

FILIPOWICZ Jacek¹

ANALIZA FAZY ROZGRZEWANIA SILNIKA SPALINOWEGO W WARUNKACH NISKICH TEMPERATUR

W artykule przedstawiono krótką analizę, powszechnie stosowanych i wzbudzających kontrowersje, metod rozgrzewania silnika samochodowego w warunkach bardzo niskich temperatur. Autor rozważa aspekty eksploatacyjne i przedstawia fizykę działania elementów i podzespołów silnika w początkowej fazie jego pracy.

HANALYSIS OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE WARM-UP PHASE AT LOW TEMPERATURES

The article presents short analysis of very commonly used and controversial methods of engine warm the car with very low temperatures. The author quotes operational aspects and the physics of elements and engine components in the initial phase of his work)

1. WSTĘP

Podczas eksploatacji pojazdu samochodowego napędzanego silnikiem spalinowym, jednym z głównych problemów użytkowników jest ograniczenie zużycia paliwa i płynów eksploatacyjnych oraz zwiększenie niezawodności eksploatacyjnej, czyli parametrów rzutujących bezpośrednio na koszty eksploatacji pojazdu. Wraz z rozwojem ochrony środowiska i wzrostem wymogów ekologicznych oprócz wymienionych parametrów ograniczaniu poddane zostały pochodne eksploatacji mające bezpośredni lub pośredni wpływ na środowisko naturalne. Ograniczanie wpływu pojazdów na otoczenie nie zawsze idzie w parze z wymogami i warunkami jakie powinny towarzyszyć prawidłowemu użytkowaniu pojazdu z punktu widzenia jego poprawnej pracy i niezawodności. W artykule przedstawiono krótką analizę bardzo często poruszanego problemu rozgrzewania silnika spalinowego w warunkach niskich temperatur, w aspekcie wpływu tego procesu na elementy silnika, które są szczególnie narażone na zużycie, przy jednoczesnym zwróceniu uwagi na problem ochrony środowiska.

Pełne rozgrzanie silnika w warunkach niskich temperatur jest procesem długotrwałym. Towarzyszy temu wysokie zużycie paliwa oraz emisja toksycznych związków procesu spalania. Pracy zimnego silnika towarzyszą również zwiększone opory ruchu a co za tym idzie zużycie elementów ciernych.

¹Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29.
Tel: + 48 48 361-77-44, E-mail:j.filipowicz@pr.radom.pl

Według danych obsługowych wielu firm samochodowych jak również publikacji motoryzacyjnych, nowoczesne pojazdy nie wymagają rozgrzewania zimnego silnika na postoju a wręcz wymagają ruszania w kilka sekund po uruchomieniu pojazdu. Nie zalecane jest, a w wielu krajach nawet karane, popularne w zimie uruchomienie silnika a następnie oczyszczanie pojazdu ze śniegu oraz lodu. Uzasadnieniem takich rygorów postępowania jest szybsze osiągnięcie przez elementy silnika pracującego pod obciążeniem wymaganej temperatury pracy oraz mniejsze zużycie paliwa. Twierdzenie jest oczywiście słuszne z punktu widzenia teorii eksploatacji, jak również sprawdzone doświadczalnie. Natomiast powodów takiego postępowania należy jednak doszukiwać się głównie w działaniach ochrony środowiska tj: silnik pojazdu szybciej rozgrzany krócej emituje szkodliwe substancje spalania, ruszenie od razu nie kondensuje spalin w jednym miejscu, jak również nie ma bezproduktywnego zużycia paliwa podczas rozgrzewania na postoju.

Obsługowe i medialne zalecenia tego typu nie zwracają jednak uwagi użytkowników na problem zużycia elementów silnika, jak również na sam aspekt pracy silnika, które nie są bez znaczenia podczas procesu eksploatacji pojazdu.

2. BILANS CIEPLNY SILNIKA SPALINOWEGO

Analizę pracy silnika podczas rozruchu i pracy zimnego silnika w niskich temperatur należy rozpocząć od przedstawienia bilansu cieplnego silnika spalinowego.

Według różnych źródeł od 25 do 40 % ciepła dostarczonego do silnika zamieniane jest na efektywną pracę mechaniczną a co za tym idzie na moc efektywną. Pozostałe ciepło wytworzone przez silnik, w zależności od chwilowej i rzeczywistej sprawności jest tracone. Bilans cieplny rozkładu ciepła można przedstawić za pomocą równania:

$$Q_d = Q_e + Q_{ch} + Q_w + Q_{ns} + Q_{ot}$$

gdzie: Q_d - całkowita ilość ciepła doprowadzona do silnika (100%),

Q_e - ilość ciepła zamieniona na pracę użyteczną, tzw. ciepło użyteczne (ok. 30%),

Q_{ch} - ilość ciepła odprowadzana do czynnika chłodzącego, tzw. strata chłodzenia (ok. 30%),

Q_w - ilość ciepła odprowadzana ze spalinami, tzw. strata wylotowa (ok. 15 %),

Q_{ns} - ilość ciepła tracona na skutek niezupełnego i niecałkowitego spalania, tzw. strata spalania,

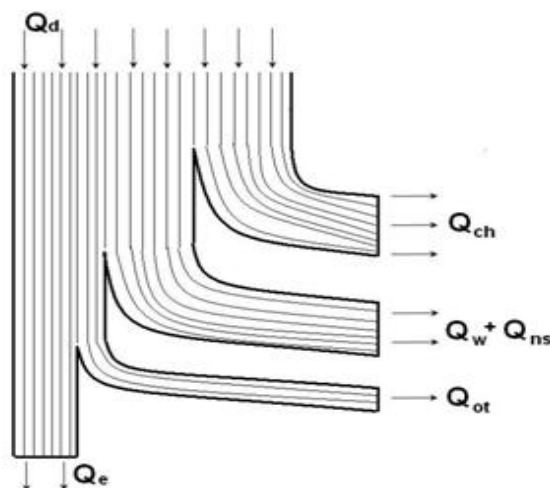
Q_{ot} - ilość ciepła oddana do otoczenia bez pośrednictwa czynnika chłodzącego, tzw. strata do otoczenia ($Q_{ns} + Q_{ot}$ ok. 25%).

Graficzną ilustrację bilansu cieplnego przedstawia wykres Sankeya (rys 1).

Z analizy składników bilansu cieplnego wynika, iż część ciepła doprowadzanego do silnika nie wpływa na podnoszenie temperatury silnika i jest wydalana do otoczenia. Trudna do określenia jest ilość ciepła tracona na skutek niezupełnego i niecałkowitego spalania oraz strat do otoczenia, które obejmuje nieuchwytnie ciepło wypromieniowane lub oddane na zewnątrz, bez udziału płynu chłodzącego, na wskutek przewodzenia elementów silnika i wydzielające się podczas tarcia w mechanizmach silnika.

Należy zwrócić uwagę, że wartość strat ciepła zależy od warunków eksploatacyjnych i od konstrukcji silnika, natomiast straty chłodzenia maleją ze wzrostem prędkości

obrotowej silnika, wskutek skrócenia czasu zetknięcia gorących gazów ze ściankami cylindra i elementami silnika.



Rys. 1. Bilans cieplny silnika spalinowego [1]

Wniosek wynikający z bilansu energetycznego, łączony ze wzrostem prędkości obrotowej silnika wynikającej z jazdy samochodu oznacza, że część paliwa zużywanego na zwiększone obroty podnosi bezpowrotnie:

- straty wylotu nie podnosząc w ten sposób temperatury silnika,
- straty niecałkowitego spalania (tym większe im bardziej nie dogrzany silnik),
- straty do otoczenia bez pośrednictwa czynnika chłodzącego.

Opóźnienie dogrzewania silnika pochodzi również od czynników chłodzących elementy silnika takich jak:

- płyn chłodniczy,
- olej silnikowy,
- chłodzenie opływającym powietrzem.

Należy zwrócić uwagę, że wpływ tych czynników na wzrost temperatury silnika w niskich temperaturach znacznie rośnie, szczególnie podczas ruchu pojazdu.

3. TARCIE W ELEMENTACH SILNIKA

Rozpatrując problem rozgrzewania silnika spalinowego w warunkach niskich temperatur faktem jest szybsze osiągnięcie przez silnik temperatury pracy podczas ruchu z obciążeniem. Nasuwa się pytanie: dlaczego tak się dzieje i czy ten proces szybszego dogrzewania nie pociąga za sobą ujemnych skutków dla silnika, a jeśli tak, to w jak dużym stopniu i czy ma to uzasadnienie ekonomiczne lub inne?

Należy stwierdzić, że w bardzo zimnym silniku podczas początkowej pracy występują znaczne wewnętrzne opory ruchu oraz zapotrzebowanie na zwiększoną dawkę paliwa w czasie, dodatkowo zwiększoną oporami ruchu pojazdu.

Publikacje motoryzacyjne oraz instrukcje obsługi bagatelizują zjawisko niedostatecznego smarowania elementów tarcia podczas rozruchu i dogrzewania silnika, tłumacząc ten fakt nowoczesnością konstrukcji silnika oraz doskonałością aktualnie stosowanych olejów. Rzeczywiście nowoczesne materiały i wykonane z nich konstrukcje z pokorą są w stanie przenieść bardzo znaczne i długotrwałe obciążenia przebiegające niezgodnie z procedurami eksploatacyjnymi. Natomiast na pewno, w sposób trudny do oszacowania, zwiększa to zużycie oraz skraca żywotność i niezawodność poszczególnych elementów. Wpływ na te zjawiska ma niedostateczna ilość oleju o niewłaściwej temperaturze znajdująca się w węzłach tarcia w początkowej fazie pracy silnika, spowodowana czasem pełnego dojścia oleju silnikowego do najdalej położonych elementów w układzie smarowania (rys 2).



Rys. 2. Wykres czasu pełnego dojścia oleju do smarowanych części silnika

Podczas rozruchu i początkowej pracy zimnego silnika węzły tarcia pozbawione są:

- wymaganej ilości oleju,
- oleju pod właściwym ciśnieniem,
- oleju o odpowiedniej temperaturze.

Natomiast badania tarciove wyraźnie stanowią, że elementy maszyn narażone są na szczególne zużycie przy:

- niedostatecznym smarowaniu lub jego braku,
- niewłaściwej temperaturze pracy,
- nierównomiernej pracy,
- przeciążeniach,
- obciążeniach dynamicznych,
- drganiach i rezonansie.

Szczególnie narażonymi na pracę w wyżej wymienionych warunkach są elementy silnika pracujące tarciove w ruchu wirującym i posuwisto zwrotnym takie jak:

- łożyska ślizgowe układu korbowego,

- elementy układu tłokowego,
- elementy układu rozrządu (łożyska wałka, popychacze, krzywki, zawory),
- elementy turbosprężarki.

Wymienione węzły tarcia silnika pracują z pomocą smarowania ciśnieniowego i natryskowego. Elementy łożysk ślizgowych przechodzą kilka etapów smarowania zanim osiągną minimalny nominalny współczynnik tarcia ślizgowego.

Zjawiska tarcia między czopem a panwią (panewką) są skomplikowane. Na opór tarcia składa się wiele czynników. Powierzchnie panwi i czopa współpracujące bez smaru, powodują przypadek tarcia suchego. Opory tarcia są wtedy bardzo duże, następuje intensywne rozgrzewanie się materiału pod wpływem wydzielonego ciepła, szybkie zużycie przez ścięcie nierówności, wrywanie elementów metalu i plastyczne odkształcenie elementów. Tarcie w łożyskach powinno zachodzić oczywiście w obecności smaru. Przy skąpej ilości smaru o dobrych właściwościach tworzy on cienką warstwę, o grubości kilku drobin, ściśle przylegającą do powierzchni. Warstwę tę nazywa się warstwą graniczną, a tarcie nazywa się tarcie granicznym. Ze względu na nierówności powierzchni czopa i panewki występuje tu kontakt grzbietów nierówności i ich zużywanie. Tarcie graniczne nie jest w zasadzie tarcie typowym dla ciągłej pracy łożyska. Wystąpić może jednak przy rozruchu lub w czasie przerw w doprowadzeniu smaru. W przypadku przerwy w doprowadzeniu smaru łożysko powinno przez jakiś czas bezpiecznie pracować w warunkach tarcia granicznego. Lepkość smaru powoduje, że jest on pociągany przez powierzchnię ruchomą i zmuszany do przepływania przez szczelinę między czopem a panewką. Istnieje wtedy możliwość powstania ciśnienia w smarze. Siła wyporu oleju może unieść czop i częściowo lub całkowicie zrównoważyć jego obciążenie. Czop i panewka są wtedy oddzielone całkowicie lub częściowo znacznie grubszą od granicznej warstwą smaru przepływającego przez szczelinę przy sile wyporu nie równoważącej całkowicie obciążenia, czop i panewka stykają się grzbietami nierówności. Tarcie takie nazywamy tarcie mieszanym, występuje przy tym zużycie stykających się powierzchni. W przypadku gdy siła wyporu potęgowana ciśnieniem oleju równoważy całkowicie obciążenie, wówczas czop i panewka nie stykają się i są one całkowicie rozdzielone warstwą oleju doprowadzając do tarcia płynnego[2].

Łożyska, które pracują normalnie w zakresie tarcia płynnego, przejściowo w okresach rozruchu pracują w warunkach tarc przejściowych. Także podczas normalnego biegu może wystąpić na skutek drgań przejściowe stykanie się nierówności, a więc warunki tarcia mieszanego. Czop wału przy określonej prędkości kątowej unosi się do góry i przesuwają na bok. Położenie środka czopa jest tym wyższe, im większa prędkość kątowa i ciśnienie oleju. Miejsce geometryczne położenia czopa jest krzywą zbliżoną do półokręgu (rys. 3).

wynikają wyłącznie z obciążeń wewnętrznych silnika i są najmniejsze z możliwych do osiągnięcia, lecz wydłuża się niestety czas ich trwania ze względu na zwiększony czas dogrzewania.

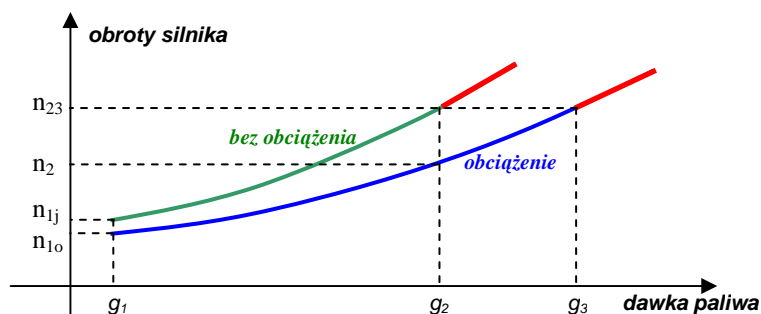
Pojawienie się dodatkowych obciążeń silnika (jazda), pochodzących od oporów zimnego układu przeniesienia napędu oraz oporów od ruchu pojazdu w ciężkich warunkach zimowych, przyspiesza dogrzewanie silnika ale jednocześnie skutkuje:

- znacznym wzrostem tarcia w układzie korbowo-tłokowym,
- opóźnieniem przechodzenia z tarcia suchego lub granicznego w płynne łożysk ślizgowych,
- pojawienie się wstrząsów i drgań od ruchu pojazdu wywołuje obciążenia dynamiczne w źle smarowanych węzłach tarcia, wywołujące wytrącanie łożysk ślizgowych z pracy osiowej i powodujące ich dodatkowe zużycia,
- dynamiczne zmiany obciążenia spowodowane ruchem pojazdu wywołują zmienne siły obciążające układ tłokowo - korbowy,
- wzrost dawki spalane go paliwa powoduje większe ciśnienia sprężania, zwiększając tym samym opory ruchu zaworów i tarcie w elementach rozrządu,
- źle smarowane, zimne łożyska i elementy turbosprężarki nagrzewają się nierównomiernie powodując wzrost tarcia.

Dodatkowo ruch pojazdu w warunkach zimowych schładza olej w nieosłoniętej misce olejowej, wydłużając tym samym podnoszenie jego temperatury.

Błędne jest również stanowisko, iż wskazywana (w większości samochodów) temperatura cieczy chłodzącej odpowiada dokładnie temperaturze całego silnika a co najważniejsze temperaturze oleju. W początkowym stadium rozgrzewania zimnego silnika w niskich temperaturach zarówno temperatura obu czynników różni się, jak również czas dochodzenia obu cieczy do temperatur pracy jest różny. Według różnych źródeł wartość temperatury oleju podaje za temperaturą cieczy chłodzącej w różnej skali. Zależy to od konstrukcji silnika, pojemności układów oraz długości magistral, itp.

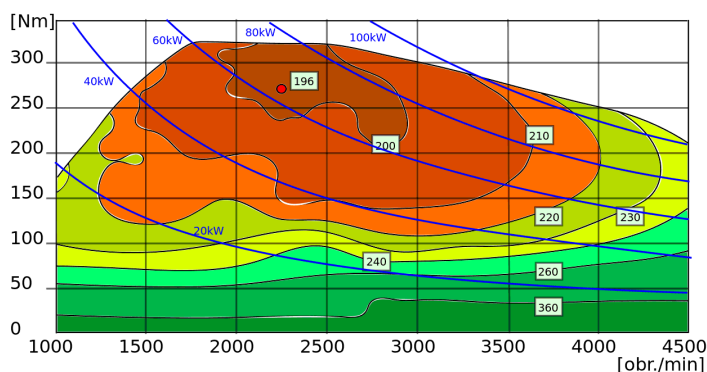
Bardzo istotnym aspektem sposobu zimowego rozgrzewania pojazdu jest zużycie paliwa. Podobnie jak wielkość zużycia elementów, jest ono bardzo trudne do oszacowania, ze względu na bardzo dużą liczbę i różnorodność parametrów do uwzględnienia. Wartość zużycia paliwa przez zimny silnik przewyższa kilkukrotnie zużycie paliwa przez silnik dogrzany. Składa się na to cała gama zmieniających się parametrów związanych z bilansem cieplnym oraz momentów wewnętrznych i zewnętrznych obciążających silnik.



Rys. 4. Wykres zmian obrotów silnika w zależności od dawki paliwa

Proces szybszego dogrzewania silnika w ruchu pojazdu spowodowane jest dużymi wewnętrznymi oporami ruchu silnika spotęgowanymi oporami zewnętrznymi mechanizmów przeniesienia napędu oraz oporami ruchu pojazdu. Wzrasta wtedy zapotrzebowanie silnika na paliwo w celu utrzymania obrotów, obciążonego dodatkowo silnika, odpowiadających założonej prędkości jazdy (rys. 4). Utrzymanie tych obrotów wymaga określonej dawki paliwa zmieniającej się w zależności od obciążenia. Dawka ta, bez obciążenia zewnętrznego silnika, podniosłaby znacznie obroty po odłączeniu mechanizmów zewnętrznych. Ta różnica dawek, a co za tym idzie, ilości dostarczonego ciepła w czasie, pod i bez obciążenia zewnętrznego silnika przyczynia się do jego szybszego rozgrzewania.

Różnice w zużyciu paliwa przy ruszaniu natychmiast po uruchomieniu silnika i ruszaniu po wstępnym rozgrzaniu są trudne do dokładnego określenia. Wyznaczyć te wartości należałoby w sposób doświadczalny po uwzględnieniu wielu parametrów eksploatacyjnych. Szacunkowe wartości zużycia jednostkowego można wyznaczyć w oparciu o wykres bazowy danego silnika (rys. 5). Jest to charakterystyka ogólna, rzadko dostępna dla szeregowych użytkowników samochodów, w postaci mapy pokazująca jednostkowe zużycie paliwa w g/kWh w zależności od obciążenia (Nm) i prędkości obrotowej (obr./min).



Rys.5. Charakterystyka ogólna, mapa na bazie silnika 2.0 TDI (ecomodder.com)

5. WNIOSKI

Przedstawiona analiza problemu wstępnej fazy dogrzewania zimnego silnika w warunkach niskich temperatur nasuwa szereg pytań. Za ruszaniem pojazdem zaraz po uruchomieniu przemawia szereg aspektów, głównie ochrony środowiska, do których należy zaliczyć:

- szybsze rozgrzanie silnika, a co za tym idzie krótsza emisja toksycznych spalin
- brak bezproduktywnego zużycia paliwa,
- nie kondensowanie spalin w miejscu postoju.

Z punktu widzenia użytkownika tzw. ruszanie pojazdem w chwilę po uruchomieniu silnika, może jednak pociągać za sobą niekorzystne dla układów silnika skutki, w postaci:

szybszego zużycia elementów tarciovych i nie koniecznie mniejsze średnie zużycie paliwa, w porównaniu z metodą wstępnego rozgrzania silnika na postoju.

Do ustalenia są również zagadnienia:

- jakie i czy są oszczędności w zużyciu paliwa przy stosowaniu obu metod zimowego „rozgrzewania” silnika ?
- jak duże są różnice w zużyciu elementów tarciovych przy obu metodach ?
- jak efektywną metodą „dogrzania” silnika byłoby ustalenie obrotów silnika na postoju dawką paliwa odpowiadającą osiągnięciu przez pojazd zalecanej prędkości jazdy, podczas wstępnej fazy rozgrzewania ?

6. BIBLIOGRAFIA

[1] Wajand j.: Silniki o zapłonie samoczynnym, WkiŁ, W-wa 1998

[2] <http://pcws.ia.polsl.pl/> :Zjawisko tarcia w łożyskach ślizgowych, PŚl. Inst. Automatyki