

Reducing mechanical losses of the engine as a method of reducing CO₂

Abstract: In order to reduce fuel consumption (and thus CO₂ emissions), manufacturers of motor vehicles have engaged in intensive work aimed at improving the overall efficiency of the engine by reducing frictional losses. BOSMAL Automotive Research and Development Institute conducted a series of studies and analyzes related to this topic. This paper presents the results of research on new types of motor oils, as well as the VDOP (Variable Displacement Oil Pump) oil pump type. The study was carried out on a test bench equipped with an AVL Dynoexact APA 202 dynamic brake, which has the ability to measure torque with an accuracy of ± 1 Nm. These studies have shown that by using a higher grade oil, fuel consumption can be reduced by 4%; and with the application of the VDOP oil pump type by up to 10%.

Keywords: mechanical losses in an internal combustion engine, a new type of motor oil, fuel consumption, VDOP type oil pump.

Zmniejszenie strat mechanicznych w silniku jako metoda redukcji CO₂

Streszczenie: W celu zmniejszenia zużycia paliwa (a tym samym emisji CO₂), producenci silników samochodowych prowadzą intensywne prace, mające na celu zwiększenie sprawności całkowitej silnika poprzez zmniejszenie strat tarcia. W Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL przeprowadzono szereg badań i analiz związanych z tą tematyką. Niniejsze opracowanie prezentuje wyniki badań dotyczących nowych typów olejów silnikowych jak również pompy olejowej typu VDOP (Variable Displacement Oil Pump). Badania przeprowadzono na stanowisku hamownianym wyposażonym w hamulec dynamiczny AVL Dynoexact APA 202, który posiada możliwość pomiaru momentu napędowego z dokładnością ± 1 Nm. Badania te wykazały, że dzięki zastosowaniu olejów wyższej klasy można zmniejszyć zużycie paliwa o około 4%, a po zastosowaniu pompy oleju typu VDOP nawet o około 10%.

Słowa kluczowe: straty mechaniczne w silniku spalinowym, oleje silnikowe nowej generacji, zużycie paliwa, pompa oleju typu VDOP.

1. Wstęp

Energia potrzebna na pokonanie strat mechanicznych w silniku spalinowym stanowi około 10% energii doprowadzonej do silnika w postaci paliwa. W największym stopniu za powstawanie strat mechanicznych odpowiedzialny jest węzeł tłok-sworzeń-pierścienie tłokowe-cylinder (węzeł TSPC) (około 50-65%), łożyska główne i korbowodowe (około 20-25%) i układ rozrządu, pompy itp. (15-25%). W celu zmniejszenia zużycia paliwa (a tym samym emisji CO₂), producenci silników samochodowych prowadzą prace, mające na celu zwiększenie sprawności całkowitej silnika poprzez zmniejszenie strat mechanicznych.

Aktualnie prace te prowadzone są w kilku kierunkach:

- Wprowadzanie nowych typów olejów silnikowych;

- Zmniejszanie strat spowodowanych koniecznością napędu osprzętu silnikowego, między innymi pompa olejowej VDOP;

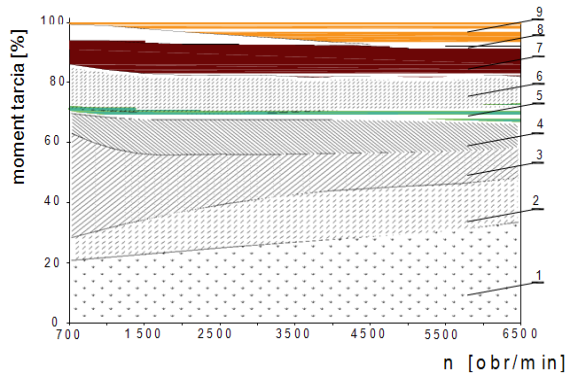
- Wprowadzanie nowych technologii obróbki tulei cylindrowych;

- Stosowanie w procesie montażu silnika odpowiedniej selekcji części mających wpływ na straty tarcia;

- Zastosowanie w silniku nowego typu pierścieni tłokowych o mniejszej sile nacisku na gładź cylindrową.

W Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL przeprowadzono szereg badań i analiz związanych z tą tematyką. Niniejsze opracowanie prezentuje wyniki badań dotyczących nowych typów olejów silnikowych jak również pompy olejowej VDOP.

2. Charakterystyka strat mechanicznych w silniku spalinowym



Rys. 2.1 Straty mechaniczne w poszczególnych układach i urządzeniach pomocniczych silnika: 1 układ tłokowo-cylindrowy, 2 – układ korbowy, 3 – układ rozrządu, 4 – pompa oleju, 5 – alternator, 6 – pompa wody, 7 – pompa pomocnicza, 8 – pompa próżniowa, 9 – wałki wyrównoważające [1]

Z analiz strat mechanicznych w silniku spalinowym wynika, że przy niskich prędkościach obrotowych największy moment tarcia jest w układzie rozrządu i wynosi około 35% wszystkich strat. Przy wzroście prędkości obrotowej moment tarcia w układzie rozrządu maleje, a wzrasta w układzie tłokowo-cylindrowym aż do wartości około 30%. Również w układzie korbowym moment tarcia zwiększa się wraz ze wzrostem prędkości obrotowej. Można przyjąć, że w pozostałych układach moment tarcia jest na podobnym poziomie w całym zakresie prędkości obrotowej.

3. Badania olejów silnikowych nowego typu

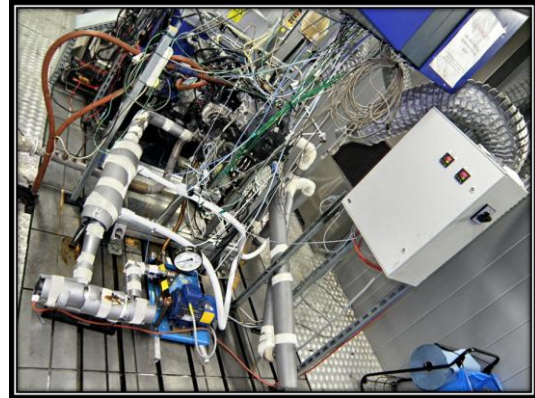
3.1 Ocena wpływu jakości oleju na straty mechaniczne

Producenci środków smarowych wprowadzają nowe typy olejów silnikowych (klasy 5W-30, 0W-30) komponowane w ten sposób aby zmniejszyć zużycie paliwa i emisję CO₂. W tym celu wytwórcy olejów stosują dodatki uszlachetniające tzw. modyfikatory tarcia. Skład chemiczny takiego oleju i sposób jego wytwarzania jest mocno chronioną tajemnicą wytwórcy. Na hamowni silnikowej Instytutu BOSMAL przeprowadzono szereg analiz i badań mających na celu określenie wpływu danego oleju silnikowego na straty tarcia. Do przeprowadzenia tych badań zastosowano hamulec dynamiczny AVL PUMA który umożliwia zewnętrzny napęd badanego silnika wraz z możliwością pomiaru momentu napędowego z odpowiednią dokładnością i częstotliwością. Mierzony w czasie testu moment napędowy obrazuje całkowite straty mechaniczne silnika, to znaczy straty tarcia i straty pompowania.

W skład stanowiska [2] z wchodzi następujące elementy:

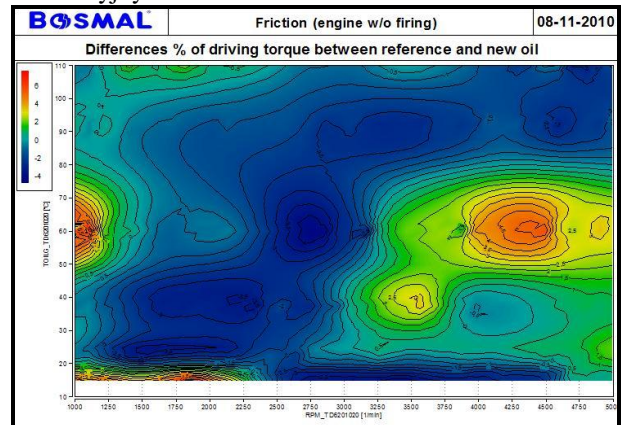
- Hamulec AVL Dynoexact APA 202,
- System sterowania AVL PUMA,
- Panel kontrolny AVL EMCON 400,
- Symulator drogi i pojazdu ISAC 400.

Stanowisko badawcze było wyposażone w dodatkowy układ kondycjonowania temperatury płynu chłodzącego i oleju w zakresie od 10°C do 110°C.

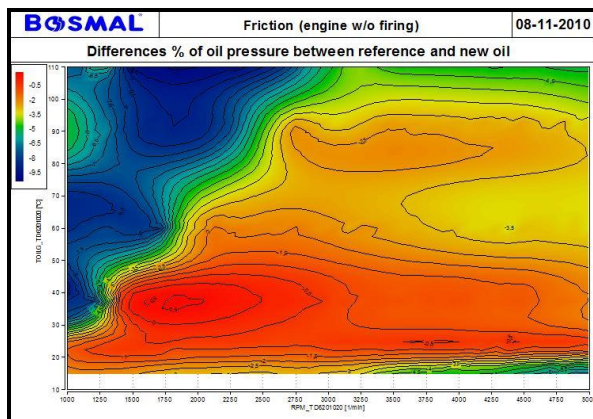


Rys. 3.1 Stanowisko badawcze z hamulcem dynamicznym i dodatkowymi układami kondycjonowania temperatury płynu chłodzącego i oleju

Testy przeprowadzono jako testy porównawcze, to znaczy równocześnie z testami nowych olejów klasy 5W-30 i 0W-30 przeprowadzono testy olejów referencyjnych 10W-40 i 5W-40 [3]. Zastosowano specjalną trzykrotną procedurę płukania silnika podczas wymiany oleju. Testy przeprowadzono przy różnych temperaturach płynu chłodzącego i oleju, 10°C/10°C, 20°C/20°C, 35°C/35°C, 60°C/60°C, 90°C/90°C, 110°C/110°C. Pomiary wykonywane były zawsze po ustabilizowaniu się temperatury płynu chłodzącego i oleju na żądanym poziomie. Test polegał na wolnym rozpędzaniu silnika od 1000 obr/min do prędkości maksymalnej 5250 obr/min, a następnie zmniejszaniu prędkości obrotowej do 1000 obr/min. Podczas całego testu mierzony był z dużą dokładnością ($\pm 1\text{Nm}$) moment napędowy, ciśnienie oleju i pozostałe parametry silnika. Po pomiarach wykonano obliczenia wartości średniej z przyspieszenia i opóźnienia dla momentu napędowego i ciśnienia oleju. Obliczenia te służyły do przedstawienia wyników w formie mapy przedstawiającej procentowe różnice momentu obrotowego w funkcji prędkości obrotowej pomiędzy olejem badanym a olejem referencyjnym.



Rys. 3.2 Przykładowy wykres przedstawiający procentową różnicę momentu napędowego pomiędzy olejem badanym a referencyjnym



Rys. 3.3 Przykładowy wykres przedstawiający procentową różnicę ciśnienia oleju pomiędzy olejem badawczym a referencyjnym

Przeprowadzono badania czterech nowych olejów silnikowych klasy 5W-30 dwa oleje i 0W-30 dwa oleje i uzyskano w niektórych przypadkach zmniejszenie strat tarcia nawet o około 10%.

3.2 Ocena wpływu klasy jakościowej oleju na zużycie paliwa

Aby zobrazować wpływ zastosowanego oleju silnikowego na zużycie paliwa wykonano pomiary jednostkowego zużycia paliwa w punktach kanonicznych to znaczy w specyficznych punktach pracy silnika obrazujących w sposób przybliżony zużycie paliwa w całym obszarze pracy. Badania wykonano z użyciem olejów wyszczególnionych w pkt. 3.1. Pomiary wykonywano dla określonej temperatury oleju silnika w pełni nagrzanego.

Tabela 3.1 Przykładowe porównanie zużycia paliwa dla oleju badawczego 0W-30 oraz oleju referencyjnego 5W-30

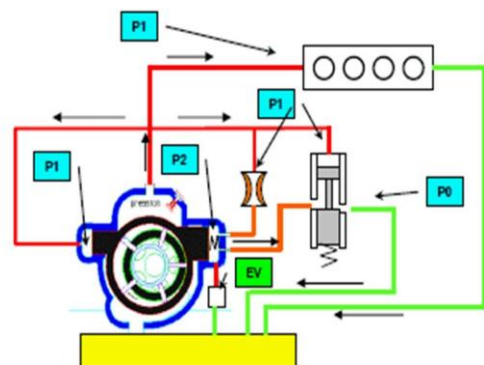
n	T [Nm]	olej badawczy	olej referencyjny	różnica
rpm	Nm	g/kWh	g/kWh	%
1500	10	455.4	470.2	3.1
2000	20	338.8	344.6	1.7
2500	30	292.6	293.2	0.2
3000	40	270.6	272.8	0.8
3500	50	262	264.2	0.8
4000	60	266.8	266.4	-0.2

Pomiary wykazały w niektórych przypadkach zmniejszenie się jednostkowego zużycia paliwa o około 3%. Natomiast badania trwałościowe silników smarowanych olejami nowego typu klasy 0W-30 wykazały, że trwałość silników nie zmniejszyła się a w niektórych przypadkach nastąpiła pewna poprawa.

4. Badania pompy oleju typu VDOP

4.1 Zasada działania pompy oleju typu VDOP

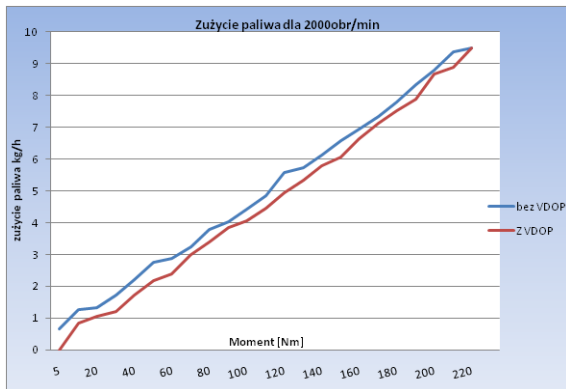
W silniku z tradycyjną pompą oleju ciśnienie oleju regulowane jest zaworem upustowym zamontowanym w pompie oleju. W przypadku niskiej temperatury oleju lub wysokiej prędkości obrotowej silnika w pompie oleju występuje wysokie ciśnienie oleju, o wiele za wysokie od dopuszczalnego dla danego silnika. Aby ciśnienie to doprowadzić do wymaganego poziomu, zawór upustowy upuszcza część oleju z pompy do miski olejowej. Są to niepotrzebne straty mechaniczne które można częściowo wyeliminować po zastosowaniu pompy oleju typu VDOP (Variable Displacement Oil Pump). Na rysunku 4.1 pokazano zasadę działania pompy oleju z zaworem VDOP. Pompa posiada ruchomy korpus który zmienia swoje położenie w zależności od ciśnienia P1 i P2, w stosunku do osi obrotu wirnika pompy. W przypadku wystąpienia w pompie wysokiego ciśnienia otwiera się na chwilę jednokierunkowy elektrozawór EV, zmniejsza się ciśnienie P2 i korpus pompy przesuwa się w kierunku osi obrotu wirnika. Wydatek pompy się zmniejsza, a ciśnienie oleju w silniku utrzymuje się na dopuszczalnym poziomie. W przypadku zmniejszenia się ciśnienia oleju zawór EV jest stale zamknięty, ciśnienie P2 zwiększa się i korpus silnika przesuwa się w kierunku przeciwnym do osi wirnika. Wydatek pompy rośnie powodując jednocześnie wzrost ciśnienia oleju do określonego poziomu. Aby utrzymać ciśnienie oleju w silniku na określonym poziomie pompa wyposażona jest dodatkowo w specjalne sprężyny i zawory hydrauliczne.



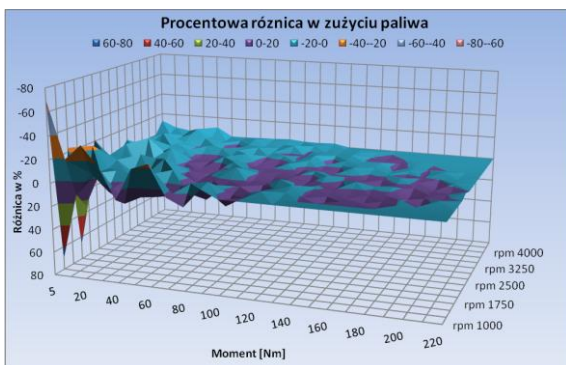
Rys. 4.1 Zasada działania pompy VDOP [4]

4.2 Ocena wpływu pracy pompy oleju typu VDOP na straty tarcia i zużycie paliwa

Ocenę wpływu pracy pompy oleju typu VDOP na straty tarcia wykonano na silniku typu ZS, przystosowanym do badań w ten sposób aby była możliwość wymiany pompy oleju zwykłego typu na pompę typu VDOP. Wykonano pomiary porównawcze pracy silnika z zastosowaniem obu pomp. Na rysunku 4.2.1 pokazano wykres zużycia paliwa w funkcji momentu napędowego dla prędkości 2000 obr/min.



Rys. 4.2.1 Zużycie paliwa przy 2000 obr/min dla silnika z i bez pompy VDOP.



Rys. 4.2.2 Różnice zużycia paliwa w funkcji momentu i prędkości obrotowej dla silnika z i bez pompy VDOP.

Nomenclature/Skróty i oznaczenia

VDOP - Variable Displacement Oil Pump

Bibliography/Literatura

- [1] Gaberscik G., Meldt W., Tripolt W., Trzesniowski M., „Durch Reibung-optimierung zur Verbrauchsreduktion”, MTZ 03/2006.
- [2] Antoni Świątek, Andrzej Suchecki, Adam Sordyl: „Symulacja testu jezdnego NEDC na stanowisku do badań silników w stanach dynamicznych na hamowni silnikowej”, Symposium Naukowe „Motoryzacyjne Problemy Ochrony Środowiska” Warszawa 2008.
- [3] Bielaczyc P., Suchecki A., Sordyl A., Wisła M., „Nowoczesne metody badań olejów silnikowych do silników samochodowych”. Konferencja „Środki Smarowe” Muszyna 2012.
- [4] Materiały reklamowe firmy Pierburg Pump Technology (strona internetowa 2011).
- [5] Wajand J. A., Wajand J. T.: „Tłokowe silniki spalinowe średnio i szybko obrotowe”. WNT, Warszawa 2005.
- [6] Kaźmierczak A., „Tarcie i zużycie zespołu tłok-pierścienie-cylinder”, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2007.
- [7] Krzymień A., „Łożyska mechanizmu korbowego tłokowych silników spalinowych”, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2007.
- [8] Napadłek W. : „Modele tribologiczne współpracy skojarzenia tłok - pierścienie tłokowe – tuleja cylindrowa silnika spalinowego”. Tribologia ISSN 0208-7774 Nr 5/2009, s.135-145.

Andrzej Suchecki, DEng. – Engine Testing Laboratory Manager at BOSMAL Automotive Research and Development Institute Ltd. of Bielsko-Biała.

Dr inż. Andrzej Suchecki – kierownik Pracowni Badań Stanowiskowych Silników w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. w Bielsku-Białej.



Można zauważyć spadek zużycia paliwa w granicach od 5 do 10% przy średnich obciążeniach dla silnika z pompą VDOP.

Na wykresie widać zmniejszenie zużycia paliwa nawet o 10% po zastosowaniu pompy VDOP. Natomiast na rysunku 4.2.2 pokazano mapę procentowych różnic zużycia paliwa w funkcji momentu i prędkości obrotowej.

5. Podsumowanie

Wprowadzając oleje nowej generacji o niższej lepkości klasy 5W-30 i 0W-30 można zwiększyć trwałość silnika, jak również zmniejszyć straty tarcia w silniku. Skutkuje to zwiększeniem sprawności ogólnej silnika i zmniejszeniem jednostkowego zużycia paliwa. Badania wykonane w Instytucie BOSMAL wykazały, że stosując oleje wyższej klasy o mniejszej lepkości można uzyskać zmniejszenie strat tarcia nawet o około 10 %, co skutkowało zmniejszeniem zużycia paliwa do 4 %. Natomiast zastosowanie pompy oleju typu VDOP (Variable Displacement Oil Pump) spowodowało zmniejszenie zużycia paliwa przy średnich obciążeniach silnika od 5 do 10%.