

# APARATURA

## BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

### **Analiza przyczynowo-skutkowa degradacji tłoka i tulei cylindrowej w silniku zasilanym olejem napędowym w aucie eksploatowanym we flocie pojazdów firmowych**

KRZYSZTOF GARBALA<sup>1</sup>, PIOTR CYBULKO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INSTYTUT INŻYNIERII LASEROWEJ, BIELSKO-BIAŁA,

<sup>2</sup>AC S.A. CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU, BIAŁYSTOK

**Słowa kluczowe:** silnik, pojazd samochodowy, uszkodzenie tłoka, uszkodzenie cylindra

#### **STRESZCZENIE:**

W pracy przedstawiono mechanizm przyczynowo-skutkowy wadliwie zamontowanej tulei cylindrowej silnika spalinowego pojazdu samochodowego. Pokazano szczegółowo powstałe uszkodzenia poszczególnych części tej jednostki napędowej. Omówiono kierunki działania sił na poszczególne uszkodzone części.

### **Cause and effect analysis of the piston and cylinder bushing in a diesel engine in a car ship operated in a fleet of company vehicles**

**Keywords:** engine, motor vehicle, piston damage, cylinder damage

#### **ABSTRACT:**

This article is focused on the cause and effects of an incorrectly mounted cylinder sleeve of a car's internal combustion engine. Damage to the individual parts of the engine are shown in detail. The directions of the forces acting on the specific damaged parts are discussed.

## 1. WSTĘP

Samochody osobowe wchodzące w skład flot pojazdów firmowych zasilane są najczęściej olejem napędowym i pokonują wysokie przebiegi roczne, niż w autach wykorzystywanych cywilnie. Narażone są na ryzyko występowania usterek silnika w dużo krótszych odstępach czasu, w porównaniu z autami wykorzystywanymi cywilnie. Wynika to z konieczności częstszego ich użytkowania we flocie pojazdów oraz z wykorzystywania takiego auta przez wielu kierowców o różnych charakterystykach jazdy [1, 2].

## 2. PROBLEM BADAWCZY

Przykładem takiej usterki jest awaria silnika objawiająca się ubytkiem mocy przy wyprzedzaniu oraz problem z ogrzewaniem wnętrza pojazdu, które zaczyna poprawnie pracować po pokonaniu dystansu około 30 km. Podczas identyfikacji rzeczonych problemów stwierdzono ubytek płynu chłodniczego w zbiorniczku wyrównawczym, który skutkuje niesprawnością ogrzewania. Dodatkowo zaobserwowano pęcherzyki gazu w zbiorniczku wyrównawczym płynu chłodniczego. Test na obecność CO<sub>2</sub> w zbiorniczku wykazał jednoznacznie obecność gazów spalinowych (w tym CO<sub>2</sub>). Stwierdzono możliwość wystąpienia usterki uszczelki pod głowicą silnika lub pęknięcia bloku silnika, które to usterki skutkują przedostawaniem się gazów spalinowych do zbiorniczka wyrównawczego płynu chłodniczego [3÷5].

Naprawa bloku silnika i głowicy silnika przedmiotowego pojazdu polegała na m.in. umyciu bloku silnika, planowaniu, oraz na demontażu i montażu tulei cylindrowych rzeczonoego silnika.

Po wykonaniu tych czynności silnik został zamontowany na powrót w pojeździe. Po pokonaniu dystansu około 600 km samochód uległ ponownej awarii, która uniemożliwiła dalszą jazdę. Wtryskiwacze zostały poddane weryfikacji.

## 3. ANALIZA WŁASNA

W wyniku analizy danych przebadanych wtryskiwaczy zasilających rzeczony silnik stwierdzono poprawną ich pracę. Szczelność wtryskiwacza odnosi się do jego wydatku objętościowego i jest kluczowa dla poprawności rozpylania paliwa w komorze spalania oraz temperatury wewnątrz

komory spalania. Szczelność jest utrzymana w granicach normy, a rozbieżności we wtryskiwaczach kolejnych cylindrów nie są znaczące.

Blok silnika przedstawiono na Rysunku 1. Organoleptyczna kontrola stanu nie wykazała widocznych pęknięć bloku.



Rysunek 1 Blok silnika, w którym wystąpiła usterka

Na Rysunku 2 przedstawiono tłok, który pracował w cylindrze, gdzie wystąpiła awaria.

Tłok ma liczne pęknięcia wzdłużne i poprzeczne, co wskazuje na duże siły działające na ten element podczas pracy silnika. Zewnętrzna struktura denka tłoka wykazuje liczne ubytki powierzchniowe w postaci charakterystycznych śladów uderzeń i wyłamań w jego powierzchni. Ślady te są skutkiem wielokrotnego kontaktu denka tłoka z metalicznym ciałem bądź ciałami obcymi. Tłok ma także dużej wielkości ubytek w górnej części. Ubytek taki musiał zostać oderwany od zasadniczej struktury tłoka, w wyniku działania dużej siły wzdłużnej. Widok denka tłoka przedstawiony jest na Rysunkach 3. i 4. Brak jest śladów potwierdzających warunki pracy w podwyższonej (degradującej) temperaturze. Struktury skupiające obciążenia, cieplne takie jak: krawędzie tłoka czy elementy wystające ponad płaszczyznę denka tłoka, nie wykazują nadtopień obecnych w tłokach pracujących w temperaturach wyższych, niż są do tego zaprojektowane.



**Rysunek 2** Tłok, który pracował w cylindrze, gdzie wystąpiła awaria



**Rysunek 3** Powierzchnia denka tłoka



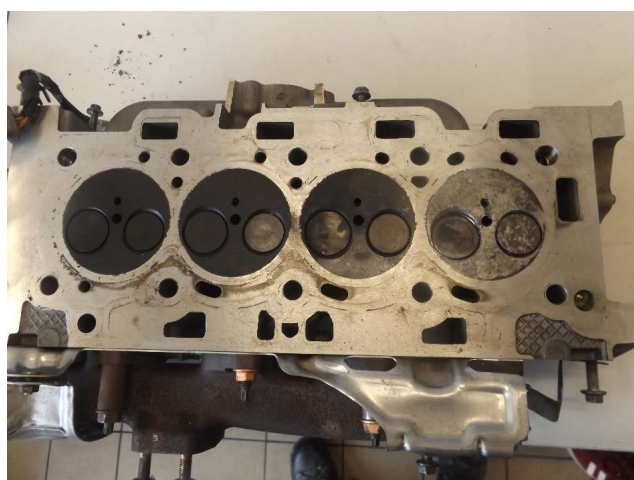
**Rysunek 4** Powierzchnia denka tłoka ( widoczne są liczne ubytki w powierzchni)

Górny pierścień tłokowy, charakteryzuje się deformacją kształtu spowodowaną wpływem na niego dużej siły działającej w osi góra – dół pracy tłoka. Występująca deformacja pierścienia wywierała nacisk na górną część tłoka. Potwierdza to kierunek wygięcia pierścienia. Pierścień oddziaływał siłą na górną część tłoka, czym wywołał jego pęknięcie i pokruszenie się jego części na kawałki. Odłamane kawałki tłoka znajdowały się w komorze spalania podczas pracy silnika. Tłok ze zdeformowanym górnym pierścieniem przedstawiony jest na Rysunku 5.



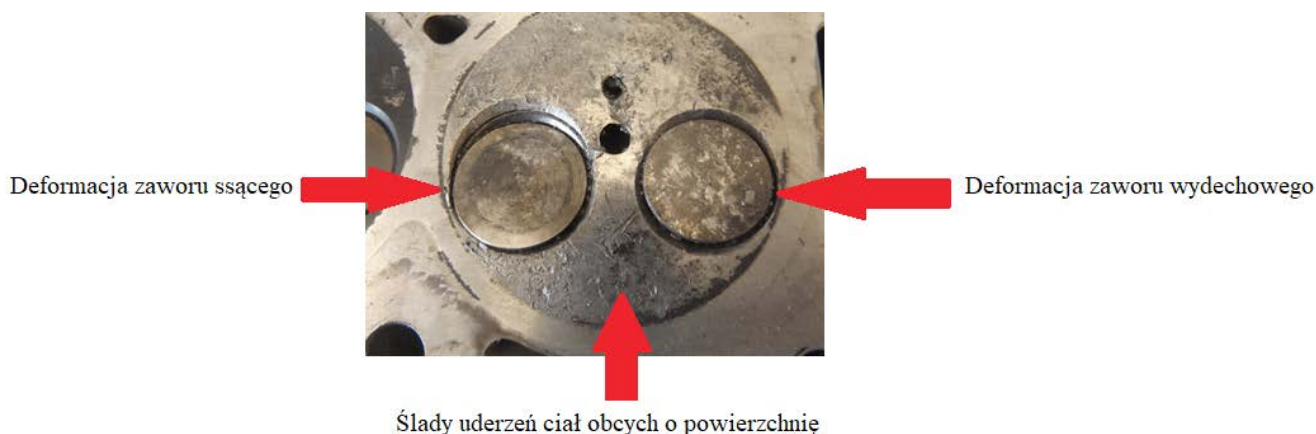
**Rysunek 5** Tłok ze zdeformowanym górnym pierścieniem

Na Rysunku 6 przedstawiono zdemontowaną głowicę omawianego silnika. Powierzchnie przylegające do komór spalania w 3 cylindrach wykazują typowe ślady eksploatacji, które nie mają związku z omawianą usterką. Powierzchnia przylegająca do komory spalania w cylindrze, w którym wystąpiła awaria, charakteryzuje się licznymi uszkodzeniami mechanicznymi.



**Rysunek 6** Głowica przedstawiona do oględzin

Na Rysunku 7 przedstawiono powierzchnię głowicy przylegającej do cylindra, w którym wystąpiła awaria. Widoczne są ślady wielokrotnych uderzeń metalicznych ciał obcych o tę powierzchnię. Ponadto grzybek zaworu ssącego i wydechowego w tym cylindrze jest zdeformowany. Taki stan zaworów uniemożliwia utrzymanie szczelności komory spalania oraz poprawną pracę silnika spalinowego. Powierzchnie grzybków zaworu również mają liczne wyszczerbienia, świadczące o dużej liczbie uderzeń ciał obcych o dużej twardości. Brak śladów nadtopień krawędzi gniazd zaworowych świadczy o temperaturze spalania mieszanki paliwowo-powietrznej mieszczącej się w granicach normy.



**Rysunek 7** Powierzchnia głowicy nad uszkodzonym cylindrem

Tuleje cylindrowe 3 cylindrów noszą normalne ślady eksploatacji. Na tulei cylindrowej cylindra, w którym wystąpiła awaria, widać brak kołnierza tulei, na którym opierała się ona w bloku silnika. Kołnierz ten został zniszczony i jego fragmenty znajdowały się w komorze spalania podczas pracy silnika, powodując uszkodzenia powierzchni tłoka, zaworów oraz głowicy. Dodatkowo elementy kołnierza tulei cylindrowej, jako ciała obce były przyczyną deformacji zaworu dolotowego oraz wylotowego. Kołnierz musiał zostać zniszczony w wyniku działania dużej siły, skierowanej ku dołowi bloku silnika. Tuleja cylindrowa z wyłamanym kołnierzem przedstawiona jest na Rysunku 8.



**Rysunek 8** Tuleja cylindrowa z brakującym kołnierzem

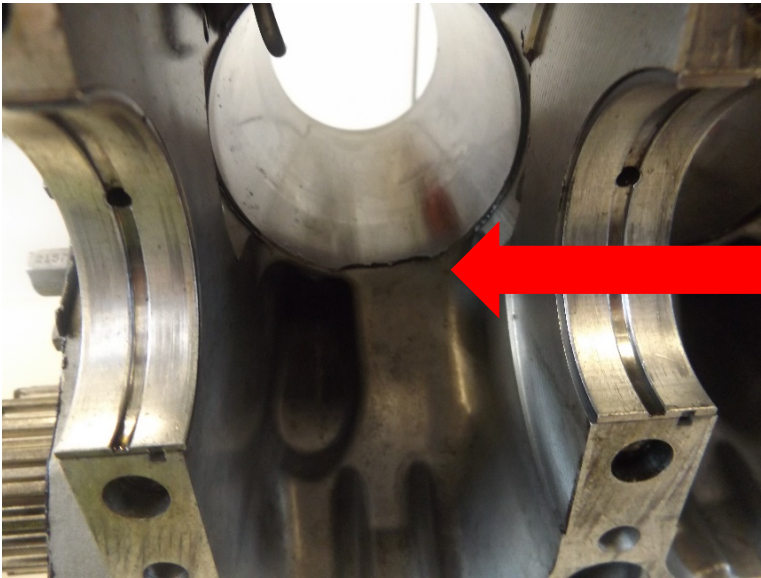
Na powierzchni tulei cylindrowej zaobserwowano pęknięcie poprzeczne długości około 32 mm. Pęknięcie to mogło powstać w wyniku rozwijania się mikropęknięcia wewnętrznego podczas pracy silnika. Mikropęknięcie wewnętrzne mogło się pojawić wskutek uderzenia tuleją cylindrową o twardą powierzchnię (np. podczas upadku z wysokości) przed jej montażem do bloku silnika. Rzeczne mikropęknięcie mogło być również spowodowane błędami montażu, tzn. niepoprawnym osadzeniem tulei cylindrowej w cylindrze, bądź niedokładnym oczyszczeniem gładzi cylin-

dra przed montażem tulei cylindrowej. Mikropęknięcie zwiększało swoje rozmiary pod wpływem temperatury pracy silnika oraz pod wpływem drgań, osiągając w krytycznym momencie pracy silnika rozmiary około 24 mm szerokości oraz około 32 cm długości i obejmując swym zasięgiem kołnierz, który został zniszczony. Pęknięcie przedstawione jest na Rysunku 9.



**Rysunek 9** Pęknięcie tulei cylindrowej

Zauważono również znaczne obniżenie poziomu osadzenia tulei cylindrowej w cylindrze, w którym nastąpiła awaria. Spowodowane jest to znaczną siłą, która ściągnęła tuleję w dół bloku silnika, wyłamując przy tym jej kołnierz. W dolnej części tulei cylindrowej zaobserwowano znaczny jej ubytek. W momencie przesunięcia tulei cylindrowej w dół cylindra, wał korbowy mógł wyłamać część tulei, uderzając o nią. Ubytek tulei cylindrowej jest przedstawiony na Rysunku 10.



Ubytek tulei cylindrowej

Rysunek 10 Ubytek w dolnej części tulei cylindrowej

### 3. PODSUMOWANIE

Na podstawie badań i oględzin można sformułować następujące wnioski końcowe:

1. Protokoły z badań wtryskiwaczy potwierdzają, że wtryskiwacze omawianego silnika zachowują swoją szczelność na wymaganym poziomie,
2. Eliminuje się podwyższoną temperaturę w komorze spalania, spowodowaną nieszczelnością wtryskiwacza, jako zasadniczą przyczynę uszkodzenia silnika,
3. Brak jest oznak materiałowych, które występują w przypadku pojawienia się zbyt wysokiej temperatury pracy tego typu elementów,
4. Przebieg zarejestrowany od poprzedniego serwisu jest zbyt mały, aby mogło dojść do przyspieszonego zużycia wtryskiwaczy,
5. Powierzchnia górna tłoka, zawory oraz głowica cylindra, w której doszło do awarii, noszą ślady uderzeń metalicznymi ciałami obcymi,
6. Ciałami obcymi były elementy wyłamane kołnierza tulei cylindrowej oraz fragmenty tłoka obecne w komorze spalania podczas pracy silnika,
7. Kołnierz tulei cylindrowej został wyłamany wskutek zahaczenia górnego pierścienia tłoka o pęknięcie na tulei cylindrowej,
8. Pęknięcie na tulei cylindrowej powstało w wyniku uderzenia tuleją o twardą powierzchnię przed montażem tulei cylindrowej do silnika (np. upadek na podłogę),
9. Pęknięcie na tulei cylindrowej mogło również powstać przez błędy w sztuce montażu tulei cylindrowej w bloku silnika, wskutek niedokładnego

oczyszczenia powierzchni cylindra przed włożeniem tulei cylindrowej.

10. W wyniku popełnionych błędów przy montażu tulei cylindrowej w bloku silnika mikropęknięcie zwiększało swoje rozmiary podczas pracy silnika, aby po około 600 km osiągnąć około 20-30 mm,
11. Krawędź powstałego pęknięcia tulei cylindrowej znalazła się w obszarze roboczym tłoka,
12. Będąc w górnym martwym punkcie, tłok w trakcie przesuwania się w dół zahaczył górnym pierścieniem tłokowym o wymienioną w punkcie 11 deformację,
13. Potwierdza to kierunek wygięcia górnego pierścienia tłokowego,
14. Górny pierścień tłokowy zahaczając o krawędź pęknięcia na tulei cylindrowej, ściągał tuleję cylindrową w dół, wyłamując przy tym fragmenty kołnierza, które dostając się do komory spalania, spowodowały uszkodzenia mechaniczne powierzchni tłoka, głowicy i zaworów. Były również przyczyną powstania deformacji zaworu wdechowego i ssącego,
15. Górny pierścień tłokowy, naciskając na górną część tłoka spowodował wykruszenie się wielu mniejszych kawałków tłoka, które znajdowały się w komorze spalania podczas pracy silnika,
16. Tuleja cylindrowa, przesuwaną się w dół uderzyła o obracający się wał korbowy, tworząc ubytek w swojej powierzchni,
17. Błędy występujące podczas sztuki montażu tulei cylindrowych miały kluczowe znaczenie przy powstałej awarii.

## LITERATURA

- [1] Wajand J. A., Wajand J. T., Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe. WNT, Warszawa 1993.
- [2] Płaza S., Margielewski L., Celichowski G., Wstęp do tribologii i trybochemia. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2005.
- [3] Ambrozik A., Wybrane zagadnienia procesów cieplnych w tłokowych silnikach spalinowych. Wyd. Politechnika Świętokrzyska, 2003.
- [4] Ambrozik T., Internal combustion engine. Wyd. Politechnika Świętokrzyska, on-line: <http://wmibm-moodle.tu.kielce.pl>, Kielce, 2013.
- [5] <https://www.autocentrum.pl/publikacje/eksploatacja-auta/w-gore-i-w-dol-najczestsze-przyczyny-uszkodzen-tlokow-w-silnikach-spalinowych/>