest bardzo niska i rozproszona. Zużycie istotniej zależy od lokalizacji w płaszczyźnie poprzecznej do osi silnika, niż od czasu eksploatacji. Zużycie zależy również od warunków eksploatacji i rejonów pływania, a także niedoskonałości konstrukcji [7, 8].

Literatura

- [1] Adamkiewicz W., Hempel L., Podsiadło A., Śliwiński R., Badania i ocena niezawodności maszyn w systemie transportowym. WKiŁ, Warszawa 1983.
- [2] Bartosiewicz H., Metrologia warsztatowa. Ćwiczenia laboratoryjne. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1982.
- [3] Culin W., Lemski J., Effect of operating influences on wearing speed of marine diesel engine elements. EXPO-DIESEL & GAS TURBINE'01. Gdańsk – Międzyzdroje – Kopenhaga, p. 73 – 78.
- [4] Grześkowiak J., Kotkowski K., Wołyńska-Mrowicka E., Heppel K., Nosal S., The effect of some selected factors on the running – in performance of a node modeling the marine engine cylinder liner – piston ring sliding pair. EKSPLO-DIESEL & GAS TURBINE '01. Gdańsk – Międzyzdroje – Kopenhaga 2001, p. 115 – 122.
- [5] Monieta J., Analysis of failures of cylinder liners of the low-speed marine diesel engines type 6RLB66. Journal of KONES 2001, No. 1 – 2, s. 93 – 99.
- [6] Monieta J., Failures of cylinder liners of the low-speed marine diesel engines Sulzer type RLB. Collection Of Research Papers of The Baltic Assotiation of Engineering Experts No. 3 Kaliningrad 2003, p. 3 – 6.
- [7] Monieta J., Metoda oceny eksploatacyjnego zużycia tulei cylindrowych okrętowych silników spalinowych napędu głównego. Journal of KONES 2003 Vol. 10, No. 1 – 2, s. 209 – 216.
- [8] Monieta J., Wpływ warunków zewnętrznych na niezawodność silników okrętowych napędu głównego. XXII Sympozjum Siłowni Okrętowych. Szczecin, 2001, s. 189 – 1994.
- [9] Niewczas A., Trwałość zespołu tłok – pierścienie tłokowe – cylinder silnika spalinowego. WNT, Warszawa 1998.
- [10] Piaseczny L., Technologia napraw okrętowych silników spalinowych. WM, Gdańsk 1992.
- [11] Piotrowski I., Witkowski K., Okrętowe silniki spalinowe. Wyd. TRADEMAR, Gdynia 1996.
- [12] PN-91/M-04301. Tribologia. Terminologia podstawowa.
- [13] Włodarski J. K., Eksploatacja maszyn okrętowych. Tarcie i zużycie. Wyd. Wyższej Szkoły Morskiej w Gdyni, Gdynia 1998.